



ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI

CONVEGNO

ATTUALITÀ DI ANTONIO STOPPANI: VISIONI E SFIDE DELLE GEOSCIENZE NEL TERZO MILLENNIO

24 SETTEMBRE 2024

ABSTRACT

Comitato ordinatore: Roberto COMPAGNONI (Linceo, Università di Torino), Giorgio Vittorio DAL PIAZ (Linceo, Università di Padova), Giulio DI TORO (Linceo, Università di Padova), Elisabetta ERBA (Lincea, Università di Milano), Annibale MOTTANA (Linceo, Università Roma Tre), Giuseppe OROMBELLI (Linceo, Università di Milano-Bicocca), Giulio OTTONELLO (Linceo, Università di Genova)

PROGRAMMA

Antonio Stoppani (1824-1891), di cui ricorre il bicentenario della nascita, è considerato una delle figure di spicco nella Geologia italiana dell'Ottocento. Geologo, paleontologo, patriota di idee liberali, autore di note e volumi scientifici e divulgativi, i suoi studi hanno riguardato la paleontologia e la stratigrafia delle Prealpi Lombarde, la vulcanologia, la glaciologia, la geomorfologia e geologia glaciale delle Alpi, la preistoria. Attento osservatore della natura, fu pioniere e anticipatore nelle discipline sopra ricordate e in altri settori, dalla geologia del petrolio, allo studio delle frane, alla rilevanza dell'impatto umano sulla natura. Professore di Geologia nelle università di Pavia, Firenze e Milano; grande influenza ebbero il suo trattato Corso di Geologia in tre volumi (1865-70) e L'Era Neozoica (1880), opera dedicata alle evidenze lasciate dai ghiacciai nelle Alpi. Il Bel Paese (1876) è ben noto come testo divulgativo della geologia e geografia fisica dell'Italia, dalle Alpi alla Sicilia, e fu allora un vero successo editoriale. Prendendo spunto dagli argomenti trattati dallo Stoppani e soprattutto da alcune sue idee anticipatrici, il convegno intende enfatizzare l'attualità degli studi che contribuiscono alla conoscenza scientifica del Sistema Terra e alla diffusione del valore culturale ed estetico della Geologia. Nel convegno, organizzato congiuntamente dalla Accademia Nazionale dei Lincei e dall'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, saranno dedicati interventi ad alcuni dei settori cruciali che affrontano le sfide attuali delle Geoscienze.

Martedì 24 settembre

- 10.00 Saluto della Presidenza dell'Accademia Nazionale dei Lincei
- 10.10 Annibale MOTTANA (Linceo, Accademia dei XL, Università di Roma Tre), Giuseppe OROMBELLI (Linceo, Università di Milano Bicocca): *Introduzione*
- 10.15 Marco PANTALONI (ISPRA, Roma): *Gli scritti e le opere di Antonio Stoppani*
- 10.35 Lucia ANGIOLINI (Università di Milano): *La Paleontologia di Stoppani: passato, presente e futuro*
- 10.55 Giovanni MONEGATO (CNR- IGG- Padova): *Le Alpi e le Glaciazioni pleistoceniche: revisione aggiornata e tematiche aperte*
- 11.15 Mauro ROSSETTO (Sistema Museale Urbano Lecchese): *Il patrimonio culturale documentario e iconografico di Stoppani conservato dai Musei di Lecco*
- 11.30 Intervallo
- 11.50 Luigi BIGNAMI (geologo e documentarista- Milano): *Le meraviglie geologiche d'Italia*
- 12.10 Pascal RICHET (Institut de Physique du Globe de Paris): *The criterion of truth in Science. What's new since Ptolemy (2nd c. AD)?*

- 12.50 Giovanni CROSTA (Università di Milano Bicocca): *Frane di crollo e valanghe di roccia in ambiente alpino: innesco, frammentazione e flusso*
- 14.30 Alessandro AMOROSI (Università di Bologna): *La geologia della Pianura Padana oltre l'esplorazione petrolifera: architettura delle successioni quaternarie, idrostratigrafia e deformazione recente*
- 14.50 Giancarlo MOLLI (Università di Pisa): *Tratti di geologia dell'Appennino Settentrionale nelle serate de "Il Bel Paese" e nell'attualità*
- 15.10 Jan ZALASIEWICZ (University of Leicester - UK): *The Anthropocene epoch: its past, present and future*
- 15.50 Giovanni CHIODINI (INGV - Sezione di Bologna): *Emissione di CO2 endogena ed Atmosfera*
- 16.10 Intervallo
- 16.30 Valerio ACOCELLA (Università Roma 3): *La previsione delle eruzioni vulcaniche*
- 16.50 Mauro DI VITO (INGV- Osservatorio Vesuviano - Napoli), Francesca BIANCO (INGV- Osservatorio Vesuviano - Napoli): *Campi Flegrei – vulcanologia e sismologia*
- 17.20 Massimo FREZZOTTI (Università Roma tre): *Ghiacciai e livello del mare: evoluzione attuale e scenari futuri*

Il convegno è organizzato in collaborazione con l'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL e prosegue il 25 settembre 2024, nella sede di Villa Torlonia – Scuderie Vecchie: Via Lazzaro Spallanzani 1/A, tutte [le informazioni per partecipare alla manifestazione sono disponibili su:](https://www.accademiaxl.it/attualita-di-antonio-stoppani-visioni-e-sfide-delle-geoscienze-nel-terzo-millennio/)

Il convegno è organizzato con il contributo dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e del Comune di Lecco

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

Tutte le informazioni per partecipare al convegno sono disponibili su:
<https://www.lincei.it/it/manifestazioni/attualita-di-antonio-stoppani-convegno>

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

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

Gli scritti e le opere di Antonio Stoppani

Marco PANTALONI (ISPRA, Roma)

Il bicentenario della nascita di Antonio Stoppani (1824-1891) ha rinnovato un mai sopito interesse nella sua figura. Prete conciliatorista, scienziato e divulgatore, Stoppani è stato un personaggio di grande rilievo nell'ambito culturale e scientifico nazionale e contribuì in maniera decisiva alla nascita e al consolidamento dell'Italia unita.

Per contribuire alla ricostruzione della sua biografia e valorizzare la molteplicità di interessi che lo resero una figura di primo piano nel panorama culturale dell'Ottocento, sono stati esaminati i suoi contributi nelle scienze geologiche, nella paleontologia e nell'evoluzionismo, nonché i suoi fondamentali apporti allo sviluppo tecnologico e alla crescita economica del Paese.

Stoppani fu autore del primo manuale italiano di geologia, il *Corso di geologia* (1871), che divenne un testo fondamentale per lo studio delle Scienze della Terra in Italia. Svolse anche un ruolo cruciale nella preparazione della Carta geologica d'Italia e studiò vari aspetti dei giacimenti minerali e della produzione di petrolio, divenendo l'unico scienziato occidentale a formulare una personale e completa teoria sull'origine degli idrocarburi.

Impossibile dimenticare poi quello che fu uno dei successi editoriali più importanti nella storia della letteratura scientifica italiana: *Il Bel Paese* (1876), che descrive i viaggi compiuti da Stoppani attraverso l'Italia, organizzati idealmente partendo dalle Alpi ed arrivando in Sicilia, studiando minerali, flora e fauna. Il volume, illustrando le caratteristiche geologiche e naturalistiche dell'Italia, favorì lo sviluppo della coscienza nazionale degli italiani e divenne popolare per vari decenni, grazie anche alla diffusione in ambito scolastico ed in quello escursionistico da collegare alla nascita del Club Alpino Italiano.

Negli ultimi anni della sua vita si dedicò anche a studi di tipo apologetico e fu protagonista della battaglia tra intransigenti e conciliatoristi e sostenitore della conciliazione tra cultura religiosa e pensiero laico, culminato nella pubblicazione di *Dogma e scienze positive*.

Nella sua opera finale incompiuta, *Exameron. Nuovo saggio di esegesi della storia della creazione secondo la ragione e la fede*, Stoppani intendeva provare che non esistevano conflitti tra scienza e religione e che anzi, percorrendo la stessa strada, avrebbero accelerato il progresso dell'umanità.

La sua eredità non è definita solo dai suoi contributi pionieristici alle conoscenze geologiche e paleontologiche, ma anche dalla sua perseveranza civica e dai suoi sforzi per costruire una società moderna. Degna di nota è la sua profonda concezione della Natura come sistema ordinato e favorevole alla vita umana, che sottolinea l'importanza di un rapporto armonioso tra uomo e Natura.

The bicentenary of the birth of Antonio Stoppani (1824-1891) has renewed a never-ending interest in his figure. A conciliatorist priest, scientist and populariser, Stoppani was an important figure in the national cultural and scientific sphere and made a decisive contribution to the birth and consolidation of united Italy.

To contribute to the reconstruction of his biography and to highlight the multiplicity of interests that made him a leading figure in the cultural panorama of the 19th century, his contributions to geological sciences, palaeontology and evolutionism, as well as his fundamental contributions to the country's technological development and economic growth, have been examined.

Stoppani was the author of the first Italian handbook of geology, the *Corso di geologia* (1871), which became a fundamental text for the study of earth sciences in Italy. He also played a crucial role in the preparation of the Geological Map of Italy and studied various aspects of mineral deposits and oil production, becoming the only western scientist to formulate a personal and complete theory on the origin of hydrocarbons.

It is also impossible to forget what was one of the most important publishing successes in the history of Italian scientific literature: *Il Bel Paese* (1876), which describes Stoppani's travels through Italy, ideally organised by starting in the Alps and arriving in Sicily, studying minerals, flora and fauna. By illustrating the geological and naturalistic characteristics of Italy, the book

fostered the development of the national consciousness of Italians and became popular for several decades, thanks also to its dissemination in schools and in the field of hiking to be linked to the birth of the Club Alpino Italiano.

In the last years of his life, he also dedicated himself to apologetic studies and was a protagonist in the battle between intransigents and conciliatorists and a supporter of the reconciliation between religious culture and secular thought, culminating in the publication of *Dogma and Positive Science*.

In his unfinished final work, *Exameron. Nuovo saggio di esegesi della storia della creazione secondo la ragione e la fede*, Stoppani intended to prove that there was no conflict between science and religion and that, on the contrary, they would accelerate the progress of mankind by following the same path.

His legacy is not only defined by his pioneering contributions to geological and palaeontological knowledge, but also by his civic perseverance and his efforts to build a modern society. Noteworthy is his profound conception of Nature as an ordered system conducive to human life, which emphasises the importance of a harmonious relationship between man and Nature.

La Paleontologia di Stoppani: passato, presente e futuro

Lucia ANGIOLINI (Università di Milano)

Antonio Stoppani (1824-1891) fu un grande paleontologo. Interessato ai fossili sin dalla tenera età, come lui stesso racconta in un passo del “*Bel Paese*”, scrisse diversi saggi e monografie di Paleontologia, tra cui spiccano gli “*Studi geologici e paleontologici sulla Lombardia*” (1857), “*Dei precipui fatti della paleontologia*” (1863) e “*Paléontologie lombarde ou description des fossiles de Lombardie*” (1858-1881). Comprese appieno il significato profondo della disciplina e, sebbene estremamente interessato al significato biostratigrafico dei fossili e alla stratigrafia in generale, si occupò con grande acume e spirito critico anche di tassonomia, tafonomia, paleoecologia e paleoclimatologia.

Il suo contributo alla stratigrafia diede slancio alle ricerche della scuola italiana che oggi primeggia a livello internazionale per gli studi biostratigrafici e cronostratigrafici di grande valore. Meno conosciuta è invece l'importanza che Stoppani attribuì ai fossili come archivi di dati utili per le ricostruzioni dei climi e degli ambienti del passato, che egli mise in luce con le sue descrizioni, osservazioni e interpretazioni, o comunque anticipò nelle sue dettagliate raffigurazioni. Questo rappresenta certamente un elemento di grande innovazione che oggi si traduce nell'utilizzo dei fossili come archivi ad alta risoluzione che permettono di indagare come la biosfera ha reagito agli stress climatici del passato recente e lontano su lunghe scale temporali e di ricostruire le cause che li hanno prodotti. Ad esempio, il Carbonifero e il Permiano (359-252 Ma) sono stati teatro di drastici cambiamenti climatici: in un intervallo di tempo di circa 100 milioni di anni si è passati da una glaciazione estesa a quasi tutto l'emisfero meridionale al riscaldamento globale avvenuto alla fine del Permiano che ha portato all'estinzione di massa più severa del Fanerozoico. Gli archivi migliori per ricostruire tali eventi sono i fossili di invertebrati marini, tramite l'analisi della loro microstruttura e composizione geochimica. Questo studio può essere fatto anche a scala subannuale e certamente nel prossimo futuro strumenti di campionamento e analisi ad alta risoluzione permetteranno di perfezionarlo.

La “*nobile curiosità della scienza*”, così cara a Stoppani, è evidente nelle discipline alla frontiera della paleontologia: la Paleontologia Virtuale che richiama la strategia comunicativa di Stoppani e la Paleogenomica, lo studio del DNA antico.

Antonio Stoppani (1824-1891) was a great paleontologist. Interested in fossils from a young age, as he recounts in *Il Bel Paese*, Stoppani wrote several essays and monographs on Paleontology, among which stand out *Geological and Paleontological Studies on Lombardy* (1857), *On the Principal Facts of Paleontology* (1863), and *Paleontologie Lombarde ou Description des Fossiles de Lombardie* (1858-1881). He fully understood the profound meaning of the discipline, and although interested in the biostratigraphic significance of fossils and

stratigraphy, he also addressed taxonomy, taphonomy, paleoecology, and paleoclimatology with critical spirit. His contribution to stratigraphy gave impetus to the research of the Italian school, which today excels in biostratigraphic and chronostratigraphic studies of great value.

Less well known is the importance Stoppani attributed to fossils as archives of data useful for reconstructing past climates and environments. He highlighted this through his descriptions, observations, and interpretations, or at least foreshadowed it in his detailed depictions. This represents a highly innovative element, which today translates into the use of fossils as high-resolution archives that allow us to investigate how the biosphere responded to climatic stresses in both the recent and distant past over long timescales. For example, the Carboniferous and Permian witnessed drastic climate change and very varied environments in a time span of about 100 my: from a protracted icehouse which produced the glacial events of the late Palaeozoic Ice Age to the end-Permian hothouse, which led to the most severe mass extinction of the Big Five. These events can be studied by analysing the geochemical composition and microstructure of the shells of fossil marine invertebrates. This study can also be conducted on a sub-annual scale, and certainly, in the near future, high-resolution sampling and analysis tools will allow for its refinement.

The "noble curiosity of science," so dear to Stoppani, is evident in the frontier disciplines of paleontology: Virtual Paleontology, which echoes Stoppani's communicative strategy, and Paleogenomics, the study of ancient DNA.

Le Alpi e le Glaciazioni pleistoceniche: revisione aggiornata e tematiche aperte

Giovanni MONEGATO (CNR- IGG- Padova)

Since the early studies during the XIX Century, including the pioneering ones by Antonio Stoppani, the Alps have represented a key area for the study of Pleistocene glaciations and the understanding of their cycles. Subsequently, the establishment of Penck and Brückner's four glaciations milestone theory, glacial studies in the Alps have been the reference for Pleistocene glaciations. The widespread preservation of glacial landforms, in particular the end-moraine systems and the related glaciofluvial stacks, allowed reliable stratigraphic reconstructions, which have been strengthened in the last decades by the means of new dating methods. These pointed out that remarkable regional differences may be inferred from one sector to another of the Alps in terms of number of glacier advances that reflect dissimilarities in tectonic regimes (uplift vs. subsidence), accommodation space and preservation potential. Early Pleistocene glaciations are firstly identified in glaciofluvial deposits (Deckenschotter in the northern foreland), while the oldest moraines were identified in the southern side of the Alps based on reversal magnetostratigraphic polarity and ascribed to MIS22-20. Middle Pleistocene glacial landforms are bracketed between the Early Pleistocene units and the Last Glacial Maximum (LGM). For many of them, the lack of numerical age determinations hampers the correlations with cold stages. During the Middle Pleistocene a phase of valley overdeepening occurred. The MIS 6 glaciation was dated on glaciofluvial and glaciolacustrine outcropping successions in many sectors of the Alps. The Late Pleistocene cold phases (MIS 5d, MIS 4, MIS 3 and MIS2) were formalized within the Würm glaciation in the Eastern Alps. The LGM includes MIS2 and represents the last extensive spread of the Alpine glacial network and spans from 26 to 19 ka BP. The deposits of this phase have been dated in the last decades in many Alpine glacial systems and the shape of the glaciers have been drafted in detail. These reconstructions led to the relationships with climate events at hemispheric scale, opening new scenarios on how the development of Alpine glaciers is driven by global circulation changes. Moreover, the differences among the LGM with older glacial advances suggest that both global and local drivers have to be investigated for improving our understanding of the Alpine glaciations.

Le Alpi hanno rappresentato un'area chiave per lo studio delle Glaciazioni pleistoceniche, e la comprensione della loro ciclicità, sin dai pionieristici lavori della metà del 19° secolo, tra i quali vanno menzionati quelli di Antonio Stoppani. In seguito alla pubblicazione della teoria delle quattro glaciazioni da parte di Penck e Brückner, le Alpi sono diventate l'area di riferimento per questi studi. La diffusa conservazione di morfologie glaciali, in particolare gli anfiteatri morenici e le relative successioni fluvioglaciali, ha consentito ricostruzioni attendibili che sono state rafforzate nel corso degli ultimi decenni da numerose datazioni cronologiche. Gli studi effettuati hanno evidenziato differenze importanti tra i diversi settori della catena alpina in termini di numero di avanzate glaciali riconoscibili che riflettono differenze in termini di regime tettonico (subsidenza/sollevarimento), spazio di accomodamento e potenziale di preservazione. Le glaciazioni del Pleistocene Inferiore sono state inizialmente individuate nelle successioni fluvioglaciali dell'avampaese alpino settentrionale (qui definite Deckenschotter), mentre le morene più antiche sono state individuate nel settore meridionale delle Alpi per mezzo di analisi paleomagnetiche ed attribuite agli stadi isotopici 20 e 22. Le morfologie ed i depositi glaciali del Pleistocene Medio sono racchiuse tra quelle del Pleistocene Inferiore e quelle dell'Ultimo Massimo Glaciale (LGM). Per questi depositi, la mancanza di datazioni numeriche ha finora impedito una precisa correlazione con gli stadi isotopici freddi. Durante il Pleistocene Medio, ha avuto luogo una importante fase di sovraescavazione delle valli alpine. La fase relativa allo Stadio Isotopico 6 è stata riconosciuta e datata nei depositi fluvioglaciali e glaciolacustri in diversi settori delle Alpi. Le fasi fredde del Pleistocene superiore (MIS 5d, MIS 4, MIS 3 and MIS2) sono state formalizzate nella glaciazione Würm nelle Alpi Orientali. L'Ultimo Massimo Glaciale include lo Stadio Isotopico 2 e rappresenta l'ultima grande fase di sviluppo dei ghiacciai alpini, verificatasi tra 26 e 19.000 anni dal Presente. I depositi di questa fase sono stati datati negli ultimi decenni in molti sistemi glaciali alpini e la geometria dei ghiacciai è stata delineata in dettaglio. Queste ricostruzioni hanno consentito di correlare lo sviluppo dei ghiacciai alpini con gli eventi climatici a scala emisferica, aprendo nuovi scenari su quali fattori influenzino lo sviluppo dei ghiacciai nelle Alpi. In aggiunta, le differenze tra l'Ultimo Massimo Glaciale e le fasi più antiche suggeriscono che cause globali e locali devono essere meglio interpretate e studiate per migliorare la nostra comprensione sulle glaciazioni pleistoceniche alpine.

The criterion of truth in Science. What's new since Ptolemy (2nd c. AD)?

Pascal RICHET (Institut de Physique du Globe de Paris)

First conceived by Presocratic philosophers in the 6th century B.C., the geocentric representation of the world was not seriously contested for two millennia. Especially well buttressed by the extensive kinematic analyses of Claudius Ptolemy (~90-~168) in the *Almagest*, it was eventually overthrown by Copernicus only in the 16th century although it presented two important flaws. The first was the 24-hour period of revolution of the fixed stars, which blatantly contradicted the postulated increases of these periods with the distances to the Earth of the celestial bodies; the second, the impossibility of ascertaining clearly the order of these distances for the Sun, Venus, and Mercury. The question is thus to know why these flaws were paid so little attention for so long or, in other words, why what would nowadays be called geocentric consensus was not rejected earlier.

As also already discussed by Presocratic philosophers, at issue was the way in which how truth could be ascertained in scientific activity, i.e., the respective importances of sense perception, reason and supernatural insights. A noteworthy answer was provided by Ptolemy himself in his *Criterion of Truth* where he concluded in a balanced way that there are "two things to avoid. We must not dismiss sense perception as contributing nothing to the appreciation of reality. Nor, on the other hand, should we prefer its conclusion to that of thought". Interestingly, however, later criticism of the system of the *Almagest* focused on the subtle theoretical inconsistency represented by the equant, and not at all on its aforementioned flaws.

As will be discussed, similar conclusions can be drawn for other theories that have either been very long accepted or appeared to have an extremely strong theoretical basis. Hence, what

could be made to prevent such dead-end pathways from being again followed, particularly when complex environmental problems are at stake? A solution is simply to conform to the method of multiple working hypotheses proposed more a century ago by Thomas C. Chamberlin (1843-1928) and, within this framework, to acknowledge the fundamental importance of open debate. As long ago stated by Boethius (~480-524), "Greek philosophy itself would not have been held in such high honor if it had not been nourished by the conflicts and dissensions of the greatest scholars". Isn't Rome an appropriate place to remind it?

***Frane di crollo e valanghe di roccia in ambiente alpino:
innesco, frammentazione e flusso***

Giovanni CROSTA (Università di Milano Bicocca)

Rock slides, rock falls, and rock avalanches represent a sequence of linked phenomena that share mechanisms or evolve under different conditions. Sliding can initiate a fall or avalanche, while a fall can trigger an avalanche. Rock breakage, comminution, and fragmentation can occur along the shear zone of a rock slide, at the impact point of a rock fall (whether single or multiple blocks), or within the mass of a highly energetic rock-debris avalanche. These mechanisms play a crucial role in controlling the evolution of these phenomena, especially in complex and compound landslides where they interact from the initial stages to final deposition.

Understanding these mechanisms under varying boundary conditions is essential for comprehending landslide motion, even though they only explain some observed behaviors and features of the deposits. These mechanisms manifest differently across the three classes of phenomena considered here and in various geological and geomechanical processes. Sliding involves continuous shearing and damage, which can localize under diverse conditions; falling entails instantaneous and repeated impacts; avalanching allows for dynamic and nearly continuous fragmentation. Grain size distributions provide a simple straightforward method for describing fragmentation and evaluating potential controls, but still present limitations.

Furthermore, experimental tests used to quantify these processes at the laboratory scale often do not replicate the natural conditions under which rock fragmentation occurs within the moving mass. Starting from Stoppani's experience with the evidence of the 1771 Alleghe rock-avalanche, this contribution presents examples of these processes across different landslide types and evolutionary stages, providing data from real case studies and. It also discusses the main features, potential mechanical and hydraulic consequences, and the use of simplified models for their description. The role of local environmental conditions on the final results is also considered.

Frane, crolli e valanghe di roccia rappresentano una sequenza di fenomeni interconnessi che condividono meccanismi o evolvono in condizioni diverse. Uno scorrimento può innescare una caduta o una valanga, un crollo può evolvere in una valanga e variazioni in una fase influenzano le successive. La fratturazione, comminuzione e frammentazione possono verificarsi nella zona di taglio alla base di una frana, nel punto di impatto di un crollo, o all'interno della massa di una valanga di roccia e detrito. Questi meccanismi svolgono un ruolo cruciale nel controllare l'evoluzione di questi fenomeni, specialmente nelle frane complesse e composite dove interagiscono dalle fasi iniziali fino alla deposizione finale.

Comprendere questi meccanismi in diverse condizioni al contorno è essenziale per analizzare il moto delle frane, e spiegare alcuni dei comportamenti e delle caratteristiche dei depositi. Questi meccanismi si manifestano in modo diverso nelle tre classi di fenomeni considerate e sono oggetto di studio in differenti campi della geologia e geomeccanica.

Tuttavia, le prove sperimentali utilizzate per quantificare questi processi a scala di laboratorio spesso non replicano tutte le condizioni naturali in cui si verifica la comminuzione e frammentazione delle rocce all'interno della massa in movimento. Partendo dall'esperienza e dalle osservazioni di Stoppani sulla valanga di roccia di Alleghe (1771), questo contributo presenta esempi di questi processi in diversi tipi di frana e stadi evolutivi, il ruolo delle

condizioni ambientali, le loro caratteristiche principali, le conseguenze meccaniche e idrauliche, l'uso di modelli per la loro descrizione.

***La geologia della Pianura Padana oltre l'esplorazione petrolifera:
architettura delle successioni quaternarie, idrostratigrafia e deformazione recente***
Alessandro AMOROSI (Università di Bologna)

Fin dalla metà del secolo scorso il Bacino Padano è stato oggetto di numerose campagne geofisiche e perforazioni, principalmente finalizzate alla ricerca di gas e idrocarburi. Mediante l'integrazione di profili sismici, log di pozzo e dati biostratigrafici è stato possibile caratterizzare su base sismica le principali strutture tettoniche e ricostruire la stratigrafia delle successioni sedimentarie alla scala dell'intero bacino. In questo contesto, i depositi quaternari, collocati al di fuori degli interessi produttivi, sono stati per lo più trascurati in favore dello studio delle successioni profonde. A partire dagli anni '90, grazie all'impulso del progetto di cartografia geologica nazionale in scala 1:50.000 (CARG), sono state rese disponibili per la ricerca centinaia di carote di sedimento, il cui studio integrato ha permesso di colmare questo vuoto di informazioni, rendendo la Pianura Padana, a distanza di circa 30 anni, una regione chiave per lo studio del Quaternario.

La notevole espansione stratigrafica delle successioni quaternarie, legata al contesto tettonico attivo e agli elevati tassi di subsidenza, ha favorito lo sviluppo in area padana di modelli stratigrafici ad altissima risoluzione. L'analisi di facies su carote di sedimento, incorporata in un moderno quadro di stratigrafia sequenziale e associata a una moltitudine di dati paleontologici, pollinici, geochimici, petrografici e radiometrici, ha messo in luce la stretta relazione, negli ultimi 800.000 anni, tra architettura stratigrafica del primo sottosuolo e ciclicità milankoviana.

Nella piana costiera adriatica i depositi quaternari comprendono una tipica successione di cicli trasgressivo-regressivi caratterizzati alla base da sistemi deposizionali marini, deltizi e litorali, formati durante periodi interglaciali in condizioni di risalita e stazionamento alto del mare, sormontati da spessi pacchi di depositi continentali di origine glaciale, legati a successive fasi di caduta e stazionamento basso. All'interno della pianura, i depositi "trasgressivi" sono caratterizzati principalmente da argille e limi di ambiente palustre e di piana inondabile, cui si sovrappongono spessi corpi sabbiosi lateralmente continui, riferibili a channel belt fluviali alimentate dal Fiume Po e dai suoi affluenti. I cicli deposizionali meglio caratterizzati in termini di architettura stratigrafica sono riconducibili alle due pronunciate fasi di ingressione marina degli ultimi 125.000 anni, riferibili rispettivamente agli stadi isotopici MIS5e e MIS1.

Il riconoscimento di un'organizzazione ciclica nella stratigrafia dei depositi medio- e tardopleistocenici dell'area padana ha importanti ricadute a carattere applicativo. La ciclicità deposizionale si traduce, ad esempio, in un quadro idrostratigrafico ben delineato e predicibile su scala sia regionale che locale, dove l'alternanza di potenti corpi acquiferi sabbioso-ghiaiosi di origine fluviale con spessi pacchi di limi e argille che fungono da acquicludi e acquitardi permette di operare stime attendibili della geometria degli acquiferi e della loro vulnerabilità.

Un futuro ambito di applicazione della stratigrafia quaternaria è associato alla sismicità dell'area padana. Sebbene questa regione sia stata considerata a lungo a bassa pericolosità sismica, la sequenza sismica del maggio 2012 ha messo in evidenza una importante potenzialità sismogenetica delle strutture sepolte. L'analisi stratigrafica ad alta risoluzione della successione olocenica dimostra che l'impiego di criteri sedimentologici può costituire un importante strumento per l'identificazione di strutture tettoniche attive, soprattutto laddove la deformazione non è accompagnata da una espressione morfologica superficiale apprezzabile. Attraverso numerosi esempi viene mostrato come orizzonti stratigrafici sub-superficiali, formati originariamente in posizione suborizzontale, presentino oggi differenze di quota anche di decine di metri, a testimoniare processi di deformazione in atto. In questo contesto, lo studio stratigrafico dei depositi quaternari nel primo sottosuolo può costituire un utile strumento per contribuire a chiarire ubicazione, ruolo e pericolosità di strutture tettonicamente attive.

**Tratti di geologia dell'Appennino Settentrionale
nelle serate de "Il Bel Paese" e nell'attualità**

Giancarlo MOLLI (Università di Pisa)

Fin dalla metà del secolo scorso il Bacino Padano è stato oggetto di numerose campagne geofisiche e perforazioni, principalmente finalizzate alla ricerca di gas e idrocarburi. Mediante l'integrazione di profili sismici, log di pozzo e dati biostratigrafici è stato possibile caratterizzare su base sismica le principali strutture tettoniche e ricostruire la stratigrafia delle successioni sedimentarie alla scala dell'intero bacino. In questo contesto, i depositi quaternari, collocati al di fuori degli interessi produttivi, sono stati per lo più trascurati in favore dello studio delle successioni profonde. A partire dagli anni '90, grazie all'impulso del progetto di cartografia geologica nazionale in scala 1:50.000 (CARG), sono state rese disponibili per la ricerca centinaia di carote di sedimento, il cui studio integrato ha permesso di colmare questo vuoto di informazioni, rendendo la Pianura Padana, a distanza di circa 30 anni, una regione chiave per lo studio del Quaternario.

La notevole espansione stratigrafica delle successioni quaternarie, legata al contesto tettonico attivo e agli elevati tassi di subsidenza, ha favorito lo sviluppo in area padana di modelli stratigrafici ad altissima risoluzione. L'analisi di facies su carote di sedimento, incorporata in un moderno quadro di stratigrafia sequenziale e associata a una moltitudine di dati paleontologici, pollinici, geochimici, petrografici e radiometrici, ha messo in luce la stretta relazione, negli ultimi 800.000 anni, tra architettura stratigrafica del primo sottosuolo e ciclicità milankoviana.

Nella piana costiera adriatica i depositi quaternari comprendono una tipica successione di cicli trasgressivo-regressivi caratterizzati alla base da sistemi deposizionali marini, deltizi e litorali, formati durante periodi interglaciali in condizioni di risalita e stazionamento alto del mare, sormontati da spessi pacchi di depositi continentali di origine glaciale, legati a successive fasi di caduta e stazionamento basso. All'interno della pianura, i depositi "trasgressivi" sono caratterizzati principalmente da argille e limi di ambiente palustre e di piana inondabile, cui si sovrappongono spessi corpi sabbiosi lateralmente continui, riferibili a channel belt fluviali alimentate dal Fiume Po e dai suoi affluenti. I cicli deposizionali meglio caratterizzati in termini di architettura stratigrafica sono riconducibili alle due pronunciate fasi di ingressione marina degli ultimi 125.000 anni, riferibili rispettivamente agli stadi isotopici MIS5e e MIS1.

Il riconoscimento di un'organizzazione ciclica nella stratigrafia dei depositi medio- e tardopleistocenici dell'area padana ha importanti ricadute a carattere applicativo. La ciclicità deposizionale si traduce, ad esempio, in un quadro idrostratigrafico ben delineato e predicibile su scala sia regionale che locale, dove l'alternanza di potenti corpi acquiferi sabbioso-ghiaiosi di origine fluviale con spessi pacchi di limi e argille che fungono da acquicludi e acquitardi permette di operare stime attendibili della geometria degli acquiferi e della loro vulnerabilità.

Un futuro ambito di applicazione della stratigrafia quaternaria è associato alla sismicità dell'area padana. Sebbene questa regione sia stata considerata a lungo a bassa pericolosità sismica, la sequenza sismica del maggio 2012 ha messo in evidenza una importante potenzialità sismogenetica delle strutture sepolte. L'analisi stratigrafica ad alta risoluzione della successione olocenica dimostra che l'impiego di criteri sedimentologici può costituire un importante strumento per l'identificazione di strutture tettoniche attive, soprattutto laddove la deformazione non è accompagnata da una espressione morfologica superficiale apprezzabile. Attraverso numerosi esempi viene mostrato come orizzonti stratigrafici sub-superficiali, formati originariamente in posizione suborizzontale, presentino oggi differenze di quota anche di decine di metri, a testimoniare processi di deformazione in atto. In questo contesto, lo studio stratigrafico dei depositi quaternari nel primo sottosuolo può costituire un utile strumento per contribuire a chiarire ubicazione, ruolo e pericolosità di strutture tettonicamente attive.

The Anthropocene epoch: its past, present and future

Jan ZALASIEWICZ (University of Leicester - UK)

The Anthropocene's past and origins is rooted in the long history of human occupation of, and impacts on, the Earth, stretching through the Holocene and deep into the Pleistocene. This phenomenon was broadly what Antonio Stoppani understood by his prescient term, the Anthropozoic (coined in the same year as was the Holocene), in which he clearly and elegantly described how recent and ongoing natural processes, such as the building out of deltas and formation of peatlands, co-existed with human occupation.

Stoppani and other such pioneers lived before what is now understood as the Anthropocene, in the sense as introduced by Paul Crutzen in 2000 and subsequently developed by the Earth System science community and the Anthropocene Working Group: as the briefest and in many ways the most extraordinary geological time interval in the Earth's 4.54 billion year history. Now widely regarded as just over 70 years in duration—one human lifetime—it has seen the unprecedented mid-20th century 'Great Acceleration' of many processes, both socioeconomic and geological, to abruptly change the long-term trajectory of our planet's evolution. Phenomena such as markedly (and increasingly) perturbed element cycles, rapid climate warming, landscape reshaping, novel materials generation and biotic homogenization are producing new stratal patterns, often strikingly different from those of the Holocene and of the deep time rock record. Many of the changes are driven by a new Earth sphere, the technosphere, in which this new planetary acceleration is most intensely characterized. Currently, we are far from the kind of generally steady and stable state that has characterized most of Earth's duration, and a range of outcomes is possible in the geologically near future.

Ghiacciai e livello del mare: evoluzione attuale e scenari futuri

Massimo FREZZOTTI (Università di Roma tre)

I set di dati globali sulla temperatura dell'aria mostrano il 2023 come l'anno più caldo mai registrato, con una temperatura globale più calda di quasi 1,5 °C, rispetto all'epoca preindustriale (1850-1900). Il periodo da giugno 2023 ad agosto 2024 è stato il periodo più caldo mai registrato, con una temperatura globale dell'aria vicina a 17 °C. Dal 1850, il volume dei ghiacciai alpini è diminuito di circa il 65%, con una accelerazione del ritiro senza precedenti negli ultimi decenni a causa della crisi climatica. Nel 2022-2023, i ghiacciai di tutto il mondo hanno visto un nuovo record negativo con accelerazione dei fenomeni di ritiro, i ghiacciai delle Alpi hanno perso il 10% del loro volume, a causa di estati insolitamente calde e inverni con scarse precipitazioni nevose. Il volume perso durante le estati calde del 2022 e del 2023 è equivalente a quello perso tra il 1960 e il 1990. Tra il 1970 e il 2022, le calotte di ghiaccio della Groenlandia e dell'Antartide hanno perso in media 216 Gt di ghiaccio all'anno, contribuendo all'innalzamento del livello del mare di 28,5 mm. Dalla fine del XX secolo si è osservata una accelerazione della perdita di ghiaccio a causa dell'aumento della temperatura dell'atmosfera e degli oceani. L'aumento del livello del mare è dovuto alla fusione dei ghiacciai sulla terraferma (60%) che stanno aggiungendo più acqua agli oceani e all'aumento di volume degli oceani a causa della espansione termica (30%). Il livello medio globale del mare è aumentato di 210-240 mm dal 1880. L'innalzamento del livello del mare è passato da 1,2 mm/anno durante il XX secolo a 4,3 mm/anno negli ultimi dieci anni (2013-2023). Durante questo secolo, il livello medio globale del mare aumenterà, rispetto alla media del 1995-2014, probabilmente di 280-550 mm in uno scenario di emissioni di gas climalteranti molto basse e di 630-1020 mm in uno scenario di emissioni molto alte. La tempistica e l'estensione spaziale delle perdite di ghiaccio dovuta ai processi di instabilità delle calotte di ghiaccio rappresentano la più grande fonte di incertezza nella proiezione dell'entità e del tasso di risalita del livello del mare entro la metà del XXII secolo.

GLACIERS AND SEA LEVEL: CURRENT EVOLUTION AND FUTURE SCENARIOS

The global datasets show 2023 as the warmest year on record on air surface temperature, with global temperature close to the 1.5°C warmer than the 1850–1900 pre-industrial average. The period from June 2023 to August 2024 was the warmest period on the record, with a global air temperature close to the 17°C. Since 1850, the volume of Alpine glaciers has decreased by about 65%, with a shrinking at unprecedented rates due to the climate crisis during the last decade. During 2022-2023, glaciers around the globe saw an unprecedented negative record, glaciers in the Alps have lost 10% of their volume, the cause of unusually hot summers and winters with very low snow volume, which have caused the accelerating melts. The volume lost during the hot summers of 2022 and 2023 is the same as that lost between 1960 and 1990. Between 1970s and 2022, the Greenland and Antarctica Ice Sheets lost on average 216 Gt of ice per year, contributing a total of 28.5 mm to sea level rise. Losses from the ice sheets dramatically increased over the period of the satellite record due to air and ocean temperature increases. The rise is due to melting glaciers (60%) on land are adding more water to Earth's oceans, and to the increase in volume that occurs when water is heated, called thermal expansion (30%). Global average sea level has risen 210–240 mm since 1880. Global sea level rise has accelerated from a trend of 1.2 mm/yr during XX century to 4.3 mm/yr over 2013–2023 period. Global mean sea level will likely rise by 280-550 mm under a very low emissions greenhouse gases scenario and 630-1020 mm under a very high emissions scenario during this century, relative to the 1995-2014 average. The timing and spatial extent of ice loss due to ice-sheet instability processes pose the biggest source of uncertainty in projecting the magnitude and rate of sea level rise by the mid-22nd century.