

GEOLOGICAMENTE

MAGAZINE DI ATTUALITÀ E CULTURA DELLE GEOSCIENZE

Periodico della Società Geologica Italiana

n. 4 | marzo 2021

IL FUTURO DELLA GEOLOGIA

passa da Marte

"PER TREMOTO O PER SOSTEGNO MANCO..."

la Geologia nell'Inferno
di Dante Alighieri

ANALISI E MONITORAGGIO

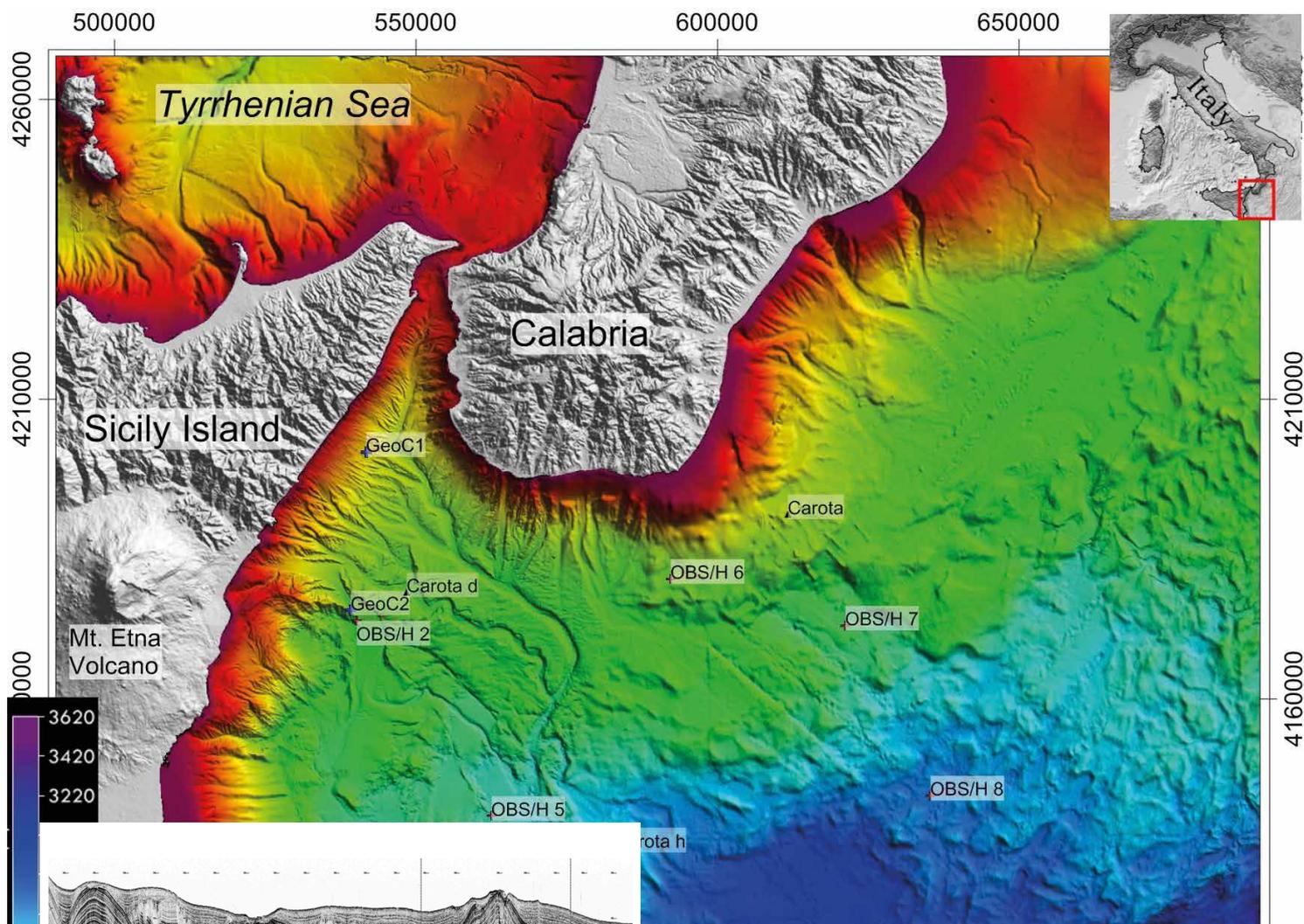
delle deformazioni del suolo
con tecniche satellitari

LE VIE DEI FOSSILI

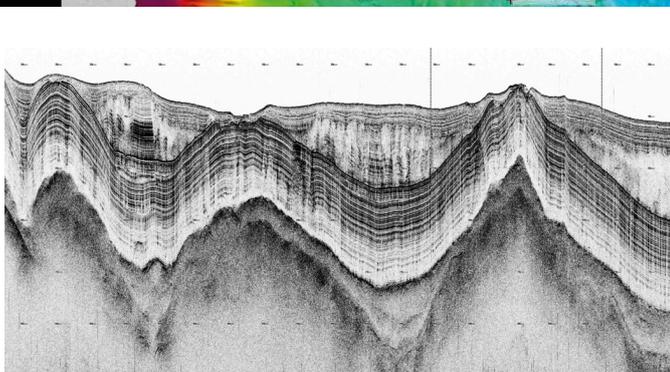
in Sicilia



Professione Geologo



SEISMOFAULTS 2017 PROJECT



Alta tecnologia.
Anche a noleggio

Strumenti per:

Studio del sottosuolo

Sismica, geoelettrica, magnetometria, Georadar 3D ...

Rilievi dei fondali, delle coste, dei porti, dragaggio

Multibeam, SideScan Sonar e SubBottom Profiler, ADCP, modem acustici, release, AUV, USV ...

Vulcanologia e monitoraggio sismico

Stazioni e reti sismiche, OBS, inclinometri ...



CODEVINTEC

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

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



Illumina il limite della scoperta

La tecnologia che trasforma la tua scienza

Neoma Multicollector ICP-MS

Proprio quando pensavi che non si potesse fare, il nuovo Thermo Scientific™ Neoma™ Multicollector ICP-MS alza l'asticella. Basandosi sulla forza della nostra tecnologia multicollector, questa nuova generazione di strumenti offre tutti i vantaggi dell'analisi dei rapporti isotopici ad alta precisione, ma senza limitazioni. È ora possibile avere informazioni anche dai campioni più piccoli, con una sensibilità impareggiabile, basso rumore di fondo e flessibilità nel passare rapidamente da un'applicazione all'altra. Aggiungi anche i vantaggi del risparmio di tempo con nuovo software e avrai tutto ciò che ti serve per una produttività alle stelle.

Scopri di più su thermofisher.com/neoma

Oppure contattaci: isotopeanalysis-italy@thermofisher.com

GEOLOGICAMENTE

MAGAZINE DI ATTUALITÀ E CULTURA DELLE GEOSCIENZE

C

- P. 8** "PER TREMOTO O PER SOSTEGNO MANCO..."
la Geologia nell'Inferno di Dante Alighieri
- P. 22** IL FUTURO DELLA GEOLOGIA
passa da Marte
- P. 32** ANALISI E MONITORAGGIO
delle deformazioni del suolo con tecniche satellitari
- P. 40** LE VIE DEI FOSSILI
in Sicilia

SIA

- P. 48** *Associazione Italiana*
PER LO STUDIO DEL QUATERNARIO
- P. 49** *Società*
GEOCHIMICA Italiana
- P. 51** *Associazione Nazionale*
INSEGNANTI SCIENZE NATURALI
- P. 52** *Associazione Italiana*
DI VULCANOLOGIA
- P. 54** *Società*
PALEONTOLOGICA Italiana
- P. 55** *Associazione*
PALEONTOLOGICA PALEOARTISTICA Italiana
- P. 56** *Sezione*
Storia delle GEOSCIENZE
- P. 58** *Sezione*
GEOLOGIA Himalayana
- P. 60** *Sezione*
GEOLOGIA Planetaria
- P. 61** *Sezione*
IdroGEOLOGIA
- P. 62** *Sezione*
Giovani GEOLOGI
- P. 63** *Sezione*
GEOsed
- P. 64** GEOLOGIA Marina
- P. 65** *Sezione*
GEOLOGIA Strutturale
- P. 67** *Sezione*
GEOETICA e Cultura Geologica

Rivista quadrimestrale SGI - Società Geologica Italiana | Numero 4 | marzo 2021 | SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Roma | www.socgeol.it | Tel: +39 06 83939366
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 34/2020 del Registro stampa del 24 marzo 2020

DIRETTORE EDITORIALE Enrico Capezuoli

COMITATO EDITORIALE Fabio Massimo Petti, Elena Bonaccorsi, Francesca Cifelli, Alessandro Danesi, Riccardo Fanti, Giulia Innamorati, Susanna Occhipinti, Domenico Sessa, Marco Chiari, Anna Giamborino, Eugenio Nicotra, Eleonora Regattieri e Orlando Vaselli

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

DIRETTORE RESPONSABILE Alessandro Zuccari



- P. 68** IVPDAY 2020
3° Convegno Nazionale per Giovani Ricercatori in Paleontologia
- P. 69** PANGEA:
le Geoscienze senza frontiere di genere
- P. 70** VISIONI
Preistoriche
- P. 72** LA CONOSCENZA DELLE MONTAGNE E LA GEOLOGIA
un binomio inscindibile
- P. 73** REGIONAL GEOLOGY AND TECTONICS:
Principles of Geologic Analysis
- P. 74** IL RESTAURO
del Mosaico della Battaglia di Issò
- P. 76** NEWS DAL MONDO
della professione
- P. 77** 90° CONGRESSO
della Società Geologica Italiana
- P. 78** IL TRAFORO DEL FREJUS
e l'abbattimento dell'ultimo diaframma



- P. 7** EDITORIALE
- P. 81** INCONTRA GLI AUTORI
- P. 82** COME SCOPRIRE IL PAESAGGIO GEOMINERARIO VISITANDO IL PARCO DELLE COLLINE METALLIFERE
Tuscan Mining Unesco Global GEOPARK

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

STAMPA digitale

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

Gli articoli e le note firmate esprimono solo l'opinione dell'autore e non impegnano la Società Geologica Italiana né la Redazione del periodico.
Foto in copertina: NASA ID: PIA00407 - Global Color Views of Mars (<https://images.nasa.gov/details-PIA00407>). Credit NASA/JPL/USGS (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00407>).
Immagini interne: freepik.com

Chiuso in Redazione il 10 marzo 2021.



CTD Logger multiparametrico (conducibilità, temperatura, pressione)

- Precisione / scala di conducibilità del sensore:
 $\pm 1\%$ max. / 0,2...200 mS/cm
- Precisione / sensore Pt1000 per monitorare la temperatura:
 $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ / -10...40 $^{\circ}\text{C}$
- Precisione / campo di pressione (profondità):
 $\pm 0,02\%$ FS max. / 5...200 m
- Applicazioni:
monitoraggio della qualità dell'acqua e del livello



Competenza nella idrologia

Unità di trasmissione dati a distanza GSM

- Logger multiparametrico
- Trasmissione dei dati via e-mail, FTP oppure SMS
- Multifunzionale
- Durata della batteria fino a 10 anni
- Facilità d'installazione
- Software incluso

Logger di pressione e temperatura

- Autonomo
- Di facile uso
- Durata della batteria fino a 10 anni
- Applicazioni:
 - Acqua dolce
 - Acqua salata
 - Acqua sporca
- Ottenibile in acciaio Inox, Hastelloy oppure in Titanio



EDITORIALE



Sandro CONTICELLI

Presidente SGI - Società Geologica Italiana

Apprezzare la **bellezza** dell'Universo passa attraverso **conoscenza** e **ricerca**, ma anche **storia** dell'uomo e **arte**. Questo numero di **GeologicaMente** ci prende immaginariamente per mano e ci accompagna in un viaggio incredibile, dall'inferno della **Divina Commedia** verso l'infinito, passando attraverso la percezione della natura e del creato di Dante, o percorrendo le vie della testimonianza della vita passata in Sicilia, raggiungendo così il cielo solcato da satelliti, che oggi rappresentano uno strumento sempre più importante per l'osservazione della Terra e della sua dinamica superficiale, fino a toccare "terra" sul pianeta rosso con i "rover" di ultima generazione.

Un **viaggio fantastico** che Jules Verne aveva solo immaginato, che Georges Méliès aveva per primo tradotto in rappresentazione cinematografica, ma che diventava realtà con Neil Armstrong quando toccando il suolo lunare esclamò "*That's one small step for a man, one giant leap for mankind*". La missione dell'**Apollo 11** riportò sulla Terra un **carico prezioso di rocce** e **polvere lunare** che ci ha aiutato a comprendere la storia primordiale del nostro pianeta ma

soprattutto ha **aperto nuovi orizzonti** per le **Geoscienze**. D'altra parte, definire i meccanismi che controllano l'evoluzione e la dinamica terrestre risulta fondamentale nell'interpretazione e comprensione dell'**evoluzione planetaria** e dell'**origine della vita** nell'universo così da rendere **necessarie** le **competenze** del **geologo** oltre i confini del nostro pianeta.

Bellezza e **Geodiversità**, inoltre, affiorano di nuovo con decisione, in questo numero di **GeologicaMente**, anche dalle pagine dedicate alle attività delle **sezioni** della **Società Geologica Italiana** e da quelle dedicate alle **associazioni scientifiche** ad essa affiliate. Ci vengono narrati momenti importanti di valorizzazione dell'eccellenza scientifica, che includono la formazione degli insegnanti di Scienze, incontri scientifici aperti a tutti come i "scientific virtual tours" o le giornate scientifiche della paleontologia, la storia delle geoscienze e l'utilizzo sostenibile delle risorse idriche, passando per iniziative editoriali (AMQ e ROL) e tanto altro. Da non dimenticare i contributi sulla **conoscenza delle montagne**, sulle **visioni preistoriche**, sul contributo delle Geoscienze al **restauro del mosaico della Battaglia di Isso**, senza infine tralasciare i resoconti delle attività congressuali, di comunità [PanGea!], e dal mondo delle professioni. Di grande qualità i **cammei** di chiusura sull'abbattimento dell'**ultimo diaframma** del **Frejus** e sul patrimonio del **paesaggio minerario** delle **Colline Metallifere** in Toscana meridionale.

Una miscela incredibile per un viaggio fantastico attraverso la **bellezza del nostro pianeta** e oltre.

GeologicaMente compie 1 anno!

È sicuramente un piccolo festeggiamento, ma ci piace sottolinearlo, specialmente all'interno di un momento storico dove l'attenzione è (necessariamente) rivolta ad altri argomenti. Nonostante tutto, apprezziamo con piacere i numerosi commenti positivi ricevuti, risultato di un ottimo lavoro di squadra di tutto il Comitato Redazionale e sintomo di un interesse positivo riguardo alla nostra attività. E soprattutto, ci fa piacere ricevere molte proposte di collaborazione e di contributi per i prossimi numeri. Speriamo che il mondo delle geoscienze italiane abbiano sempre questo spirito di condivisione. Noi proveremo a trasmettere questo spirito... e a dare voce al suo meglio!!

Comunque è un numero di festeggiamenti e anniversari! Dedichiamo la nostra copertina a Marte, ultima frontiera della ricerca, e festeggiamo il successo della missione *Perseverance*, dove le geoscienze hanno un ruolo di grande riguardo (contributo di F. Salese). E festeggiamo i 700 anni dalla nascita di Dante con un contributo sugli stretti legami presenti tra la Divina Commedia e la Geologia (M. Romano). Inoltre dedichiamo volentieri spazio ad uno dei vincitori dei premi SGI 2020 (G. Solaro) che ci mostra le innovazioni della ricerca nelle geoscienze effettuata in ambito satellitare, e all'illustrazione del patrimonio paleontologico della Sicilia, una delle numerose eccellenze delle geoscienze del panorama culturale italiano (R. Sanfilippo). Non dimentichiamo il Parco



Enrico CAPEZZUOLI

Direttore Editoriale Geologicamente

Nazionale delle Colline Metallifere Grossetane, una dei Geoparchi UNESCO presenti nel nostro paese e illustrato nella sezione dedicata di questo numero (A. Casini).

Per finire, nelle *News* trovate la celebrazione del 150° anniversario della realizzazione del Traforo del Frejus, insieme a varie segnalazioni di attività ed eccellenze delle geoscienze in Italia.

Nel frattempo, nonostante i problemi legati al Covid, tutte le diverse anime delle Geoscienze italiane stanno portando avanti numerose attività. Le Associazioni (AIV, SPI, AIQUA, APPI, SoGeI) e le Sezioni associate alla SGI sono in fermento e qui riportiamo un breve riassunto delle loro iniziative. Sicuramente meriterebbero più spazio... ma vi consigliamo di rimanere sempre aggiornati sui vari siti di riferimento.

Mai come in questo periodo dobbiamo dire *Stay tuned!!* Per essere aggiornati. Noi ci siamo! Come sempre... *Mente et Malleo* a tutti!!!



"PER TREMOTO O PER SOSTEGNO MANCO..."

*la Geologia nell'Inferno
di Dante Alighieri*

a cura di **Marco Romano**

Fig. 1 - "Vista panoramica dei Lavini di Marco
(Rovereto, Trentino Alto-Adige) (foto di Massimo Bernardi).



La Divina Commedia del vate italiano per antonomasia, Dante Alighieri, può essere considerata a tutti gli effetti un compendio olistico della conoscenza umana agli inizi del quattordicesimo secolo, spaziando dalla teologia, alla filosofia, medicina, scienze naturali, geografia, astronomia, etica, politica e molto altro ancora. Tra le scienze naturali gli elementi più trascurati da commentatori ed esegeti sono i richiami geologici nell'opera di Dante, elemento difficilmente giustificabile considerando i numerosi richiami geologici *sensu lato* rintracciabili nelle tre cantiche. Nel presente contributo si riportano e analizzano gli elementi geologici che caratterizzano la Prima Cantica, cioè l'Inferno, cercando di contestualizzare i versi di Dante nelle conoscenze scientifiche del nostro pianeta disponibili tra tredicesimo e quattordicesimo secolo. Dante è in grado di utilizzare in maniera sapiente e unica gli elementi della natura, specialmente del paesaggio, come 'materiale da costruzione' per ambientare il suo viaggio negli inferi. Tipi specifici di roccia, scarpate scoscese, corpi di frana, laghi, sorgenti idrotermali e cascate, diventano il materiale di base nelle mani del poeta fiorentino su cui scolpire similitudini e metafore. Nel lavoro del Sommo Poeta sono rintracciabili riferimenti idrogeologici, ai terremoti, struttura delle montagne, deposizione del travertino, modellazione del paesaggio, fenomeni metereologici, fino alla struttura generale della Terra e dell'intero Cosmo. La reale grandezza e maestria di Dante risiede nella capacità di comunicare in brevi versi la netta separazione tra i fatti scientifici legati ai fenomeni naturali e il loro utilizzo per scopi estetici, poetici, politici e persino etici. Il lavoro di Dante e dei suoi contemporanei non impersonifica il "periodo oscuro" della scienza, come trovato in molte interpretazioni classiche del Medioevo ma, diversamente, il contesto culturale dove vennero poste quelle domande essenziali che servirono poi da propellente per la successiva 'rivoluzione scientifica' vera e propria.



INTRODUZIONE

Tra gli illustri italiani che nei secoli precedenti hanno scritto di scienze naturali e geologia *sensu lato*, la penna più ‘divina’ appartiene senza dubbio alcuno al Sommo Poeta: Dante, o Durante di Alighiero degli Alighieri (1265-1321), bardo per eccellenza, padre della lingua italiana, filosofo, linguista, politico e molto altro (Fig. 1). Dante capace di commuoverci con la delicatezza ed estetica dei versi immortali nella preghiera alla Vergine, il “*Termine fisso d’eterno consiglio*”, colei “*che l’umana natura/ nobilitasti sì, che il suo Fattore/ non disdegnò di farsi sua fattura*”.

Dante capace di infiammarci con invettive roboanti, come quella contro Pisa “*vituperio de le genti del bel paese là dove ‘l sì suona*”, e lamentando la lentezza dei nemici a distruggere questa novella Tebe, esorta a muoversi la “*Capraia e la Gorgona*” in modo che “*faccian siepe ad Arno in su la foce, / sì ch’elli annieghi in te ogne persona!*”. Questo Dante è capace di stupirci ancora una volta, rivelando tra i suoi versi una profonda conoscenza anche del mondo naturale e di numerosi fenomeni che oggi definiremmo di carattere geologico.

D’altronde la Divina Commedia rappresenta a tutti gli effetti un compendio olistico della conoscenza o “*canoscenza*” umana (per dirla con le parole del Poeta) agli inizi del quattordicesimo secolo (Ossola, 2012), spaziando dalla filosofia, alla teologia, medicina (Cerbo, 2001), scienze naturali, etica, politica, geografia, lettere, arti in generale e astronomia (Romano, 2016). Nei versi di Dante si trovano chiari riferimenti all’organizzazione degli esseri viventi con particolare riferimento al loro comportamento (etologia), utilizzati come sorgente primaria di metafore con implicazioni prettamente etiche.

Tutti questi elementi di carattere scientifico e artistico non sono riportati in lunghi e tediosi discorsi accademici, ma risultano immersi qui e là in versi di rara bellezza e raffinatezza, spesso solo menzionati velocemente per stimolare la curiosità del lettore che volesse approfondirne e carpire il loro significato più profondo (Romano, 2016). Dopo la stagione dei poeti classici dell’antichità, possiamo affermare senza alcun dubbio che la profonda impressione esercitata dal mondo della natura nella mente umana inizia esattamente, e definitivamente, con l’opera di Dante. Questa caleidoscopica cornucopia di scienze e arti, che costituisce l’impresa quasi sovra umana che è l’opera di Dante, ha portato giustamente autori come Carlo Ossola a definire la Divina Commedia come la più gremita enciclopedia del mondo medievale (Ossola, 2012).

Nella sua opera Dante è conscio di integrare la filosofia di Aristotele con le basi razionali del pensiero cristiano (Inglese, 2002), un tentativo trovato in parte già in Tommaso d’Aquino e in Alberto Magno. Molte delle interpretazioni nella Divina Commedia che possiamo definire oggi ‘geologiche’, sempre



Fig. 1 - Ritratto di Dante Alighieri (da De Marzio, 1864).

intese nel senso più ampio del termine, possono essere considerate eredità diretta del pensiero aristotelico, ad esempio dei *Metereologica*, reso disponibile grazie a nuove traduzioni e a un rinnovato interesse nella conoscenza del mondo antico a partire dal dodicesimo e tredicesimo secolo.

Dalla stretta combinazione tra il sistema aristotelico-tolomaico e la “*verità rilevata*” della Bibbia, ritroviamo nel pensiero di Dante gli elementi di un universo interamente creato da Dio, con un Pianeta Terra che risulta vecchio di soli 6500 anni, una visione dunque molto lontana dal concetto centrale di ‘tempo profondo’, pietra miliare della moderna geologia (Romano, 2016). Tutto il Creato nel sistema abbracciato da Dante è portatore di un fine particolare e ogni singolo elemento risponde a un preciso ordine predeterminato nel quale si rispecchia il disegno stesso di Dio. In questa chiave di lettura che mescolava l’eredità di autori antichi e i testi della Bibbia, l’orogenesi e i terremoti vengono considerati il risultato di esalazione da parte di vapori sotterranei, le terre emerse si credono concentrate esclusivamente nell’emisfero nord, mentre l’emisfero sud è interpretato come occupato interamente dalle acque del Grande Oceano. Anche se molte di queste interpretazioni potrebbero suscitare il riso alla luce delle conoscenze attuali, non bisogna assolutamente commettere l’errore piuttosto comune di criticare o giudicare negativamente un’opera al di fuori del contesto culturale e sociale in cui è stata concepita e scritta.

"PER TREMOTO O PER SOSTEGNO MANCO..."

la Geologia nell'Inferno di Dante Alighieri

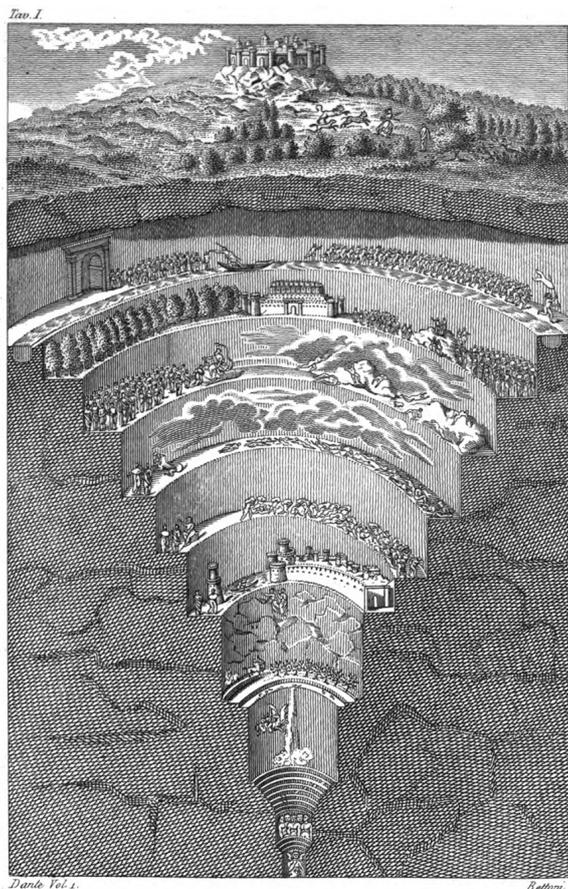


Fig. 2 - Raffigurazione dell'Inferno con un cono invertito, che si restringe gradualmente in profondità raggiungendo il suo apice al centro della Terra, e diviso in sei cerchi gradualmente meno estesi (da Peticari & Monti, 1825, p. 2).

Il Sistema Cosmologico e la struttura della Terra in Dante

Lo schema cosmologico abbracciato da Dante nel *Convivio*, e successivamente nella *Divina Commedia*, è il sistema geocentrico, allo stesso tempo antropocentrico e teocentrico (Boyde, 1984), che può essere fatto risalire come ben noto a Tolomeo (Inglese, 2002). Dante nella *Commedia* chiama la terra "palla", riferendosi ad essa quindi come un corpo di forma sferica, e prendendo chiaramente le distanze da quei filosofi del mondo antico che se la figuravano a forma di navicella, cilindrica, cubica, o poggiata su un qualche supporto fantastico. L'interpretazione della Terra come una sfera in Dante traspare incontrovertibile ad esempio in alcuni versi del *Purgatorio*, dove il Poeta scrive (Pg, IV, 67-71): "Come ciò sia, se 'l vuoi poter pensare, / dentro raccolto, immagina Sion' con questo monte in su la terra stare / sì, ch'amendue hanno un solo orizzòn / e diversi emisperi..."

I diversi emisferi, e quindi il concetto di antipode, presuppongono necessariamente la concezione del nostro pianeta come una sfera. Nel sistema abbracciato da Dante, la Terra è considerata

come il centro immobile dell'Universo, intorno al quale ruotano sette pianeti disposti secondo sfere concentriche. Le conoscenze 'scientifiche' al tempo di Dante consideravano il pianeta Terra come una sfera perfetta con una circonferenza di 20.400 miglia e un raggio di 3250 miglia. Queste misure sono fornite direttamente dallo stesso Dante nel *Convivio* (Boyde, 1984), valori dobbiamo dire abbastanza vicini a quelli attualmente accettati. Sappiamo oggi che, in realtà, la forma della Terra è assimilabile a un ellissoide oblato, forma ottenuta facendo rotare un'ellisse (ellissoide di riferimento), attorno al proprio asse minore, con uno scostamento massimo nel geoide di 100 metri. Il rigonfiamento equatoriale, che fornisce la classica conformazione del geoide, è il risultato della rotazione terrestre, con un diametro equatoriale che supera di circa 43 Km quello polare.

Dante colloca il suo Inferno nell'emisfero nord, immaginando la forma di un cono invertito posizionato sotto Gerusalemme, che gradualmente si restringe fino a raggiungere il suo apice nel profondo centro della Terra. La struttura generale che può essere ricavata dai versi del poeta è una sorta di vero e proprio anfiteatro a gradoni, diviso in nove cerchi gradualmente meno ampi che terminano nel profondo pozzo di Cogito al centro della Terra (Fig. 2).

Nella visione del Poeta fiorentino solamente l'emisfero nord risulta occupato da terre emerse e dunque abitato. Considerando le conoscenze dell'epoca, Dante non poteva ovviamente avere ancora conoscenza dell'America, Australia, e Sud-Africa. La grande massa di terre emerse nell'emisfero nord, rappresentato dall'Europa, Asia e Africa, costituiva la così detta "gran secca", con un contorno ricostruito ad andamento grossomodo sub-circolare. Ancora più nello specifico, l'area che si credeva abitata era rappresentata dal triangolo che aveva come vertici le 'Isole Fortunate', nome antico con cui venivano indicare le Isole Canarie, la penisola di Malacca (porzione ovest e sud-ovest della Malaysia Peninsulare), e la moderna Islanda, chiamata con il nome di Tule al tempo di Dante.

Diversamente l'emisfero meridionale era immaginato come ricoperto completamente, e a perdita d'occhio, dalle acque del grande oceano. Dante eredita parte di questa concezione bipartita del pianeta direttamente da Aristotele, il quale considerava l'emisfero settentrionale come 'inferiore' e sede d'elezione della "generatio and corruptio"; diversamente l'emisfero meridionale, dove il Poeta Fiorentino posiziona la montagna del *Purgatorio*, era considerato di una nobiltà più elevata, concetto trovato ad esempio anche in Alberto Magno.

Diversamente dal *Convivio* e dalla *Questio de aqua et terra*, che sono stati concepiti come opere in prosa con un'unità e organicità nella loro struttura e presentazione delle teorie, gli elementi cosmologici nella *Divina Commedia* sono sparsi nell'opera monumentale, e spesso introdotti solamente per stimolare la curiosità del lettore colto.

A partire già dal Canto I, troviamo i seguenti versi ben conosciuti

(16-17): “guardai in alto, e vidi le sue spalle/ vestite già de’ raggi del pianeta/ che mena dritto altrui per ogni calle.” Chiamando il Sole ‘pianeta’, ovvero un corpo celeste che compie rivoluzioni intorno alla Terra, Dante ci fa comprendere sin dall’inizio la sua scelta del sistema Aristotelico-Tolemaico (anche se con alcune differenze sostanziali e interpretazioni personali), come summa cosmologica di riferimento per il Poema.

Nel Canto II, a partire dal verso 76 Dante scrive: “O donna di virtù, sola per cui/ l’umana spezie eccede ogni contento/ di quel ciel c’ha minor li cerchi sui.”. La sfera (‘ciel’) a cui Dante fa riferimento è quella della Luna che, in accordo al sistema Tolemaico, risulta essere la più vicina alla Terra, e dunque la prima a includere al suo interno gli esseri umani. Questi ultimi considerati, in accordo con la nota *scala naturae*, esseri viventi di natura superiore, che trascendono ogni altro organismo (Sapegno, 1983), perfettamente in linea con l’universo teocentrico e antropocentrico che caratterizza il Medioevo.

Ancora nel Canto II dell’Inferno (linee 82-83) troviamo: “Ma dimmi la cagion che non ti guardi/ dello scender qua giùso in questo centro”. Con l’espressione “questo centro”, il poeta intende chiaramente l’Inferno, ancora pienamente in accordo con il sistema cosmologico sopra menzionato che, come già accennato, contempla una Terra come centro immobile dell’Universo e l’Inferno come il centro della stessa Terra. Ugualmente, nel Canto XXXII Dante scrive a partire dal verso 7: “che non è impresa da pigliare a gabbo/ discriver fondo a tutto l’universo”, dunque sottolineando nuovamente l’identificazione dell’Inferno come il centro assoluto di tutto il cosmo.

Nel Canto V possiamo trovare dei riferimenti alla struttura immaginata da Dante per il suo Inferno, concepito come una sorta di grande anfiteatro a forma di cono rovesciato. A partire dal primo verso Dante scrive: “Così discesi del cerchio primaio/ giù nel secondo, che men luogo cinghia/ e tanto più dolor, che punge a guaio./ Stavvi Minòs orribilmente e ringhia:/ esamina le colpe nell’entrata;/ giudica e manda secondo ch’avvinghia.” A partire da questi versi si può risalire all’abisso concepito da Dante, con gradoni di forma circolare che si restringono progressivamente procedendo verso il basso, e dunque verso il centro della Terra, corrispondente all’apice del cono rovesciato (Fig. 2).

Questa struttura è nuovamente sottolineata anche nel Canto XXXII dove, a partire dal primo verso troviamo: “S’io avessi le rime aspre e chioce,/ come si converrebbe al tristo buco/ sopra ’l qual pontan tutte l’altre rocce”, rimarcando una forma generale dove, sopra il pozzo centrale più profondo, si poggiano e sporgono tutti i cerchi superiori.

Nel Canto XXVI troviamo i versi immortali del “folle volo” di Ulisse, che ha spinto la sua sete di conoscenza verso l’ignoto oltre i pilastri di Ercole (a partire da verso 112): “O frati”, *dissi,*

“che per cento milia/ perigli siete giunti all’occidente,/ a questa tanto picciola vigilia/ de’ nostri sensi ch’è del rimanente,/ non vogliate negar l’esperienza,/ di retro al sol, del mondo senza gente.” In questo caso, menzionando il “mondo senza gente”, il Poeta fa riferimento alla struttura della Terra sopra riportata che, in linea con le conoscenze dell’epoca, era ritenuta abitata solamente nell’emisfero settentrionale in corrispondenza della “gran secca”; l’emisfero meridionale, come visto, era considerato la sede del vasto oceano, ipotesi sostenuta in modo chiaro da Dante nel Convivio (Sapegno, 1983).

La struttura generale dell’Inferno in Dante risulta in definitiva dalla fusione di elementi realmente osservati in natura (come rocce, frane, fiumi e crepacci), con elementi architettonici artificiali che testimoniano la ricerca anche di un rigore geometrico. Ne troviamo esempio nel canto XVIII, dove a partire dal verso 1: “Luogo è in inferno detto Malebolge,/ tutto di pietra di color ferrigno,/ come la cerchia che dintorno il volge./ Nel dritto mezzo del campo maligno/ vaneggia un pozzo assa largo e profondo,/ di cui suo loco dicerò l’ordigno./ Quel cinghio che rimane adunque è tondo/ Tra ’lpozzo e ’l piè dell’alta ripa dura,/ e ha distinto in dieci valli il fondo./ Quale, dove per guardia delle mura/ più e più fossi cingon li castelli,/ la parte dove son rende figura,/ tale imagine quivi facean quelli;/ e come a tai fortezze da’ lor sogli/ alla ripa di fuor son ponticelli,/ così da imo della roccia scogli/ movien che ricidien li argini e’ fossi/ infino al pozzo che i tronca e racc’ogli.”

Con il termine Malebolge Dante indica l’ottavo cerchio in cui viene punito chi commise frode contro chi non si fida, con dieci bolge concentriche dove i peccatori sono suddivisi in altrettante dieci categorie. Dalle Malebolge Dante e Virgilio scenderanno poi più in fondo nel Pozzo di Cogito, dove incontrano la Caina per i traditori dei parenti, l’Antenora per i traditori della patria, la Tolome per i traditori degli ospiti, la Giudecca per i traditori dei benefattori, sino a giungere al centro della Terra occupato da Luciferò immobilizzato e immerso nel proprio ghiaccio.

La forma regolare delle bolge è presa in prestito da Dante dalla struttura concentrica a fossati multipli dei castelli medievali, interconnessi da ponti levatoi artificiali. A questa struttura geometrica regolare di natura artificiale sono però sovrapposti caratteri naturali, con argini, fossati e gli stessi ponti di connessione formati da “pietra di color ferrigno”, che dal margine estremo della “stagliata rocca” vanno a congiungere tra loro gli argini divisori delle fosse, uno dopo l’altro, come una sorta di raggera che converge al centro. Risalta dunque la ricerca di un rigore geometrico nella struttura dell’Inferno Dantesco, a cui il poeta sovrappone, senza soluzioni di continuità, asperità e accidenti caratteristici di paesaggi naturali reali. In particolare, il termine “scogli” è riferito chiaramente ad asperità e rupi naturali e non manufatte.

"PER TREMOTO O PER SOSTEGNO MANCO..."

la Geologia nell'Inferno di Dante Alighieri

Elementi meteorologici nell'Inferno di Dante

I numerosi rimandi meteorologici nella Divina Commedia sono tratti da Dante essenzialmente dai Meteorologica di Aristotele, senza cambiamenti interpretativi maggiori. I Meteorologica, scritti intorno al 340 a.C., possono essere considerati a tutti gli effetti il trattato comprensivo più antico sul tema della meteorologia (Frisinger, 1972), con un'opera suddivisa in quattro libri, tre dedicati strettamente alla meteorologia e un quarto essenzialmente dedicato alla chimica. Come già accennato brevemente nel testo, nella visione aristotelica l'universo veniva suddiviso in due regioni principali, la regione oltre l'orbita della Luna, considerata come regione celestiale, e quella al di sotto che andava a individuare la regione terrestre o sub-lunare. Tale dicotomia è funzionale ad Aristotele per identificare l'astronomia come quella disciplina che si occupa solamente della regione celestiale, e la scienza della meteorologia invece risultava relegata allo studio dei fenomeni e processi naturali caratterizzanti la sfera terrestre o sub-lunare. Elemento fondamentale su cui si basa la meteorologia aristotelica è la teoria dei quattro elementi ereditata da Empedocle, dove la regione terrestre può essere descritta essenzialmente utilizzando la terra, l'acqua, l'aria e il fuoco, disposti in sfere concentriche aventi la terra, più densa e pesante, nel centro del pianeta.

Altro elemento centrale nel sistema meteorologico di Aristotele è la dicotomia tra esalazioni secche ed esalazioni umide generate dal calore del Sole, e responsabili rispettivamente di fenomeni come il vento e i tuoni per le esalazioni secche, e nuvole e pioggia per quelle umide. In linea di massima si può affermare che per quanto concerne i fenomeni e processi naturali che riguardano l'evaporazione e la condensazione, le spiegazioni e teorie fornite da Aristotele non differiscono molto nella sostanza rispetto le interpretazioni correntemente accettate. Nell'Inferno di Dante, troviamo nel Canto V a partire dal verso 31: *"La bufera infernal, che mai non resta, / mena li spirti con la sua rapina: / voltando e percotendo li molesta."*

Utilizzando semplicemente tre versi, Dante riesce a porre l'attenzione su un punto fondamentale. Nello specifico la tempesta o bufera infernale *"mai non resta"*, ovvero non ha mai fine e dunque non permette mai agli oggetti presi in carico nella sua furia di posarsi nuovamente. Fenomeno in chiara opposizione alle bufere reali osservate in natura, che trovano sempre una fine. Dunque, per mezzo della sua invenzione poetica, Dante è in grado di utilizzare fenomeni naturali rendendoli sovranaturali a suo perfetto piacimento, come strumenti della sua costruzione immaginaria. Tuttavia, il Poeta sembra fornire, sempre tra le righe, indicazioni riguardo il 'regolare' operare dei fenomeni naturali, in linea ovviamente con le conoscenze naturalistiche disponibili all'epoca.

Nel Canto IX, a partire dal verso 64, Dante descrive, potremmo

dire quasi 'scientificamente', il classico fenomeno di un uragano estivo: *"E già venia su per le torbide onde / un fracasso d'un suon, pien di spavento, / per che tremavano ambedue le sponde, / non altrimenti fatto che d'un vento / impetuoso per gli avversi ardori, / che fier la selva e senz'alcun rattento / li rami schianta, abbatte e porta fori; / dinanzi polveroso va superbo, / e fa fuggir le fiere e li pastori."* Con l'espressione poetica *"impetuoso per li avversi ardori"*, Dante fa chiaramente riferimento alla generazione e aumento nell'intensità del vento che viene attratto in zone dove l'aria risulti calda e rarefatta, con intensità destinata ad aumentare proporzionalmente all'aumento dello squilibrio termico tra la due differenti condizioni atmosferiche.

Anche tale elemento trova dei precedenti in fonti di riferimento classiche, in particolar modo nell'Eneide di Virgilio, in Stazio e in Lucano. Inoltre, il fenomeno trova già una spiegazione 'scientificamente' abbastanza esaustiva e convincente nell'opera di Aristotele (Sapegno, 1983).

Sempre in riferimento al fenomeno del vento, nel Canto XXXII Dante percepisce chiaramente un forte vento in prossimità di Cogito. A partire dal verso 100 troviamo: *"E avvenga che, si come d'un callo, / per la freddura ciascun sentimento / cessato avesse del mio viso stallo, / già mi pareva sentir alquanto vento: / per ch'io: <<Maestro mio, questo chi move? / non è qua giù ogni vapore spento?>> / Ed elli a me: <<Avaccio sarai dove / di ciò ti farà l'occhio la risposta, / veggendo la cagion che 'l fiato piove>>".*

Il Poeta si mostra del tutto stupefatto di percepire e trovare un vento che soffi con intensità al centro della Terra, e dunque al centro dell'intero Universo, in accordo al sistema Aristotelico-Tolemaico. Ancora una volta in linea con le conoscenze dell'epoca Dante sa che nessun tipo di vento può soffiare al centro della Terra, dal momento che il calore del Sole, responsabile del sollevamento dal suolo dei vapori necessari a produrre un movimento delle masse d'aria, non può raggiungere in alcun modo tale profondità.

Dante, dunque, ricorre ancora una volta all'invenzione poetica genuina, attribuendo il vento allo sbatter delle colossali ali di Lucifero. In questo modo il Poeta mostra nuovamente la sua capacità unica di usare elementi e fenomeni 'scientifici' del mondo naturale all'interno del suo tessuto narrativo. Elementi che, in definitiva, servono per supportare delle interpretazioni del tutto fantasiose e immaginarie, come appunto lo sbatter poderoso delle ali dell'angelo caduto.

Elementi geomorfologici del paesaggio

A partire già del primo Canto può essere notata la centralità dei luoghi e contestualizzazione della scena poetica, come elemento fondamentale della narrazione. In questo caso, e in molti altri passaggi dell'opera, Dante utilizza vere e proprie metafore 'geomorfologiche', prendendo in prestito elementi chiave del paesaggio per trasmettere concetti funzionali alla sua finzione poetica. Dal verso 13 del Canto I Dante scrive: *“Ma poi ch' i' fui al piè d'un colle giunto, / là dove terminava quella valle / che m'avea di paura il cor compunto,”*. In questo caso la dicotomia evidenziata è tra “quella valle” che rappresenta la ben conosciuta “selva oscura” dell'incipit (Fig. 3), e il “colle” anche apostrofato come “diletto monte” nella cantica. Da un punto di vista simbolico, in gran parte dei commenti classici della Commedia la “selva” rappresenta una condizione di aberrazione morale e intellettuale; in contrapposizione il “colle” è una metafora della vita ordinata e virtuosa (Inglese, 2002). In tale ottica, dunque, l'ascensione materiale al colle corrisponde a un'ascensione anche metaforica e spirituale verso una sorta di “guarigione” e redenzione, dalla “valle” alla cima del “colle”; un cammino percorso passando attraverso la “piaggia”, termine che nei commentatori antichi rappresentava la zona di terra di raccordo tra la fine delle pianure e le zone montagnose elevate (Sapegno, 1983).

Sempre restando nel medesimo Canto, a partire dal verso 76 Dante fa nuovamente riferimento al “diletto monte” sopra

menzionato: *“Ma tu perché ritorni a tanta noia? / perché non sali il diletto monte / ch'è principio e cagion di tutta gioia?”* / *“Or se' tu quel Virgilio e quella fonte / che spandi di parlar sì largo fiume?”*”. In aggiunta alla dicotomia “selva/diletto monte”, in questi ultimi versi sopra riportati possiamo trovare una seconda allegoria ricavata dall'osservazione del paesaggio naturale. Il Poeta, infatti, compara direttamente la grande eloquenza del suo maestro e guardiano Virgilio alle sorgenti di un grande fiume, rendendo mirabilmente l'idea di parole che fluiscono letteralmente come acqua di fonte.

Nel Canto V molto noto, Dante narra la tragica storia dei due amanti Paolo e Francesca da Rimini. Per contestualizzare il posto natio della sfortunata Francesca, Dante scrive a partire dal verso 97: *“Siede la terra dove nata fui / sulla marina dove 'l Po discende / per aver pace co' seguaci sui. / Amor, ch'al cor gentil ratto s'apprende, / prese costui della bella persona / che mi fu tolta; e 'l modo ancor m'offende”*. Con l'espressione “la terra” Dante fa riferimento alla città di Ravenna, mentre il termine “marina” indica in questo preciso contesto la costa adriatica. Ancora una volta il Poeta utilizza un'immagine geomorfologico-idrogeologica in un apice di altissima poesia, per meglio contestualizzare la scena dove ha luogo la narrazione. Il luogo, nello specifico, può essere identificato come l'area dove i tributari del fiume Po (“*seguaci suoi*”) fluiscono nel corso principale. Secondo la lettura di Sapegno (1983) al tempo di Dante la linea di costa risultava più vicina a Ravenna rispetto la condizione attuale, ed era bagnata da due rami del Po, Badoreno e Padena e non molto lontano dal Po di Primaro (conosciuto oggi anche come Po moro di Primaro).

Sempre nell'ambito di elementi e processi geomorfologici del paesaggio, usati come allegoria e metafora, nel Canto VII Dante utilizza un fenomeno naturale dello Stretto di Messina, per fornire un'immagine vivida dei dannati. Nel caso specifico si parla degli avari e i dei prodighi, che sono costretti a collidere per l'eternità, gli uni contro gli altri, provenendo da direzioni opposte. Dal verso 19 Dante scrive: *“Ahi giustizia di Dio! tante chi stipa / Nove travaglie e pene quant'io viddi? / E perché nostra colpa si ne scipa? / Come fa l'onda là sovra Cariddi, / che si frange con quella in cui s'intoppa, / così convien che qui la gente riddi.”* Il fenomeno naturale utilizzato per la similitudine è il frangersi delle onde dello Ionio contro quelle del Tirreno nello stretto di Messina, tra i temibili gorghi di Scilla e Cariddi. Come già trovato in Sapegno (1983), il fenomeno chiamato in causa da Dante non è originale nel poeta fiorentino, ma è trovato in testi classici come nell'Eneide di Virgilio, nelle Metamorfosi di Ovidio e in Lucano.

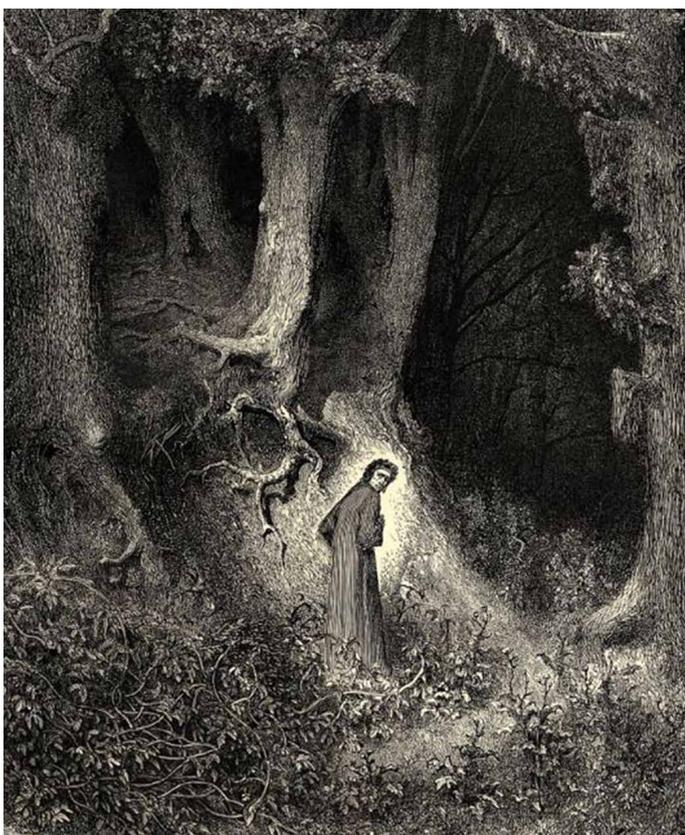


Fig. 3 - Dante nella “selva oscura”, nella famosa illustrazione di Gustave Doré.

"PER TREMOTO O PER SOSTEGNO MANCO..."

la Geologia nell'Inferno di Dante Alighieri



Fig. 4 - "Pania della Croce" nelle Alpi Apuane (la cima più alte nel "Gruppo delle Panie") vista dal sentiero "Votoline", che porta da Levigliani a Moschetta (foto di Luca Pandolfi).

Nel Canto XXII, il Poeta fa riferimento a un vero e proprio corpo di frana che giace sul versante della "bolgia". Scrive Dante a partire dal verso 127: *"Poscia drizzò al frate cotal voce:/ <<Non vi dispiaccia, se vi lece, dirci/ s'alla man destra giace alcuna foce/ onde noi amendue possiamo uscirci,/ senza costringer delli angelo neri/ che vengon d'esto fondo a dipartirci>>./ Rispuose adunque: <<Più che tu non sperì/ s'appressa un sasso che dalla gran cerchia/ si move e varca tutt'i vallon feri,/ salvo che 'n questo è rotto e nol coperchia:/ montar potrete su per la ruina,/ che giace in costa e nel fondo soperchia>>."* Nella scena narrata Virgilio chiede al demone Malacoda notizie del passaggio che potrebbe permettere ai due viandanti di uscire dalla Bolgia. Il demone quindi riferisce loro circa la "ruina", ovvero un corpo di frana che forma un pendio meno impervio e più dolce. Questo accidente geomorfologico può aiutare il passaggio dei due viaggiatori, rappresentando una connessione

meno impervia da attraversare per uscire dalla Bolgia. Nel Canto XXVII a partire dal verso 74, Dante fa riferimento diretto alla pianura del Po: *"se mai torni a veder lo dolce piano/ che da Vercelli a Marcabò dichina."* Dante fornisce una chiara immagine dell'intera estensione della pianura, che si espande da Vercelli al castello di Macabò, costruito dai veneziani alla foce del Po Primario, con funzione di difesa per le navi che commerciavano tra Ferrara e Ravenna.

Nel Canto XXII, dove il Poeta descrive il fondo dell'Inferno (come visto il centro dell'Universo 'creato') occupato dal lago gelato di Cogito, Dante fa riferimento al Danubio e al Don, e menziona i cieli della Russia. Il Poeta afferma che il ghiaccio in una stretta morsa era così spesso e duro che non si sarebbe rotto neanche se un'intera montagna ci fosse caduta dentro. A partire dal verso 22 troviamo: *"Per ch'io mi volsi, e vidimi davante/ e sotto i piedi un lago che per gelo/ avea di vetro e non d'acqua sembante./ Non fece al corso suo sì grosso velo/ di verno la Danoia in Osterlicchi,/ né Tanai là sotto il freddo cielo,/ com'era quivi; che se Tambernicchi/ vi fosse su caduto, o Pietrapana,/ non avria pur dall'orlo fatto cricchi."* Con il termine "Tabernicchi", il noto commentatore della Divina Commedia Torraca preferiva indicare il Tambura nelle Alpi Apuane (Sapegno, 1983), che si trova indicato nei testi antichi come "Stamberlicchi". Nella lettura di Sapegno (1983), tale interpretazione ben si accorderebbe con "Pietra Pana", o "Pietra Apuana", conosciuta attualmente con il nome di Pania della Croce, e appartenente allo stesso gruppo montuoso (Fig. 4).

Riferimenti strettamente geologici

Tra i differenti richiami a processi e prodotti strettamente geologici nell'Inferno di Dante, uno tra i più noti è senza dubbio il riferimento a terremoti e fenomeni sismici in generale. Il primo riferimento diretto è trovato sul finire del Canto III, dopo il noto incontro con Caronte, il traghettatore dell'aldilà che raccoglie le anime sulla sua barca per trasportarle attraverso il fiume. Sul principio Caronte si rifiuta di traghettare Dante, unica anima viva in un esercito di morti, e subito dopo questo rifiuto troviamo a partire dal verso 130: *"Finito questo, la buia campagna/ tremò sì forte, che dello spavento/ la mente di sudore ancor mi bagna./ La terra lagrimosa diede vento,/ che balenò una luce vermiglia/ la qual mi vinse ciascun sentimento;/ e caddi come l'uom che 'l sonno piglia."*

Nei versi Dante descrive un vero terremoto, aggiungendo all'elemento della scossa percepita un secondo particolare che potremmo definire di natura 'pseudo-scientifica': ovvero il vento percepito contestualmente al fenomeno sismico. Secondo le conoscenze del tempo, infatti, i terremoti erano collegati e ritenuti causati dalla spinta di vapori e venti sotterranei, una teoria già trovata in Ristoro D'Arezzo nella sua Composizione del Mondo pubblicata nel 1282; un fenomeno di cui Dante fa di nuovo menzione nel Purgatorio (XXI, 55-56). La teoria che vedeva i venti e vapori sotterranei come la causa di terremoti e della nascita di catene montuose è trovata per esteso anche nel medico arabo Avicenna Ibn Sing (980-1037), il quale essenzialmente rielaborò con una visione personale le teorie

presentate da Aristotele. Inoltre, echi di questa teoria, o sistema di teorie, possono essere rintracciati anche in Alberto Magno e in Ovidio.

In Aristotele questi fenomeni erano spiegati attraverso la teoria delle “esalazioni secche” (Boydé, 1984). Secondo questa ipotesi, il calore sarebbe in grado di mutare sia la terra in gas secco che l’acqua in gas umido. Ne segue dunque che se il calore del sole risulta sufficiente, può produrre allo stesso modo gas secchi e gas umidi. Secondo Aristotele esalazioni secche possono essere generate nel sottosuolo e le esalazioni umide possono raggiungere per infiltrazioni il sottosuolo a partire dalla superficie. Il passaggio impetuoso di queste esalazioni tra le strette “vene” della terra, nell’ipotesi di Aristotele, sarebbe la causa principale per i terremoti. Sulla base della facilità trovata dalle esalazioni per passare nelle vene più o meno contorte, l’intensità del terremoto derivante può essere maggiore o minore, e il processo può avere luogo anche con movimento consistente di acqua e rocce.

La teoria dei terremoti generati da venti e vapori sotterranei, ereditata dal pensiero di Aristotele, trovò un ampio seguito nei filosofi naturali e scrittori medievali, ma venne abbracciata anche da autori successivi. Un primo esempio è trovato come già accennato nella Composizione del Mondo di Ristoro D’Arezzo, pubblicata nel 1282, dove il cosmografo italiano paragona curiosamente i terremoti causati dal movimento dei vapori sotterranei ai gas prodotti ed espulsi dal corpo degli animali.

Un altro riferimento al terremoto è trovato nel Canto XXXI a

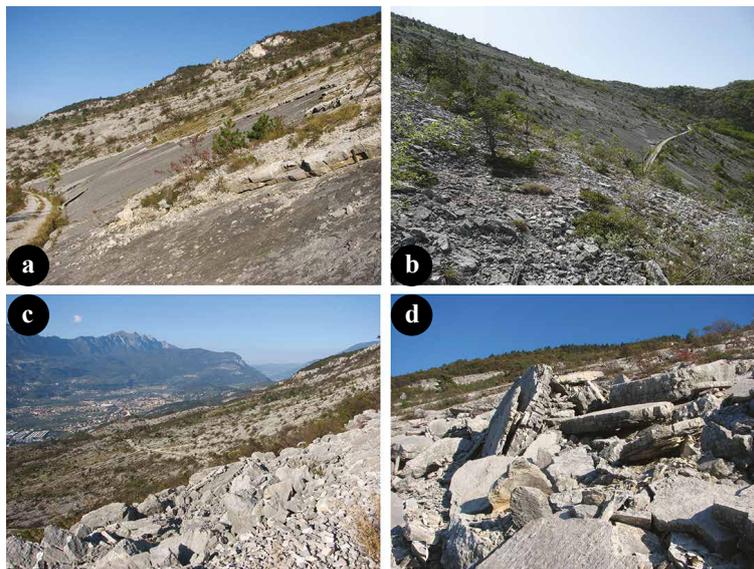


Fig. 5 - Il gruppo di frane oloceniche conosciute come “Lavini di Marco” tra Rovereto e Serravalle all’Adige: a) e b) esempi di nicchie di distacco; c) e d) corpi di frana (foto di Massimo Bernardi).



Fig. 6 - Pista di dinosauro presso il sito paleontologico dei Lavini di Marco (Giurassico inferiore, Rovereto, Trentino Alto-Adige) (foto di Fabio Massimo Petti).

partire dal verso 106. Parlando di Fialtre o Ephialtes, uno dei giganti che tentò la scalata ribelle contro Giove (motivo trovato in Virgilio e Orazio; Sapegno, 1983), il poeta afferma come nessun terremoto fu così potente come il movimento poderoso e convulso del gigante: “Non fu tremoto già tanto rubesto,/ che scotesse una torre così forte,/ come Fialtre a scuotersi fu presto.”

Nel Canto XII troviamo il noto passaggio dei Lavini di Marco, tradizionalmente riferito a un gruppo di frane oloceniche (Orombelli & Sauro, 1988) tra Rovereto e Serravalle all’Adige, disposte lungo il versante occidentale del Monte Zugna Torta (**Fig. 5**), e ben note per aver portato

alla luce numerose impronte di dinosauro del Giurassico Inferiore (Leonardi & Mietto, 2000) (**Fig. 6**). I corpi franosi in totale hanno un volume di 2 x 108 metri cubi e coprono un’area di circa 6,8 chilometri quadrati (Martin et al., 2014). Per la messa in posto dei corpi di frana dei Lavini di Marco e di Costa Stenda è stata ricavata un’età di circa 3.000 anni con un errore possibile di 400 anni (Martin et al., 2014).

I due viaggiatori dell’Inferno scendono lungo un cammino impervio e scosceso, che in Dante evoca l’immagine della valle del fiume Adige. A partire del primo verso del canto Dante scrive: “Era lo loco ov’a scender la riva/ venimmo, alpestro e, per quel che v’er’anco,/ tal, ch’ogni vista ne sarebbe schiva./ Qual è quella ruina che nel fianco/ di qua da Trento l’Adige percosse,/ o per tremoto o per sostegno manco,/ che da cima del monte, onde si mosse,/ al piano è sí la roccia discosciosa,/

"PER TREMOTO O PER SOSTEGNO MANCO..."

la Geologia nell'Inferno di Dante Alighieri

ch'alcuna via darebbe a chi su fosse;/ cotal di quel burrato era la scesa;".

Per comprendere bene il testo bisogna sottolineare che in Dante la parola "alpestro" indica in generale una zona montagnosa (Sapegno, 1983), dunque non facendo necessariamente riferimento al sistema alpino. In alcuni passaggi il termine è tuttavia usato per indicare gli Appennini, viceversa in altri il termine Appennini viene usato per indicare le Alpi. Riguardo l'interpretazione dei corpi di frana di Rovereto, secondo alcuni autori (Sapegno, 1983) il Poeta usa come fonte Alberto Magno, nel passaggio dove Dante fa riferimento ai possibili processi che danno luogo alle frane. Tra questi 'nello specifico' si fa riferimento all'erosione al piede del versante ("per sostegno manco") o all'azione energetica di terremoti ("per tremoto"). In Alberto Magno è trovato in effetti un riferimento ai Lavini di Marco, dove l'autore considera più probabile l'erosione alla base del versante, piuttosto che un terremoto, come causa principale dei grandi ed estesi fenomeni franosi (Sapegno, 1983).

Vale la pena sottolineare come anche in questo contesto, mentre nell'ambito del mondo sotterraneo (e dunque della finzione poetica), la ruina su cui i due viandanti camminano è attribuita a un fenomeno del tutto soprannaturale (ovvero il terremoto causato dalla morte di Cristo), nel parlare del mondo reale (l'area di Rovereto nello specifico) Dante fa di nuovo riferimento alle interpretazioni fornite dalla scienza del suo tempo. Ancora una volta dunque il Poeta riesce a rimarcare in modo implicito la differenza tra immaginazione poetica e mondo fenomenico reale.

A partire dal verso 28 dello stesso Canto troviamo: "Così prendemmo via giù per lo scarco/ di quelle pietre, che spesso moviènsi/ sotto i miei piedi per lo novo carco." Dante riesce mirabilmente a rendere l'idea di un corpo di frana come si presenta in affioramento, con blocchi tra loro disconnessi che si muovono sotto i suoi piedi. Infatti, Dante, essendo l'unico viandante ancora vivo nell'oltremondo, è l'unico a poter ancora imprimere un peso su queste rocce di frana, che non si mossero per nulla dal tempo della loro caduta originaria. Nei versi che seguono Dante espone chiaramente la connessione tra la ruina e il terremoto legato alla morte di Cristo.

Accenni alla ruina costruita sulla base delle frane oloceniche dei Lavini di Marco sono trovati già nel canto XI, dove, a partire dal primo verso troviamo: "In su l'estremità d'un'alta ripa/ che facevan gran pietre rotte in cerchio/ venimmo sopra più crudele stipa;/ e quivi per l'orribile soperchio/ del puzzo che 'l profondo

abisso gitta,/ ci raccostammo, in dietro, ad un coperchio/ d'un gran'avello, ov'io vidi una scritta/ che dicea: <<Anastasio papa guardo,/ lo qual trasse Fotin della via dritta>>." In questo passaggio, che precede la descrizione della ruina nel Canto XII, Dante rende già l'idea di come si debba presentare il corpo di frana, con l'orlo della riva che conduce al cerchio sottostante non stagliato nella nuda roccia, ma caratterizzato da grandi massi franati e accumulati al piede del pendio secondo un arco di cerchio (seguendo dunque semplicemente il profilo immaginario di cerchi concentrici).

Sempre in ambito di elementi geologici della Commedia, un aspetto singolare è come nell'Inferno dantesco vi siano in definitiva scarsi riferimenti ai vulcani e fenomeni a essi correlati, come ci si potrebbe aspettare tenendo in considerazione la classica iconografia degli inferi dominati dal fuoco e fiumi di lava. Secondo Stoppani (1865), molto probabilmente l'osservazione diretta di eruzione vulcaniche avrebbe aiutato moltissimo Dante come materiale grezzo naturalistico per ricostruire la Città di Dite e il naura del Flegetonte ribollente. Secondo l'autore, il secolo in cui operò il Poeta fiorentino coincide tuttavia con una fase di quiete nell'attività del Vesuvio che, nelle parole di Stoppani, "dormì un sonno di quasi cinque secoli", con una singola eruzione registrata nel 1139. Per quanto riguarda il vulcano Etna, Stoppani (1865) riporta una singola eruzione altamente energetica che ebbe luogo nel 1321, dunque l'anno esatto della morte di Dante, o forse nel 1323 come indicato diversamente dal geologo Gemmellaro.

Ancora nel Canto XIV Dante e la sua guida Virgilio attraversano il deserto sabbioso, indicato con i termini di "rena arida e spessa", procedendo lungo gli argini di un fiume ribollente, che scaturisce dal Flegetonte. A partire dal verso 76 troviamo: "Tacendo divenimmo là 've spiccìa/ fuor della selva un picciol fumicello,/ lo cui rossore ancor mi raccapriccia./ Quale del Bulicame esce ruscello/ che parton poi tra lor le peccatrici,/ tal per la rena giù sen giva quello./ Lo fondo suo ed ambo le pendici/ fatt'era 'n pietra, e' margini da lato;/ per ch'io m'accorsi che 'passo era lici."

Come si può apprezzare dai versi riportati, Dante utilizza ancora una volta un contesto geologico del mondo reale per spiegare al lettore i caratteri del fiume infernale. E in questo processo filtrato dalla poesia riesce a fornire un'immagine istantanea di cosa si para d'innanzi ai viandanti degli inferi. Infatti, Dante in questi versi fa riferimento alle ben conosciute sorgenti idrotermali vicino Viterbo, meglio conosciute con il nome

di Bullicame. Oltre l'acqua ribollente, tipica di ambienti di natura solfurea, Dante fornisce un'ulteriore evidenza geologica molto interessante. Nel descrivere il fiume infernale il Sommo Poeta afferma che, come per il Bullicame, il fondo e i margini erano costituiti di roccia (*"Fatt'era 'n pietra, e' margini da lato"*), dunque risultando consolidati e induriti se comparati al sedimento sabbioso appena attraversato dai due viandanti nel viaggio sotterraneo (Fig. 7). Riguardo questo elemento l'esegeta classico Sapegno (1983) considera come totalmente assurda l'interpretazione che i margini siano diventati duri e consolidati per le incrostazioni depositate dal *"bollor vermiglio"*, considerandolo come non accettabile sul piano scientifico. Tuttavia, quella menzionata da Dante, sembra essere proprio l'interpretazione corretta, dal momento che i margini delle sorgenti termali attive del Bullicame sono costituite esattamente da incrostazioni di travertino idrotermale (definito *"calcare incrostante"* in Stoppani, 1915), con deposizione di carbonato di calcio catalizzato dall'azione di attività microbiale (Folk, 1993). Oggi sappiamo che il travertino è una roccia carbonatica di origine chimica formato per precipitazione da acque principalmente di origine carsica ricche in carbonato di calcio. In accordo con i versi poetici di Dante, Robert Folk, uno dei padri delle classificazioni moderne delle rocce carbonatiche afferma, riferendosi al passaggio dell'*Inferno* riportato sopra: *"sicuramente uno dei primi esempi descritti di diagenesi dei carbonati"* (Folk, 1993). Dante, dunque, ancora una volta stupisce il lettore risultando la sua lettura più vicina alla concezione attuale di questi fenomeni che non quella proposta da moderni esegeti a noi contemporanei ma digiuni di geologia.

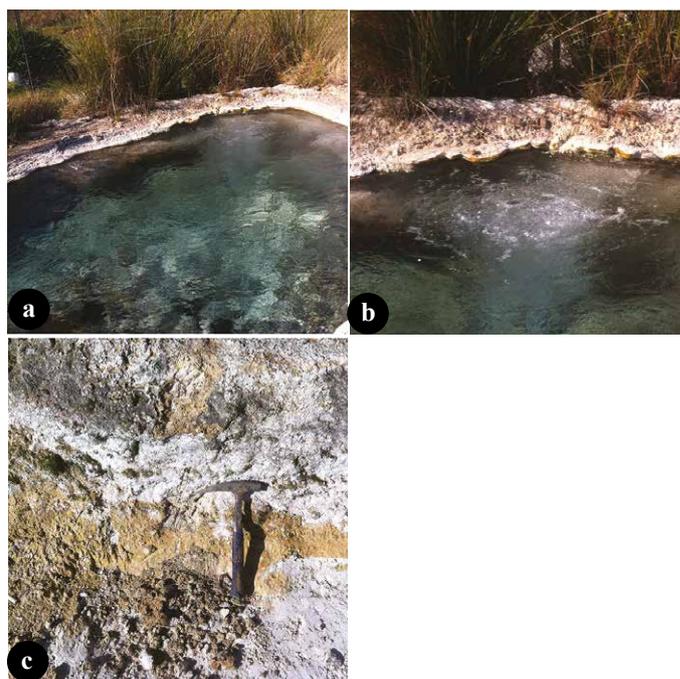


Fig.7 - Sorgenti termali attive del Bullicame nei pressi di Viterbo: a) e b) una delle vasche idrotermali; sono chiaramente visibili i margini "induriti" descritti da Dante, costituiti da incrostazione di travertino idrotermale. c) Particolare dei depositi travertinosi (foto di Valentina Rossi).

Riferimenti a tipi specifici di rocce

Anche se elementi geologici generali del panorama, tra cui corpi di frana e muri di roccia dell'anfiteatro infernale, ritornano continuamente come elementi strutturali nella costruzione poetica di Dante, in alcuni casi è possibile trovare un riferimento diretto a particolari tipi di roccia che caratterizzano il territorio italiano. Per fare un esempio, nel Canto XV Dante, lanciando la storica invettiva contro Firenze (e in particolare contro i suoi abitanti) da cui fu esiliato e forzato a partire, afferma a partire dal verso 61: *"Ma quello ingrato popolo maligno/ che discese di Fiesole ab antico,/ e tiene ancor del monte e del macigno,"*. In questo famoso passaggio il Poeta fa menzione al termine "macigno" molto probabilmente facendo riferimento a un elemento molto caratteristico del paesaggio in cui vive il popolo "ingrato" di Firenze. Inoltre, sembra abbracciare chiaramente la leggenda secondo la quale Firenze venne fondata dai Romani dopo la distruzione di Fiesole, che decise di combattere a fianco della fazione di Catilina. Sapegno (1983), utilizzando l'esegesi

di Boccaccio, considera il termine "macigno" come un attributo e non un sostantivo, per indicare cioè il carattere duro e non malleabile del costume civile. Non si può escludere tuttavia che menzionando il termine "monte" Dante si riferisca proprio al tipo di rocce rappresentate da vasti affioramenti nel territorio toscano, ma anche in Liguria, Emilia-Romagna, Umbria e Lazio. Il "Macigno", infatti, è un classico termine della litostratigrafia italiana, che indica una successione molto spessa costituita in larga parte da arenaria da fine a molto grossolana di natura silicoclastica (Fig. 8).

L'origine del termine sarebbe molto antica (Falorni, 2007), con un uso nella cartografia geologica ufficiale sin dalla prima edizione del Foglio geologico 97 rilevato dai geologi Lotti e Zaccagna nel 1903. In effetti, riferimenti al Macigno in qualità di litotipo sono trovati già nel *Museum Metallicum* di Ulisse Aldrovandi (pubblicato tuttavia postumo nel 1648), in Andrea Cesalpino che lo definisce *"Pietra morta di Fiesole"* e nei noti

“PER TREMOTO O PER SOSTEGNO MANCO...”

la Geologia nell’Inferno di Dante Alighieri



Fig. 8 - Cava nella Formazione del Macigno (Cava di Caprolo, Greve in Chianti), litotipo utilizzato come elemento reale del paesaggio da Dante nel famoso Canto del Conte Ugolino (fonte: www.wechianti.com/2016/09/06/frosini-pietre-la-pietra-macigno-greve-mezzo-al-bosco-allevigne/).



Fig. 9 - Le famose cave di marmo presso Carrara, litotipo menzionato da Dante Canto XX per descrivere la caverna dove viveva Arunte, l’etrusco che predisce la Guerra tra Pompeo e Cesare (fonte: www.toscanatourexperience.com/tour/cave-di-marmo-in-jeep/).

Viaggi per la Toscana di Giovanni Targioni Tozzetti.

Nell’Inferno dantesco non poteva ovviamente mancare un riferimento al leggendario marmo di Carrara (**Fig. 9**). Il poeta ne fa riferimento nel Canto XX, dove parla dei maghi, indovini e astrologi che espiano i loro peccati nella quarta Bolgia. A partire dal verso 46 Dante scrive: “*Aronta è quei ch’al ventre li s’atterga,/ che ne’ monti di Luni, dove ronca/ lo Carrarese che di sotto alberga,/ ebbe tra’ bianchi marmi la spelonca/ per sua dimora onde a guardar le stelle/ e ’l mar non li era la veduta tronca.*” Aronte o Arunte è l’etrusco che predisce la guerra tra Pompeo e Cesare con la vittoria del secondo, mentre “Luni” rappresenta l’antica città etrusca situata in corrispondenza della foce del Magra da cui prende il nome la Lunigiana. Il termine su cui spostare l’attenzione in questo caso è “ronca”, che sta a indicare l’attività di deforestazione e coltivazione della terra occupata dalla popolazione di Carrara, in un periodo in cui, secondo Sapegno (1983), l’industria del marmo non aveva

ancora lontanamente raggiunto la sua importanza successiva.

Tra le rocce menzionate nell’Inferno, nel Canto XXIV troviamo riferimenti all’ “*elitropia*” o “*eliotropio*”. Dante e Virgilio giungono sulla cima dell’argine della Bolgia e, guardando verso il basso, assistono allo spettacolo di una quantità enorme di serpenti tra loro avvinghiati; tra i serpenti, spaventati e completamente nudi, vagano disperati la stirpe dei ladri. Scrive Dante dal verso 91: “*Tra questa cruda e tristissima copia/ correan genti nude e spaventate,/ senza sperar pertugio o elitropia:/ con serpi le man dietro avean legate.*”. L’eliotropio è una varietà di calcedonio, ovvero quarzo microcristallino compatto. Nei lapidari medievali a questa pietra era attribuita la virtù di rendere invisibili le persone che la possedevano e di poter curare dal veleno dei serpenti. Troviamo riferimenti all’eliotropio in Plinio, in Boccaccio nella “Novella di Calandrino” e nel “Decamerone”, ed è menzionata diverse volte in lavori di storia naturale o di natura strettamente geologica.



CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'opera di Dante non è sfuggita ai nostri illustri predecessori naturalisti o geologi *sensu stricto*, che spesso hanno utilizzato i versi della Commedia per esprimere concetti o come introduzione a effetto nei capitoli delle loro opere. Citazioni dirette dell'Inferno dantesco si trovano infatti in Antonio Vallisneri, Giovanni Targioni Tozzetti, Antonio Bellenghi, Tommaso Antonio Catullo, Antonio Stoppani, Paolo Eugenio Vinassa de Regny. Interi riferimenti a Dante e a il suo Inferno sono trovati anche nei monumentali *Principles of Geology* di Charles Lyell, amante e affezionato frequentatore della penisola italiana, nonché figlio di un famoso dantista inglese (traduttore e commentatore inglese della *Vita Nova* e del *Convivio*).

Per concludere, l'analisi nel dettaglio degli elementi geologici caratterizzanti l'Inferno dantesco, ha messo in luce ancora una volta come l'opera dell'Alighieri e dei suoi contemporanei non impersonifica affatto in senso riduzionista il "periodo oscuro" della scienza, come trovato in molte classiche interpretazioni sullo stato delle conoscenze durante il Medioevo. Diversamente, tale periodo rappresentò lo stadio culturale durante il quale vennero poste quella serie di domande fondamentali che servirono, in seguito, come vero e proprio propellente per la successiva e meglio nota "rivoluzione scientifica" (Grant, 2001).

Dante è in grado di utilizzare sapientemente e in modo realmente unico gli elementi osservati del mondo naturale e del paesaggio che circonda Firenze (o dei paesaggi osservati in prima persona dal poeta fiorentino nel corso dei viaggi durante il suo esilio), per costruire le fondamenta materiali su cui basare il viaggio immaginario nell'oltremondo. Come afferma Giorgio Inglese (2002) a riguardo, cogliendo subito nel segno la questione, "*ci appare subito evidente come il vero subiectum della fantasia dantesca non sia il <<mondo dei morti>>, ma il mondo dei vivi, il nostro mondo in tutte le varietà dell'esistenza*".

La grandezza e maestria di Dante risiede precisamente nella capacità unica per il tempo di comunicare, tramite brevi versi, o con una sequenza minima di parole, la forte separazione tra i fatti ed evidenze scientifiche osservate in natura e il loro uso licenzioso per scopi prettamente estetici, poetici, politici e persino etici. Approccio che risalta maggiormente significativo e di valore se si tiene conto di come, nell'organismo dottrinale della scienza nel Medioevo, lo scrupolo scientifico non era particolarmente rigoroso, con la contaminazione di letture ed elementi patristici, classici, arabi e mescolanza di metodo sperimentale, metafisico e simbolistico (Pecoraro, 1987).

Quintino Sella (1827-1884), geologo, alpinista e politico del Regno di Italia, trovandosi di fronte lo spettacolo geologico di un paesaggio alpino, torna con il pensiero all'opera monumentale di Dante e afferma entusiasta:

"*Ma egli è inutile che io tenti di ammirarti spettacoli di tal fatta. Una sola penna avrebbe potuto dipingerli: quella di Dante! Gran peccato che il Poeta fiorentino, invece delle microscopiche accidentalità degli Appennini, non abbia conosciuto i colossali e sublimi orrori delle Alpi! Che immagini e che pennellate ne avrebbe tratto quel finissimo osservatore della natura, il quale così profondamente ne sentiva tutte le più recondite bellezze*" (riportato in Stoppani, 1865).

Come il nostro illustre predecessore Quintino Sella, di fronte allo spettacolo di un paesaggio geologico mirabilmente descritto dalla penna di Dante, sussurreremo i versi immortali del Sommo Poeta tenendo ben a mente le spiegazioni scientifiche dei fenomeni osservati ma percependo, allo stesso tempo, il potere evocativo indescrivibile della poesia dantesca. Parafrasando Centofanti, le parole che sgorgeranno dalle nostre labbra passeranno attraverso quelle di Lucrezio, Catullo, Cicerone, Virgilio, Livio e Tacito, e in Alighieri e Petrarca divennero ministre della cultura Latina. Un brivido improvviso come un "tremoto" attraverserà le nostre fibre, e ancora una volta saremo grati di essere italiani.

BIBLIOGRAFIA

Aldrovandi U. (1648). *Musaeum Metallicum in libros IIII distributum.* Bononiae typis Jo. Baptistae Ferronij, 992 pp.

Boyde P. (1984). *L'uomo nel cosmo. Filosofia della natura e poesia in Dante.* Il mulino, Bologna, 485 pp.

Cerbo A. (2001). *Poesia e scienza del corpo nella Divina Commedia.* Libreria Dante & Descartes, Napoli, 168 pp.

Falorni P. (2007). *Macigno. Carta Geologica d'Italia 1:50.000 - Catalogo delle Formazioni.* Quaderni, serie III, del SGI, Volume 7 - Fascicolo VII - Unità tradizionali.

Folk R.L. (1993). *Sem imaging of bacteria and nanobacteria in carbonate sediments and rocks.* *J. Sediment. Petrol.*, 63, 990-999.

Frisinger H.H. (1972). *Aristotle and his "Meteorologica".* *B Am Meteorol Soc.*, 53, 634-638.

Grant E. (2001). *When did Modern Science Begin? Am. Scholar*, 66, 105-113.

Inglese G. (2002). *Dante: guida alla Divina Commedia.* Carocci, Roma, 142 pp.

Leonardi G. & Mietto P. (Eds.) (2000). *Dinosauri in Italia. Le orme giurassiche dei Lavini di Marco (Trentino) e gli altri resti fossili italiani.* Accademia Editoriale, Pisa, pp. 497.

Martin S., Campedel P., Ivy-Ochs S., Viganò A., Alfimov V., Vockenhuber C., Andreotti E., Carugati G., Pasqual D., Rigo M. (2014). *Lavini di Marco (Trentino, Italy): 36Cl exposure dating of a polyphase rock avalanche.* *Quat. Geochronol* 19, 106-116.

Orombelli G. & Sauro U. (1988). *I Lavini di Marco: un gruppo di frane oloceniche nel contesto morfotettonico dell'alta Val Lagarina (Trentino).* *Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 1, 107-116.

Ossola C. (2012). *Introduzione alla Divina Commedia.* Marsilio, Venezia, 157 pp.

Pecoraro P. (1987). *Le stelle di Dante: saggio d'interpretazione di riferimenti astronomici e cosmografici della Divina Commedia.* Bulzoni, Roma, 452 pp.

Romano M. (2016). "*Per tremoto o per sostegno manco*": *The Geology of Dante Alighieri's Inferno.* *Italian Journal of Geosciences*, 135(1), 95-108.

Sapegno N. (1983). *La Divina Commedia. Vol. I, Inferno.* La Nuova Italia Editrice, Firenze, 408 pp.

Stoppani A. (1865). *Il sentimento della natura e la Divina Commedia.* Tipografia di Giuseppe Bernardoni, Milano, 65 pp.

Stoppani A. (1915). *Il Bel Paese. Conversazioni sulle bellezze naturali la geologia e la geografia fisica d'Italia.* Casa Editrice L. F. Cogliati, Milano, 662 pp.

BONUS PUBBLICITÀ

APPROVATO DALLA LEGGE BILANCIO 2021



RECUPERA IL

50%

INVESTENDO
SU QUESTA
RIVISTA!

CONTATTA





In che modo Marte è diventato il pianeta che vediamo oggi? Come si spiegano le differenze e le somiglianze tra la Terra e Marte? Sono solo alcune delle domande che i geologi si pongono nello studio del pianeta rosso. Ma lo studio di Marte è mosso da qualcosa di più profondo della mera comprensione dei suoi processi geologici e riguarda un istinto ancestrale dell'essere umano: esplorare.



IL FUTURO DELLA GEOLOGIA

passa da Marte

a cura di Francesco Salese



INTRODUZIONE

L'esplorazione ha contraddistinto il genere umano sin dai suoi albori. L'uomo, da specie monocontinentale, si è diffuso in tutto il mondo (fenomeno chiamato "*Out of Africa I*") circa 1,7 milioni di anni fa, creando anche specie locali come l'Uomo di Neanderthal in Europa, e diventando così una specie multicontinente.

Dopo circa due milioni di anni siamo ad un altro grande bivio: l'uomo si appresta a diventare una specie multiplanetaria (fenomeno che probabilmente verrà ricordato in futuro con il nome di "*Out of Earth*"). Sono passati poco più di sessant'anni da quando il primo uomo è andato nello spazio e già ci apprestiamo a colonizzare il pianeta che da sempre, per via del suo colore e del suo moto, ha ispirato, in vari modi, migliaia di generazioni.

Keywords

Geologia Planetaria

Marte

NASA

Curiosity

Perseverance



Perché Marte?

Da sempre l'uomo è stato incuriosito e attratto da Marte, l'unico corpo celeste che descriveva un arco rosso nella volta celeste. Con l'avvento dei telescopi, sul finire del diciannovesimo secolo, Marte si rivelò in tutto il suo fascino e nei primi anni del ventesimo secolo salì agli onori della cronaca per via dell'idea che fosse abitato da marziani.

«I Marziani costruiscono due immensi canali in due anni» e «Immensi lavori di ingegneria fatti in un tempo incredibilmente breve dai nostri vicini planetari» furono rispettivamente titolo e sottotitolo di un'intervista a Percival Lowell sul New York Times il 27 Agosto 1911. Lowell era un aristocratico, scrittore, che rimase colpito dai lavori che uno dei maggiori astronomi di fine '800, Giovanni Schiaparelli, pubblicò riguardo i canali marziani. Grazie al suo telescopio cartografò la superficie di Marte identificando vaste zone scure, che chiamò mari, collegate con linee più o meno diritte, che chiamò canali. Il lavoro, pubblicato negli annali dell'Accademia dei Lincei, ebbe ampia risonanza. Lowell colpito da questo lavoro, iniziò anche lui lo studio dei canali di Marte. Il suo grande entusiasmo era frutto

di un enorme errore: tradusse la parola "canali" con "*canals*" (di origine artificiale) invece di "*channel*" (di origine naturale o comunque con carattere più generale).

Nacque così il mito dei marziani.

Schiaparelli lo aveva intuito, oggi lo sappiamo per certo: Marte è arido e freddo, con scarsa atmosfera e un campo magnetico globale pressoché assente. Tuttavia, non è sempre stato così. Infatti, come ci mostrano alcune recenti ricerche, Marte in passato aveva acqua liquida sulla superficie e condizioni climatiche che avrebbero potuto essere idonee allo sviluppo della vita per come noi la intendiamo. Si stima che, oltre 3 miliardi di anni fa, queste condizioni abbiamo persistito abbastanza a lungo da poter far sviluppare potenziali forme di vita semplice. Oggi, le temperature superficiali estreme e la mancanza di un'atmosfera che protegga la superficie dalle radiazioni solari rendono estremamente difficile trovare forme di vita microbica in superficie che al contrario potrebbero essere presenti nel sottosuolo marziano, favorite da temperature più miti e maggior protezione dalle radiazioni solari.

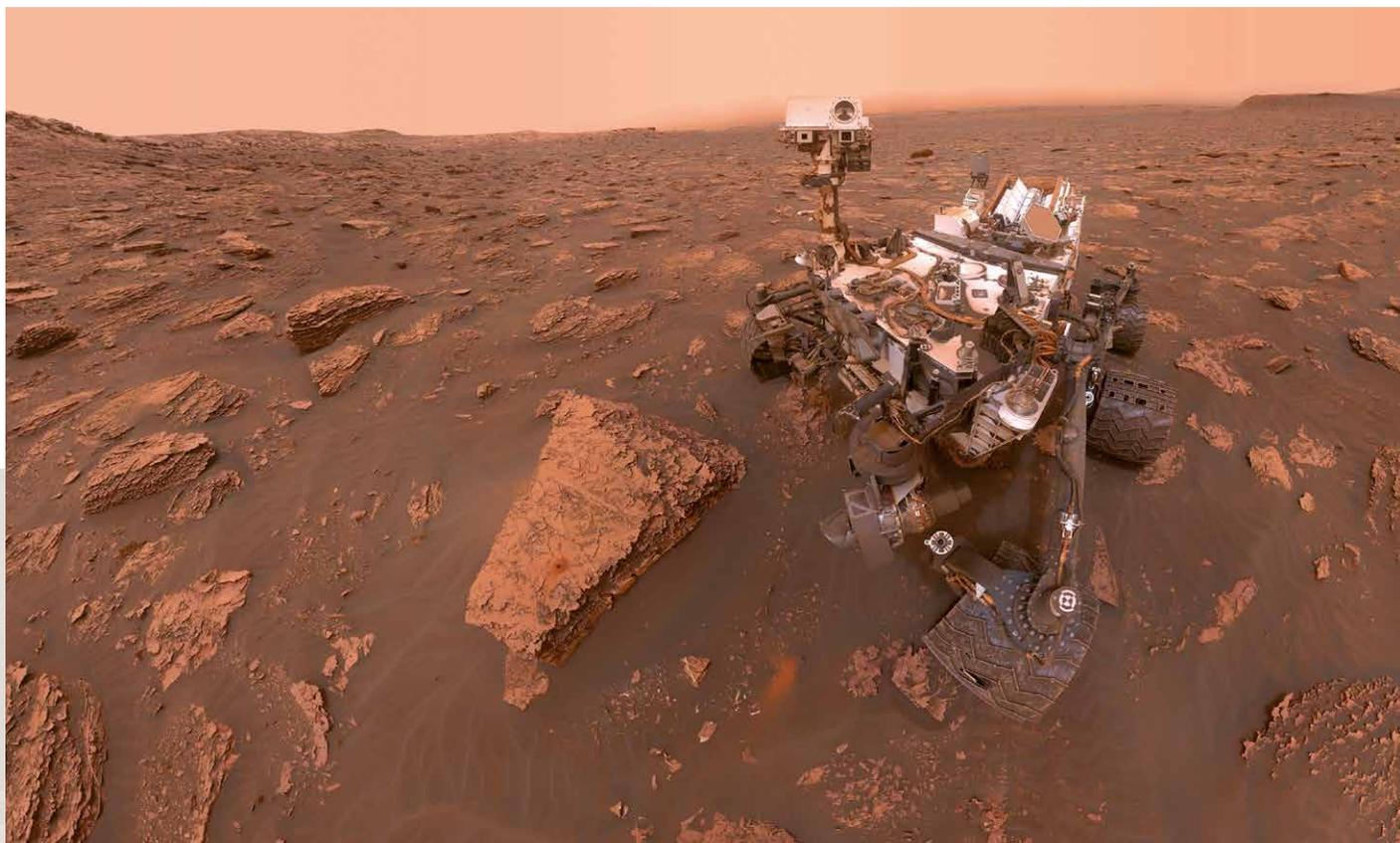


Fig. 1 - Rover NASA Curiosity (<https://mars.nasa.gov/resources/21929/curiositys-dusty-selfie-at-duluth/?site=msl>).

Il pianeta più studiato

Marte è l'oggetto extraterrestre più studiato in assoluto. L'esplorazione marziana è iniziata negli anni '60 del ventesimo secolo e ad oggi conta 8 missioni operative sul pianeta o intorno ad esso, e altre 4 se ne dovrebbero aggiungere entro il 2022, iniziando così una nuova fase dell'esplorazione marziana con il rover *Perseverance*, attraverso la raccolta e preparazione di campioni di roccia marziana che saranno prelevati e spediti sulla Terra da una successiva missione (*Sample Return*).

L'esplorazione marziana impiegò circa un decennio prima di dimostrarsi realmente interessante. La sonda *Mariner 4* nel 1965, attraverso il primo *fly-by* del pianeta rosso, raffreddò subito i più rosei entusiasmi mostrando un paesaggio arido e privo dei rigogliosi canali descritti quasi un secolo prima dall'astronomo italiano Schiaparelli. Solo nella seconda della metà degli anni Settanta del ventesimo secolo le sonde *Viking I* e *Viking II* con la loro camera ad alta risoluzione (prima camera con risoluzione inferiore ai 100 metri per pixel) mostrarono al mondo delta e *canyon* simili a quelli che abbiamo sulla Terra, facendo pensare che l'acqua avesse abbondantemente fluito sul pianeta rosso modellandone la superficie. Tuttavia, i primi due *lander* NASA che atterrarono su Marte negli anni '70 non mostrarono tracce di vita o presenza di microrganismi.

Con lo scopo di scoprire la presenza o meno di vita, la NASA intorno alla metà degli anni '90 iniziò a sviluppare il *Mars*

Exploration Program che nei primi anni duemila diede vita alla strategia NASA "follow the water", essendo l'acqua un elemento chiave nello sviluppo della vita per come la intendiamo noi sulla Terra.

Negli ultimi due decenni di esplorazione i satelliti che ruotano attorno a Marte ci hanno restituito informazioni di elevatissimo dettaglio riguardo la geologia, la composizione mineralogica, l'estensione dei ghiacci e la composizione dell'atmosfera. L'elevato numero di satelliti attivi che ruotano attorno a Marte e la cooperazione delle varie agenzie spaziali proprietarie delle singole missioni rendono Marte l'unico pianeta del sistema solare con un sistema di comunicazione satellitare globale oltre alla Terra.

Nonostante dall'orbita marziana sia possibile ottenere immagini con una risoluzione di 25 cm/pixel (sulla Terra arriviamo a 30 cm/pixel per uso commerciale), per osservazioni più precise come ad esempio lo studio delle strutture sedimentarie di dettaglio oppure una miglior comprensione degli ambienti sedimentari, dobbiamo atterrare sulla superficie del pianeta.

I primi oggetti che atterrarono su Marte non furono dei rover bensì dei *lander*. La differenza tra questi due mezzi di esplorazione è sostanziale perché i primi sono muniti di ruote mentre i secondi sono delle piattaforme fisse. Ma come si può intuire, ogni buon esploratore e geologo deve camminare e osservare molto, prima

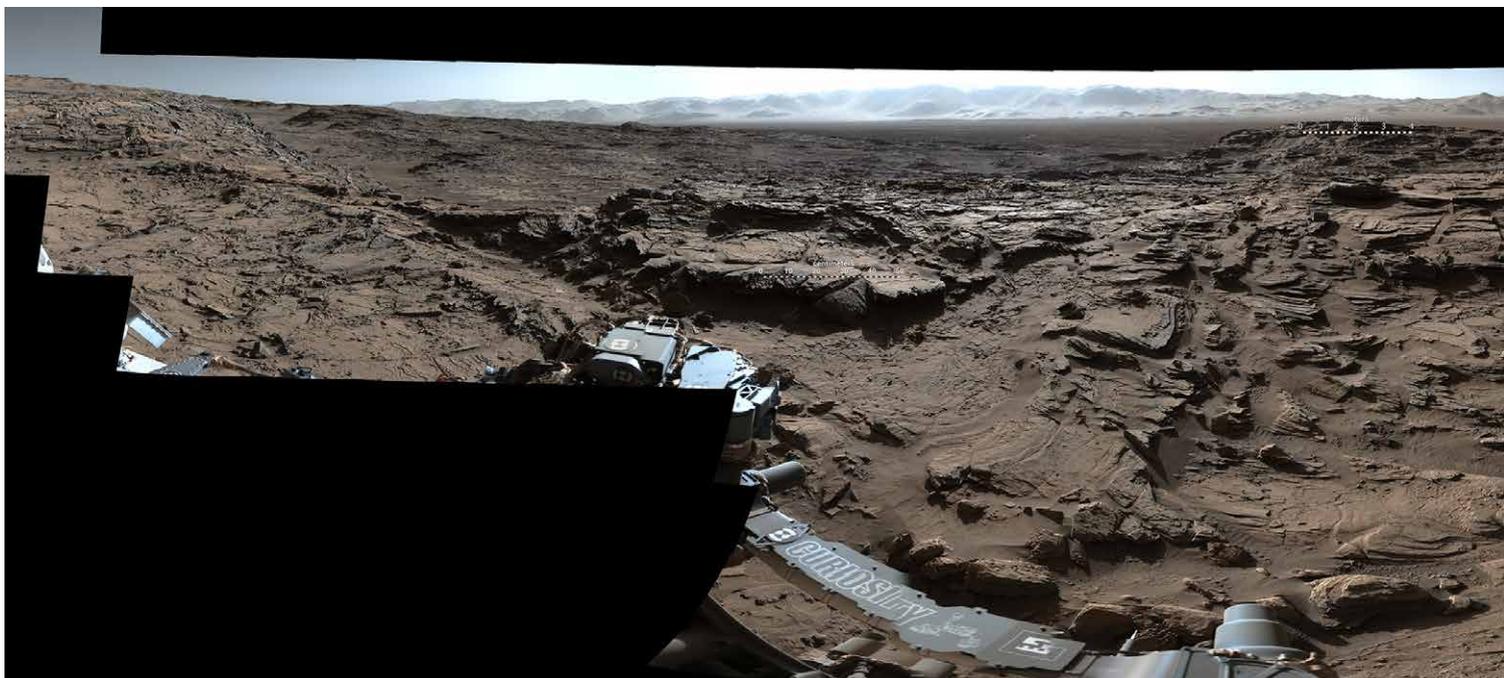


Fig. 2 - Questa panoramica a 360 gradi di *Curiosity* mostra dettagli della geologia e delle morfologie (<https://mars.nasa.gov/resources/7811/full-circle-vista-from-naukluft-plateau-on-mars/?site=msl>).

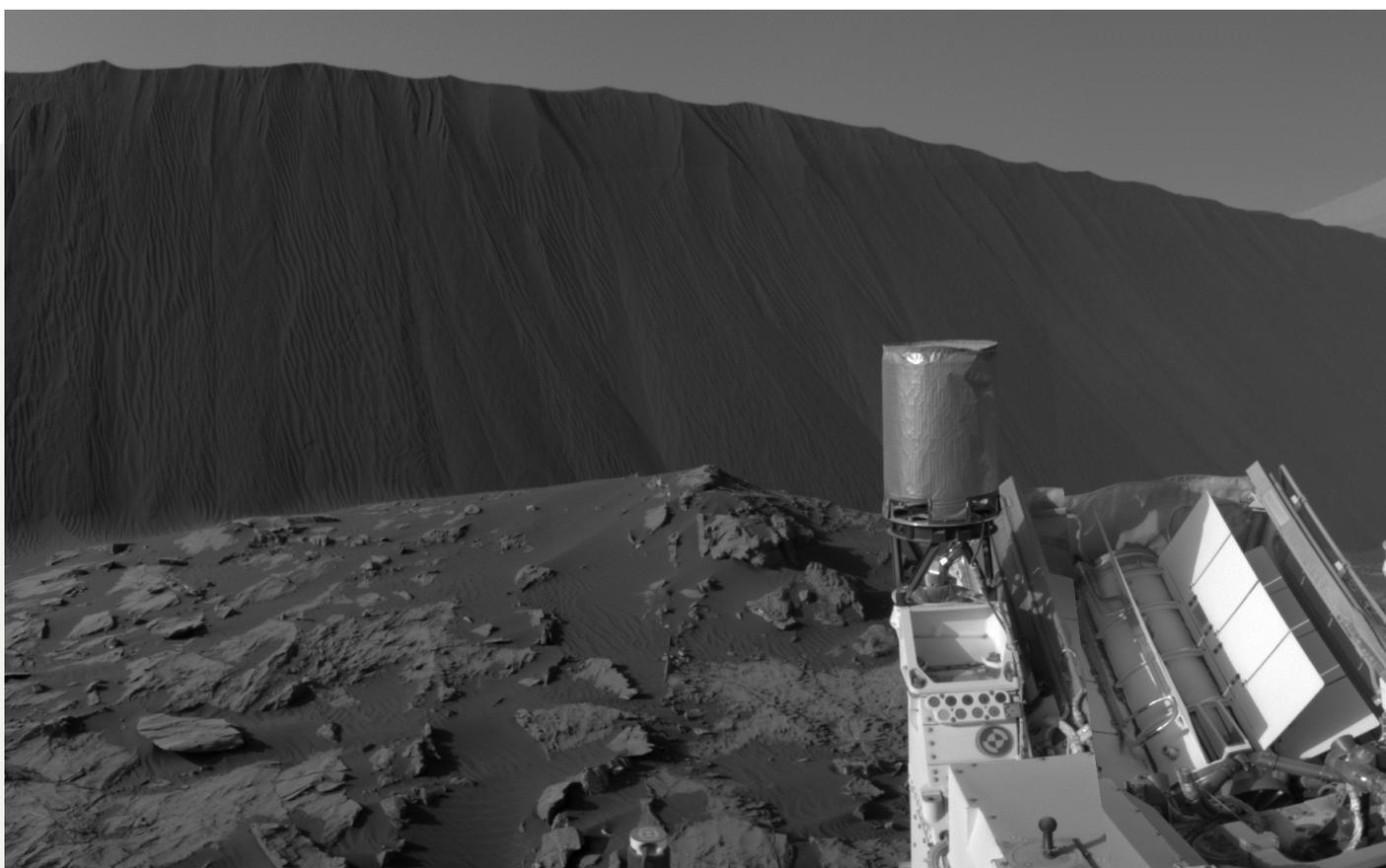


Fig. 3 - Questa foto scatta dal rover *Curiosity* della NASA mostra il lato sottovento di una duna alta circa 4 metri (<https://mars.nasa.gov/resources/7623/slip-face-on-downwind-side-of-namib-sand-dune-on-mars/?site=msl>).

IL FUTURO DELLA GEOLOGIA passa da Marte



Fig. 4 - Un esempio di stratificazione incrociata vista dal rover *Curiosity* (<https://mars.nasa.gov/resources/6871/cross-bedding-at-whale-rock/?site=msl>).

di avere un quadro d'insieme e comprendere l'evoluzione di un determinato pianeta. La NASA, dopo aver sviluppato i primi lander e aver dimostrato la capacità (mai scontata e mai banale) di saper atterrare su Marte, ha sviluppato 5 rover tecnologicamente sempre più avanzati: *Sojourner*, *Spirit*, *Opportunity*, *Curiosity* (Fig. 1) e *Perseverance*, l'ultimo gioiello tecnologico in casa NASA.

Perseverance, un rover a 6 ruote da 1 tonnellata delle dimensioni di un'auto compatta esplorerà il cratere Jezero, sede di un paleolago e paleodelta fluviale dove raccoglierà campioni di rocce che metterà da parte e che in futuro saranno riportati sulla Terra. *Perseverance*, ha l'obiettivo di cercare microcellule fossilizzate e molecole contenenti carbonio, le molecole organiche considerate i mattoncini della vita, e lo farà anche utilizzando i due spettrometri Raman di cui dispone.

I rover sono uno strumento fondamentale nell'esplorazione marziana e ci permettono di studiare a scala millimetrica gli ambienti sedimentari marziani (Foto 3-6). Non possiamo prescindere tuttavia dal riportare campioni di roccia marziana sulla Terra che ci permetterebbero di capire meglio se Marte abbia ospitato o meno la vita. Uno degli obiettivi del rover *Perseverance*, il cui atterraggio è previsto per il 18 febbraio 2021 (il pezzo è stato scritto qualche settimana prima

dell'atterraggio), è infatti quello di raccogliere campioni roccia e suolo e conservarli in piccoli tubi che verranno poi riportati sulla Terra da una futura missione. Riportare sulla Terra campioni di rocce marziane è essenziale per diversi motivi. Innanzitutto, perché non è ancora possibile svolgere analisi complesse da remoto e, inoltre, perché la scienza si basa sulla riproducibilità dei risultati, il che significa che uno stesso campione di roccia sarà analizzato da più laboratori.

Sebbene una missione "sample return" sia un passaggio obbligato, anche per testare la ripartenza dal pianeta rosso, l'obiettivo finale di questa prima fase dell'esplorazione marziana è una missione umana su Marte. Ciò permetterebbe di accelerare la comprensione del "sistema Marte" e avere piena autonomia decisionale in loco, azzerando tutti i tempi morti dovuti al ritardo di comunicazione che c'è tra la Terra e Marte. Infatti, il tempo medio di invio e ricezione di segnali tra la terra e Marte è di 25 minuti!

Questa volta però dobbiamo evitare di ripetere errori che sono stati fatti in passato quando l'uomo ha esplorato o colonizzato luoghi vergini, lasciando macerie dietro di sé. In questa direzione le varie accademie scientifiche nazionali stanno sviluppando rigorose politiche di protezione planetaria.



Due novità assolute: un microfono e un elicottero marziano

Per la prima volta potremo ascoltare il silenzio marziano e per la prima volta un oggetto costruito dall'uomo volerà su un altro corpo celeste. Infatti, il rover *Perseverance* porterà in grembo un elicottero che volerà in un raggio di 100 metri dal rover per trenta giorni. L'elicottero “*Ingenuity*” (Fig. 7) è un dimostratore tecnologico e dunque il successo della missione non è legato al successo o meno del volo. Che voli o meno, impareremo molto riguardo la fattibilità di veicoli volanti in condizioni fisiche ed atmosferiche diverse da quelle terrestri. La necessità di migliorare la nostra comprensione in questo settore è legata anche al fatto che la NASA ha in programma per il 2034 l'invio su Titano della navicella *Dragonfly*, un velivolo simile a un drone a 8 eliche.

Fig. 5 - Barcane marziane (www.uahirise.org/results.php?keyword=dune&order=release_date&submit=Search&page=2).

IL FUTURO DELLA GEOLOGIA passa da Marte

Quanto costa una missione di questo tipo?

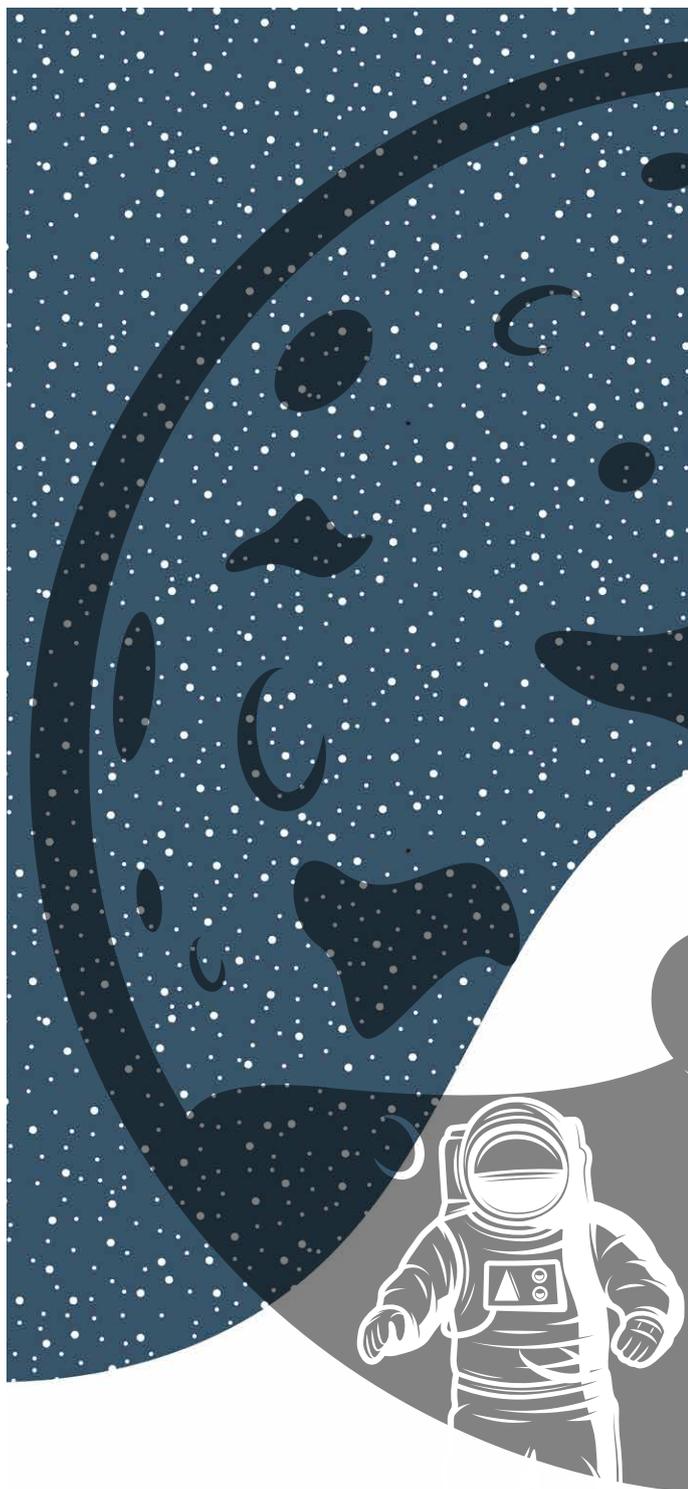
Il rover *Perseverance* ha assorbito 2,7 miliardi di dollari dal budget NASA. A primo impatto può sembrare una cifra enorme, ma se contestualizzata nel modo corretto queste missioni non sono poi così care.

Nel costo totale di una missione sono inclusi sia i costi di progettazione e costruzione del veicolo spaziale, di quello di lancio e il lavoro di elaborazione e operazione dei primi due anni di missione (missione principale, che verrà successivamente estesa e rifinanziata). La fase di progettazione, costruzione e volo drenano l'81% delle risorse del progetto, il restante 29% (circa 780 milioni di dollari) è per il lancio e tutte le operazioni dei primi due anni di missione.

A partire dal rover *Curiosity* nel 2012 si è scelto di dotare questi rover di taglia grande di batterie nucleari e naturalmente questo comporta un aumento dei costi per ragioni di sicurezza e di tutela ambientale.

I costi della missione di *Perseverance* non includono quelli dell'elicottero che, essendo un dimostratore tecnologico, sono finanziati con un capitolo di budget a parte. L'elicottero *Ingnuity* è costato circa 80 milioni di dollari per la fase di progettazione e costruzione e circa 5 milioni per trenta giorni di funzionamento.

Vi sembra ancora così tanto? Pensate che 2,7 miliardi Google li incassa in sei giorni (182 miliardi di fatturato nel 2020) ed il film *Avengers Endgame* li ha incassati al botteghino con la differenza che i costi di una missione spaziale sono ripartiti su diversi decenni e le ricadute in termini tecnologici (e non solo) per l'umanità sono inestimabili. La ricerca e l'esplorazione spaziale, infatti, sono il settore a più alto moltiplicatore. Nel caso specifico di *Perseverance*, i costi di missione sono stati spalmati su un arco temporale di 10 anni, dal 2013 al 2023, e la curva di spesa ha seguito un andamento di costo classico per i progetti aerospaziali ovvero una bassa spesa nella fase iniziale del progetto con un picco un paio di anni prima del lancio e poi giù a scendere. Rispetto alle altre missioni della NASA su Marte, *Perseverance* si classifica come la terza più costosa dietro *Viking* e *MSL Curiosity*, che ha perso la sua finestra di lancio originale, causando una significativa crescita dei costi.





Scienze della Terra e Planetarie: Prospettive

Per la prima volta, dall'inizio dell'esplorazione umana dello spazio solo poco più di 60 anni fa, lo spazio è accessibile a civili e compagnie private. Nei prossimi decenni lo Spazio entrerà completamente nella nostra quotidianità molto più di quello che i non addetti ai lavori possano immaginare. Le più grandi agenzie spaziali del mondo hanno ambiziosi progetti in stadio molto avanzato. NASA, Agenzia Spaziale Europea (ESA), Roscosmos, l'Organizzazione per la Ricerca Spaziale Indiana (ISRO) o la *China National Space Administration* (CNSA), hanno tutte in programma il ritorno sulla Luna e missioni umane su Marte o *Near-Earth Object* (NEO). Si tratti della Luna, Marte o di un asteroide, le analisi geologiche saranno un aspetto cruciale di ogni missione. I *policy makers* e i dirigenti hanno davanti gli anni più entusiasmanti dell'esplorazione spaziale: il primo uomo su Marte. La prima volta su un altro pianeta. Non sono tempi per pavidità, bensì per visionari e “doers” (non esiste una parola in italiano che traduca in maniera elegante questo termine inglese, che descrive una persona che fa, che agisce, che si dà da fare). Il mio auspicio è che non ci si riferisca più alla Geologia solamente come “Scienze della Terra” bensì come “Scienze della Terra e Planetarie” e che tutti i dipartimenti di Geologia adottino questa nomenclatura, la differenza non è nella forma ma nella sostanza. Siate Visionari, siate Geologi.

Fig. 6 - Dune barcone all'interno dell'erg del Polo Nord di Marte, le dune e il terreno sono ancora coperti dal ghiaccio stagionale (www.uahirise.org/results.php?keyword=dune&order=release_date&submit=Search&page=2).

IL FUTURO DELLA GEOLOGIA

passa da Marte



Fig. 7 - Drone Ingenuity che sorvola il rover Perseverance su Marte, riproduzione artistica (Image credit: NASA).

BIBLIOGRAFIA

Templeton A. (2002). *Out of Africa again and again*. Nature, 416(6876), 45-51.

Salese F., McMahon W.J., Balme M.R., Ansan V., Davis J.M. & Kleinhans M.G. (2020). *Sustained fluvial deposition recorded in Mars' Noachian stratigraphic record*. Nature communications 11.1, 1-8.

Board, Space Studies and National Research Council (2012). *Vision and voyages for planetary science in the decade 2013-2022*. National Academies Press, 2012.

Per le immagini utilizzate dall'autore a corredo del contributo: Credit: NASA/JPL-Caltech/MSSS

SITOGRAFIA

<https://mars.nasa.gov/mars2020>

www.nasa.gov/news/budget/index.html

www.cnb.com/2019/07/21/avengers-endgame-is-the-highest-grossing-film-of-all-time.html

<https://en.wikipedia.org/wiki/Google>



Il SAR è un sistema di telerilevamento ambientale a microonde che permette di ottenere immagini ad alta risoluzione spaziale delle scene osservate, dalle quali è possibile determinare gli spostamenti della superficie terrestre misurandone la sua deformazione. In particolare, la tecnica dell'Interferometria Differenziale Radar ad Apertura Sintetica (DInSAR) risulta essere uno strumento particolarmente adatto per tale scopo grazie all'ampia copertura spaziale dei dati RADAR satellitari acquisiti dai diversi satelliti orbitanti attorno alla Terra e all'elevata accuratezza delle misure di deformazione. Tale tecnica permette di rilevare non solo gli effetti prodotti da singoli eventi deformativi, ma anche di monitorare l'evoluzione nel tempo delle deformazioni del suolo. A tal proposito, le tecniche DInSAR multi-temporali consentono, a partire da un archivio di acquisizioni RADAR, di valutare l'evoluzione temporale dello spostamento del suolo (serie temporali di deformazione) e il corrispondente tasso medio di deformazione (velocità media). Tali caratteristiche rendono il DInSAR uno degli strumenti più utilizzati per l'individuazione, studio e monitoraggio di aree soggette a fenomeni di deformazione, come le aree sismogenetiche, quelle vulcaniche e quelle interessate da dissesto idrogeologico.



ANALISI E MONITORAGGIO

*delle deformazioni del suolo
con tecniche satellitari*

a cura di **Giuseppe Solaro**



INTRODUZIONE

È possibile osservare la Terra dallo spazio? È possibile monitorarne ogni suo movimento superficiale, anche molto piccolo, da centinaia di km di distanza? E come vengono analizzati i movimenti di un dissesto franoso o il rigonfiamento di un vulcano da molto lontano? Domande più che lecite soprattutto al giorno d'oggi in un mondo smisuratamente globalizzato, in cui la conoscenza dei fenomeni naturali e la loro interazione con le attività umane riveste ormai un ruolo fondamentale per la corretta gestione e pianificazione di un territorio. Questi interrogativi trovano una risposta grazie all'avanzamento delle conoscenze scientifiche e al progresso tecnologico e che risiedono in un'unica parola: il telerilevamento. Il telerilevamento permette di localizzare e studiare oggetti posti a grande distanza dell'osservatore, sfruttando i meccanismi di interazione tra gli oggetti osservati ed un pacchetto di onde elettromagnetiche ritrasmessi da una sorgente radiativa. Numerose sono le tecniche che, grazie a sensori installati su aerei, o piattaforme satellitari, consentono di monitorare vaste aree della superficie terrestre e di analizzare l'andamento nel tempo e nello spazio dei fenomeni geologici che su questa si manifestano. L'osservazione costante e dettagliata di ampie zone della superficie terrestre, consente, con tecniche non perturbative, di aggiornare rapidamente e con precisione dati e informazioni relativi alle scene osservate anche laddove, misure puntuali in situ, sebbene spesso più precise, non sono agevolmente ottenibili. Esso inoltre permette di assumere una posizione privilegiata che consente di "osservare meglio". Tutte queste caratteristiche fanno oggi del telerilevamento uno degli strumenti più utilizzati nella gestione del territorio, mirata sia alla prevenzione del rischio derivante da eventuali calamità naturali quali alluvioni, inondazioni, frane, terremoti, eruzioni vulcaniche, sia allo studio e al monitoraggio degli stessi. Di conseguenza, esso fornisce anche un importante strumento di pianificazione, non solo in ambito urbanistico, ma che investe, più in generale, tutte le attività umane nel territorio.

Sebbene il fine dello sviluppo di tali tecnologie sia stato dettato, almeno in principio, da scopi militari, oggi le tecniche di telerilevamento trovano impiego in un vasto campo di applicazioni. In primo luogo, infatti, il telerilevamento si pone a sostegno di discipline come le scienze della Terra per studiare l'aspetto della superficie terrestre e i fenomeni che su di essa si manifestano. In particolare, negli ambiti della meteorologia, oceanografia, idrologia, topografia, sismologia e vulcanologia sono state sviluppate diverse tecniche capaci di dare contributi concreti all'osservazione dei fenomeni naturali.

Keywords

Osservazione della Terra

Deformazione del suolo

SAR

Sorgenti di deformazione



Nell'attuale panorama del telerilevamento si impone con forza il RADAR, che sta per "*Radio Detection and Ranging*", un sensore operante nel campo delle microonde. Si tratta di uno strumento di osservazione che emette delle onde elettromagnetiche e che, tenendo conto dei meccanismi di interazione delle onde elettromagnetiche con gli oggetti presenti nell'ambiente, riesce a costruire un quadro della scena osservata. Difatti, le onde elettromagnetiche trasmesse incidono sugli oggetti posti sulla superficie terrestre e parte dell'energia viene "retro-diffusa", cioè torna indietro, in direzione del sensore. Analizzando il segnale ricevuto a bordo è possibile ottenere informazioni sulla scena osservata di tipo geometrico (in relazione alla distanza tra gli oggetti a terra e il sensore montato sul Sistema RADAR) e di tipo elettromagnetico (permettendoci di capire la composizione dell'oggetto osservato). In base alla modalità di funzionamento, in generale, i sistemi di telerilevamento possono essere suddivisi in due classi: sistemi di telerilevamento di tipo attivo, ovvero montati su di una piattaforma satellitare o aerea che emettono direttamente energia elettromagnetica e la ricevono, e sistemi di telerilevamento di tipo passivo, dove lo strumento usato è un'antenna che funziona solo in modalità ricettiva e non trasmissiva e la sorgente di onde elettromagnetiche è esterna. Il RADAR è il sistema di telerilevamento attivo per eccellenza e ha diverse caratteristiche; la prima di queste è che questo tipo di sistema ha una fonte propria di segnale che lo differenzia dai dispositivi di tipo passivo che sfruttano, invece, la luce del sole o altre fonti naturali di luce. Ne discende che la caratteristica principale di un radar è l'indipendenza delle sue misure dalla presenza o meno della luce solare, di eventuali fonti di energia esterne e dalle condizioni atmosferiche; cioè un RADAR può 'vedere' sia di giorno che di notte, in presenza o in assenza di copertura nuvolosa e/o di avverse condizioni meteorologiche. Tali caratteristiche lo rendono uno degli strumenti più utilizzati per il monitoraggio e l'analisi dei principali fenomeni geologici. Un RADAR, inoltre, può essere classificato in base al suo principio di funzionamento. Un primo esempio è quella dei RADAR ad apertura REALE, i cosiddetti RAR (*REAL APERTURE RADAR*), e un'altra invece riguarda i RADAR ad apertura SINTETICA, cosiddetti SAR (*SYNTHETIC APERTURE RADAR*).

ANALISI E MONITORAGGIO delle deformazioni del suolo con tecniche satellitari

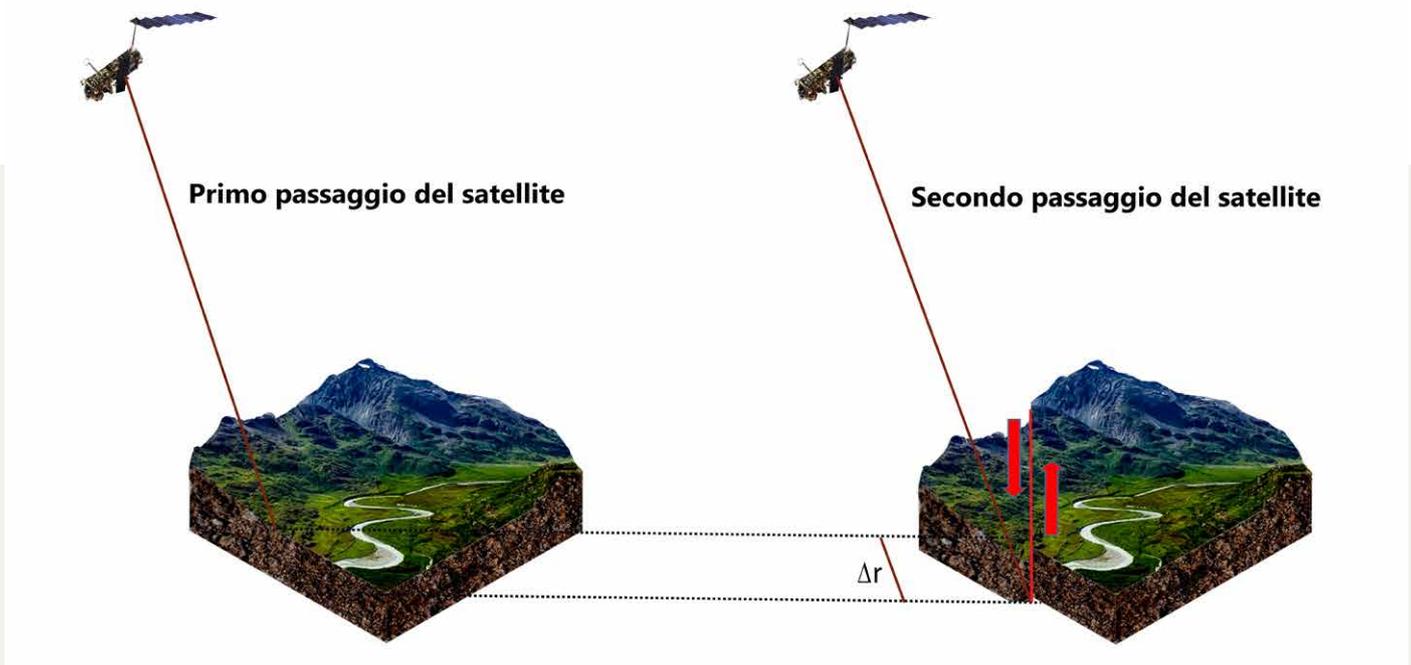


Fig. 1 - Schema esemplificativo di funzionamento del SAR. Il satellite con 2 passaggi successivi sulla stessa area è capace di osservare la deformazione del suolo (Δr) indotta dalla dislocazione di una faglia trascorrente (evidenziata in rosso). La deformazione osservata è “letta” dal satellite come allontanamento o avvicinamento rispetto ad esso: si parla in questo caso di deformazione lungo la linea di vista del sensore (LOS).

Il Radar ad Apertura Sintetica (SAR)

Il SAR è un sistema di telerilevamento ambientale a microonde che permette di ottenere immagini ad alta risoluzione spaziale delle scene osservate, dalle quali è possibile, ad esempio, studiare l'evoluzione spatio-temporale di alcuni fenomeni, quali il movimento di ghiacciai, eseguire tomografie del territorio, studiare la crescita della vegetazione, determinare la topografia del territorio, determinare gli spostamenti della superficie terrestre misurandone la sua eventuale deformazione. A tal proposito, attenzione particolare merita la tecnica dell'Interferometria Differenziale Radar ad Apertura Sintetica (DInSAR) che si è dimostrata essere negli anni uno strumento molto efficace per lo studio delle deformazioni del suolo. Infatti, l'ampia copertura spaziale dei dati RADAR satellitari acquisiti dai diversi sensori e costellazioni orbitanti attorno alla Terra, il numero sempre crescente di acquisizioni RADAR disponibili sulla stessa area e l'elevata accuratezza delle deformazioni rilevate, colloca la tecnologia DInSAR ai primi posti per efficacia ed affidabilità tra le tecniche di misura degli spostamenti del suolo (Casu et al., 2006, Solaro et al., 2016; Pepe et al., 2016). Per quanto riguarda la capacità della tecnica DInSAR di rilevare gli effetti prodotti da singoli eventi deformativi, essa è stata già ampiamente dimostrata e negli ultimi decenni si è via via concentrata sulla possibilità di monitorare l'evoluzione nel tempo delle deformazioni del suolo. A tal proposito, le tecniche DInSAR multi-temporali (anche denominate tecniche DInSAR avanzate) consentono, a partire da un archivio di acquisizioni

RADAR, di valutare l'evoluzione temporale dello spostamento del suolo (serie temporali di deformazione) e il corrispondente tasso medio di deformazione (velocità media). La deformazione superficiale stimata con le tecniche DInSAR è una misura monodimensionale valutata nel sistema di riferimento del RADAR, ovvero lungo la linea di vista (*Line Of Sight*, LOS) del sensore (Fig. 1) e quindi, dalla singola analisi interferometrica non è possibile ricostruire le reali componenti geografiche di deformazione del suolo terrestre. Per affrontare questa criticità è possibile sfruttare una grande potenzialità delle tecniche di telerilevamento satellitare. I sistemi SAR satellitari, infatti, riescono ad acquisire immagini della stessa scena al suolo sia da orbite ascendenti (sud-nord), sia da orbite discendenti (nord-sud). Questa caratteristica consente di valutare la deformazione di una specifica area di studio con due geometrie di acquisizione indipendenti, le quali possono essere opportunamente combinate per ottenere le stime delle componenti di deformazione orizzontali (est/ovest) e verticali (sollevamento/abbassamento), particolarmente utili per l'analisi interpretativa dei fenomeni deformativi.

Le immagini utilizzate nella tecnica interferometrica possono essere acquisite mediante diverse configurazioni che si differenziano tra loro per la diversa orientazione delle antenne e per il numero di passaggi effettuati dal sensore sull'area da studiare. Le configurazioni principalmente utilizzate sono tre: 1) *Across Track - Single Pass*; 2) *Along Track*; 3) *Across Track*

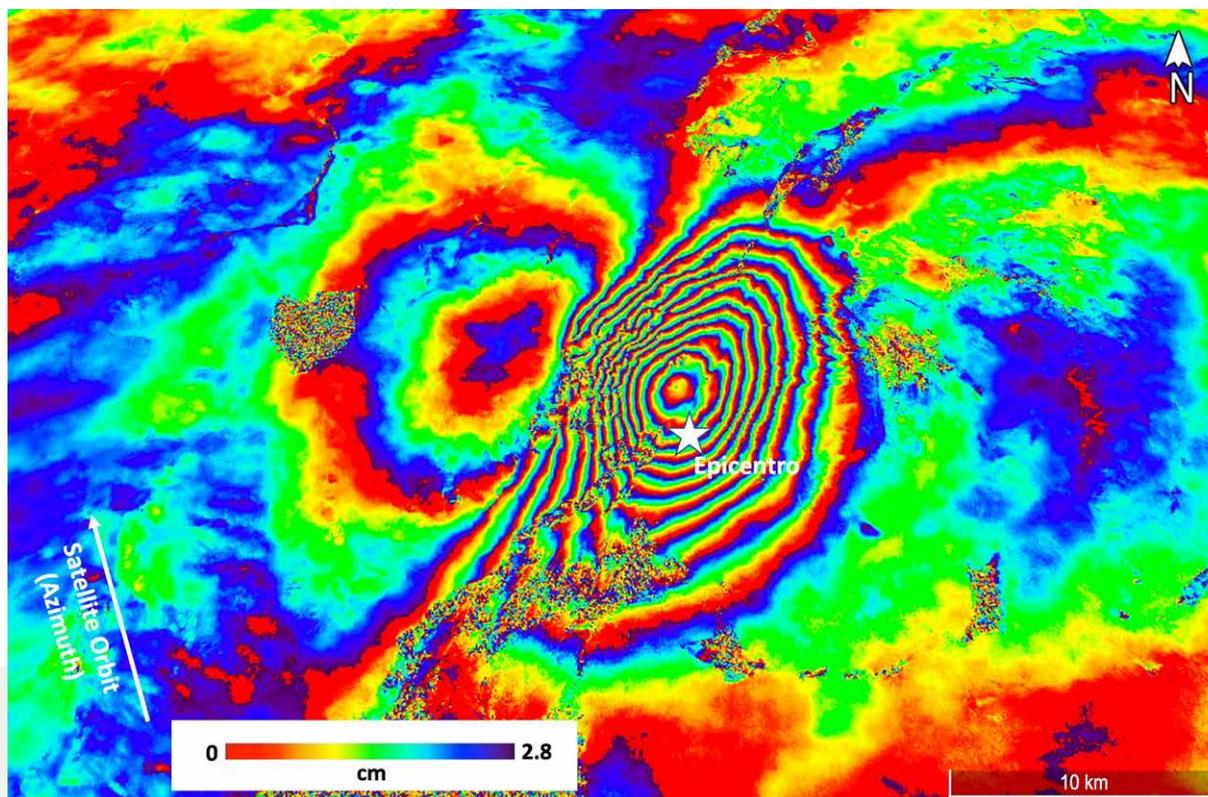


Fig. 2 - Interferogramma relativo al terremoto (magnitudo 6.3) di Xizang (Cina) del 22/07/2020, generato con dati acquisiti dal satellite Sentinel-1 il 18 e 30 luglio 2020, lungo orbita ascendente. Ogni ciclo di colore (frange) corrisponde a circa 2,8 cm. Moltiplicando il numero di frange (in questo caso sono circa 10) per metà lunghezza d'onda del segnale emesso (2.8 cm), si ottiene l'entità della deformazione osservata e indotta dal terremoto, pari a circa 30 cm. L'epicentro dell'evento sismico è indicato con una stella bianca. (Accordo 2019-2021 tra la Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile e CNR-IREA).

- *Repeat Pass*. La prima prevede l'uso di due antenne, di cui solo una operante in trasmissione, montate sullo stesso vettore, che osservano la scena simultaneamente da angoli differenti. Nella seconda configurazione si utilizzano due antenne montate sullo stesso vettore parallelamente alla direzione di volo. La scena, in questo caso, è osservata in istanti diversi e dallo stesso punto di vista. La terza modalità, infine, utilizza un singolo sensore che acquisisce le informazioni in tempi successivi. Tale configurazione risulta essere la più adatta al caso di piattaforme satellitari, le quali, passano sopra la scena più volte a distanza di un determinato tempo e con orbite molto simili (**Fig. 1**). In particolare, quest'ultima configurazione risulta essere quella più adatta a studiare la deformazione della superficie terrestre indotta da fenomeni geologici, valutarne l'entità e monitorarne l'evoluzione nel tempo; tutto ciò avviene mediante la generazione di uno o più interferogrammi. Un interferogramma è un'immagine nella quale si evidenziano una serie di frange Interferometriche, il cui andamento è del tutto simile alle curve di livello delle carte topografiche; contando il numero di queste frange e moltiplicandole per la metà della lunghezza d'onda del segnale elettromagnetico emesso dal sensore, è possibile determinare l'entità della deformazione superficiale (**Fig. 2**);

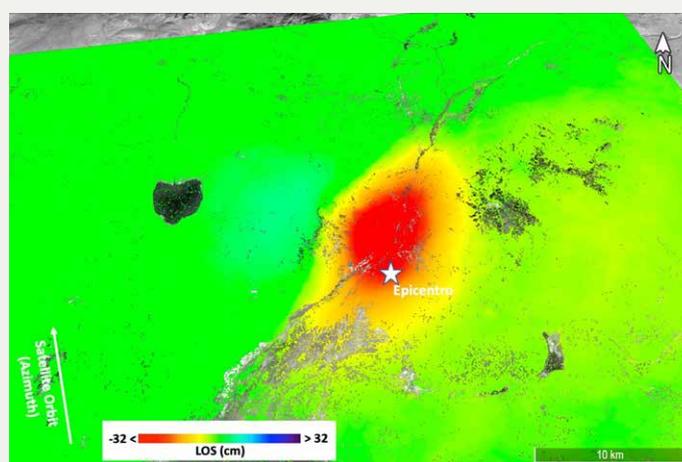


Fig. 3 - Mappa di spostamento relativa all'interferogramma di Figura 2. I valori negativi (in rosso) rappresentano le aree che si sono allontanate dal satellite. L'epicentro dell'evento principale è indicato con una stella bianca.

successivamente, applicando alcune funzioni matematiche complesse, è possibile ottenere la reale mappa di spostamento indotto dal fenomeno geologico che si sta osservando (**Fig. 3**). Ne discende che tale tecnica può fornire un valido supporto per l'individuazione di aree soggette a fenomeni di deformazione, studiarle e monitorarle, come le aree sismogenetiche (Tizzani et al., 2013; Lavecchia et al., 2016; Solaro et al., 2016) e quelle vulcaniche (Solaro et al., 2010; D'Auria et al., 2015; De Novellis et al., 2017). A titolo d'esempio vediamo due applicazioni di tale tecnica: il caso del terremoto di Amatrice del 24 Agosto 2016 e la deformazione della caldera dei Campi Flegrei.

ANALISI E MONITORAGGIO delle deformazioni del suolo con tecniche satellitari

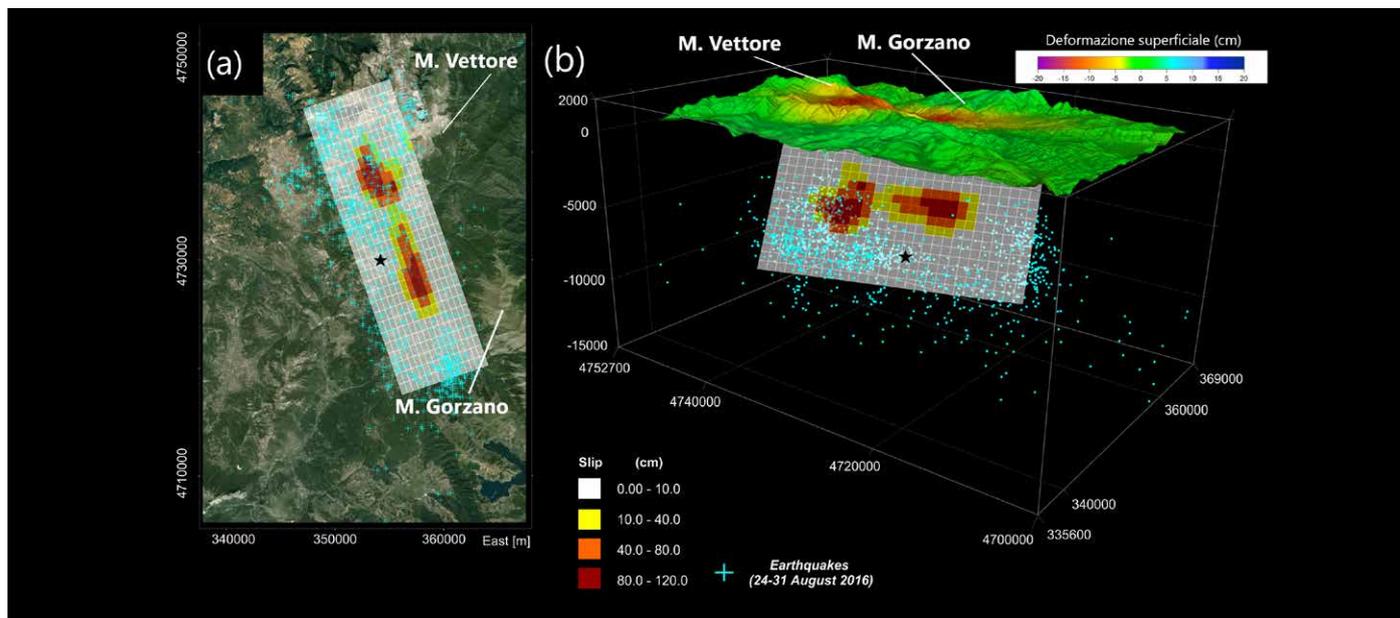


Fig. 4 - Mappa di spostamento e modello di faglia del terremoto di Amatrice del 24 agosto 2016. In (a) è mostrata, in pianta, la faglia sismogenetica del sistema Monte Gorzano- Vettore con i due picchi di massimo slip di circa 80 cm, ottenuta invertendo i dati GPS e SAR. In (b) è mostrata in 3D lo spostamento superficiale osservato con il SAR tra il 24 e il 31 agosto 2016 (subsidenza di circa 20 cm) e la faglia sismogenetica. La stella nera indica l'evento del 24 agosto 2016, i punti azzurri sono le repliche con magnitudo > 2 registrate tra il 24 e il 31 agosto 2016. (Modificato da Lavecchia et al., 2016).

Il terremoto di Amatrice del 24 Agosto del 2016

L'evento sismico del 24 agosto 2016 che colpì l'Italia centrale ebbe origine tra gli abitati di Amatrice (RI) e Norcia (PG) alle ore 3:36 con magnitudo 6.0 enucleandosi ad una profondità di circa 5 km (<http://cnt.rm.ingv.it/event/7073641>). Tale evento rappresentò l'inizio di una lunga sequenza sismica in Italia Centrale caratterizzata in seguito da altri due eventi importanti, il 26 ottobre con epicentro a Visso (Mw 5.9) e il 30 ottobre con epicentro a Norcia (Mw 6.5). Complessivamente, a partire dal 24 agosto 2016, furono registrati dalla rete sismica dell'INGV più di 800 repliche (di cui due particolarmente più energetiche, magnitudo Mw 6.0 e Mw 5.4 nella zona di Amatrice); quasi 1000 eventi giornalieri dopo il 30 ottobre 2016 quando un terremoto di magnitudo Mw 6.5 fu registrato nei pressi della città di Norcia, ed infine circa 500 eventi a partire dall'evento sismico di Campotosto verificatosi il 18 gennaio 2017 (Improta et al., 2019)

Come avviene per la maggior parte dei terremoti con magnitudo ≥ 5 , anche in occasione del terremoto di Amatrice del 24 agosto 2016 il terreno ha subito delle deformazioni del terreno sia transitorie che permanenti; generalmente tali deformazioni interessano un'area che è tanto più vasta quanto più grande è la dislocazione lungo la faglia sismogenetica e quanto più grande è l'energia sismica rilasciata. Le deformazioni del suolo causate dall'evento del 24 agosto 2016 sono state misurate da diversi strumenti di misura che si basano principalmente su dati ricevuti da satellite: GPS e DInSAR. Le stazioni GPS hanno permesso di determinare con precisione millimetrica sia la posizione dei punti di misura sia le loro eventuali variazioni a seguito di

deformazioni cosismiche; sebbene tale tipo di tecnica abbia una capacità risolutiva più alta rispetto al DiNSAR (si arriva a misurare fino al mm rispetto agli spostamenti centimetrici misurabili con il SAR), esso permette di misurare la deformazione solo in punti singoli, mentre con il DiNSAR è possibile osservare una deformazione di un'area molto più vasta. L'analisi dei dati DiNSAR relativi all'evento di Amatrice ha evidenziato un campo di spostamento cosismico caratterizzato principalmente da due lobi di deformazione allungati in direzione NNW-SSE localizzati ad Ovest del sistema Monte Gorzano - Monte Vettore, con massimi di subsidenza nella direzione di vista del satellite di circa 20 cm (**Fig. 4**); ciò è stato possibile osservarlo utilizzando i dati provenienti da sensori montati su differenti piattaforme satellitari, quali ALOS-2, Sentinel-1 e COSMO-SkyMed (Lavecchia et al., 2016; Cheloni et al., 2017). Inoltre, i risultati ottenuti sulle deformazioni cosismiche permanenti tramite GPS e DiNSAR sono poi stati utilizzati come vincolo per individuare, attraverso particolari tecniche di modellazione, la faglia che ha generato il terremoto, quindi la sua posizione, la sua estensione e l'entità della dislocazione durante il processo di rottura. La figura 4 mostra la deformazione co-sismica indotta dall'evento sismico con i due lobi di deformazione superficiale che evidenziano una subsidenza del terreno (allontanamento dal sensore) di circa 20 cm e la faglia sismogenetica, con il suo centro posto ad una profondità di 5 km, caratterizzata da due aree di massima dislocazione co-sismica (*slip*) che mostrano uno scivolamento lungo il piano di faglia di circa 80 cm.

La deformazione della caldera dei Campi Flegrei

La caldera dei Campi Flegrei è un campo vulcanico all'interno del quale, negli ultimi 39.000 anni, sono sorti numerosi centri eruttivi. L'area, situata nella parte occidentale della città di Napoli, è densamente popolata e, insieme agli altri vulcani dell'area napoletana (Ischia e Vesuvio), rappresenta una delle aree a più elevato rischio vulcanico del mondo. La prima grande attività eruttiva è avvenuta circa 39000 anni fa con l'eruzione della cosiddetta Ignimbrite Campana, ma l'attuale configurazione della caldera è principalmente il risultato dell'eruzione del Tufo Giallo Napoletano (avvenuta circa 15000 anni fa; Deino et al., 2004) e di successive modificazioni geomorfologiche associate ad almeno 72 eruzioni, l'ultima delle quali è avvenuta nel 1538 d.C., la cosiddetta eruzione di Monte Nuovo (Orsi et al., 1996). L'attività vulcanica degli ultimi 15000 anni è monogenica, cioè ogni episodio eruttivo è innescato da un'unica e ben distinta risalita di massa magmatica originatasi a bassa profondità. L'attività della caldera flegrea è attualmente caratterizzata da intense manifestazioni fumaroliche, sia *onshore* che *offshore* (Caliro et al., 2007; Passaro et al., 2016), da frequenti sciami sismici e deformazioni del suolo. Una delle caratteristiche più evidenti è il cosiddetto "bradisismo", cioè episodi alternati di sollevamento del terreno accompagnato da sismicità intensa (come nel 1982-1984 con un terremoto di magnitudo massima di 4.0 e circa di 600 eventi sismici in poche ore nell'aprile 1984) e abbassamenti (subsidenze) di lungo periodo. A partire dal 1988, la fase di subsidenza generale è stata interrotta da fasi di sollevamento minori e di breve durata, come quelle del 1989, 1994, 2000 e 2004-2006. Tra aprile 2012 e gennaio 2013, è stata registrata un'accelerazione della velocità di sollevamento del terreno con una velocità di picco di circa 3 cm/mese (Trasatti et al., 2015). Numerosi articoli sono stati pubblicati negli ultimi anni per fornire una spiegazione sulla causa di tali processi; ad esempio, D'Auria et al. (2015) hanno identificato una rinnovata attività magmatica nella caldera, proponendo che il meccanismo trainante per il sollevamento del suolo in questo periodo sia stata l'intrusione di un volume di magma di circa 0,0042 km³ a 3 km di profondità; il sollevamento osservato può essere spiegato tramite iniezioni intermittenti di piccole quantità di magma che alimentano un serbatoio magmatico più superficiale associato a perturbazioni transitorie del sistema idrotermale. Generalmente, la deformazione del suolo e la sismicità sono associate ad intensa attività fumarolica e idrotermale che si concentrano principalmente nel cratere della Solfatara dove i flussi di CO₂ sono particolarmente intensi durante il sollevamento e riflettono il degassamento magmatico (Chiodini et al., 2012). Nell'ultima decade la tecnica del DInSAR si è rivelata particolarmente efficace per l'osservazione, il monitoraggio e lo studio della caldera

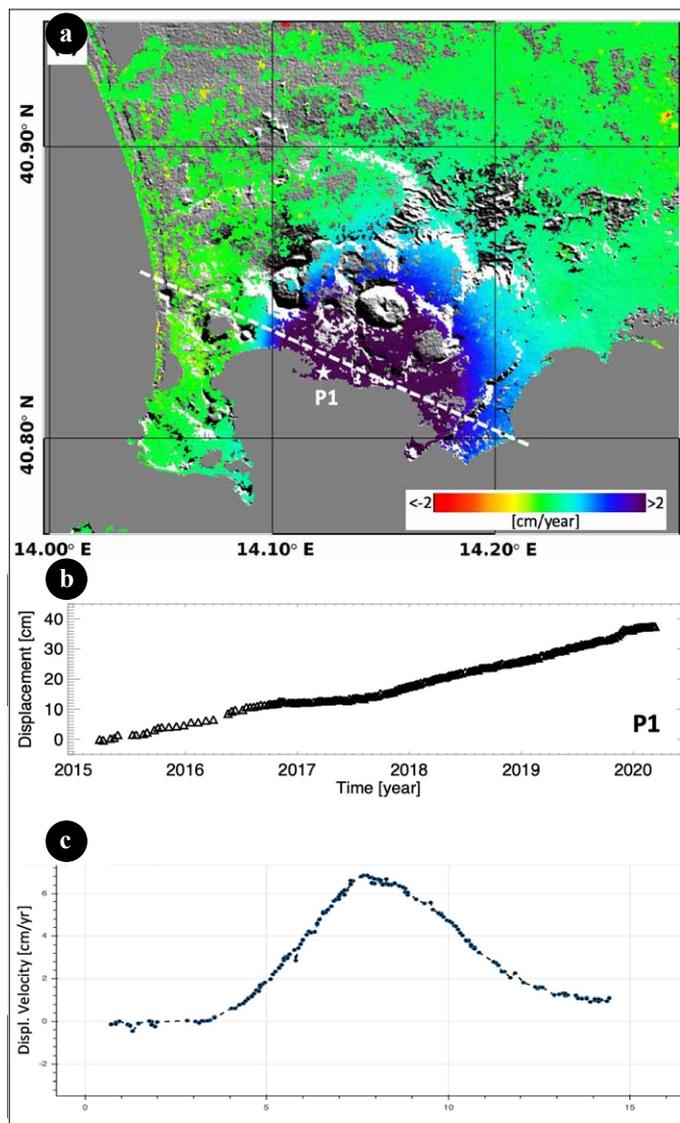


Fig. 5 - Deformazione superficiale dei Campi Flegrei. (a) Mappa della velocità media di deformazione della caldera flegrea ottenuta acquisendo i dati della costellazione Sentinel-1 del Programma Europeo Copernicus dal 2015 al 2020; (b) Serie temporale di spostamento di un punto (P1 nel pannello 'a') localizzato nell'area di massima deformazione osservata; (c) Velocità di spostamento lungo la sezione NW-SE (linea tratteggiata bianca nel pannello 'a') passante per l'area di massima deformazione (da Lanari et al., 2020, modificato).

flegrea. In particolare, i satelliti della costellazione Sentinel-1 (A e B, lanciati nell'aprile 2014 e Aprile 2016, rispettivamente) del Programma Europeo Copernicus hanno rappresentato una grande rivoluzione all'interno dello scenario di osservazione della terra, fornendo una capacità operativa senza precedenti per la mappatura della superficie terrestre; infatti, utilizzando le misure provenienti da tali sensori è possibile monitorare quasi in tempo reale le deformazioni superficiali della caldera flegrea (il tempo rivisita di Sentinel-1A e B è pari a 6 giorni), misurare la sua entità e valutarne eventuali rischi associati. La **Fig. 5** mostra la mappa della velocità media di deformazione della caldera flegrea ottenuta acquisendo i dati Sentinel-1 dal 2015 al 2020 dalla quale si osserva un "sollevamento" di circa 7,5 cm/anno, con uno spostamento massimo localizzato nel centro della città di Pozzuoli (NA) (punto P1 in **Fig. 5a**).

ANALISI E MONITORAGGIO delle deformazioni del suolo con tecniche satellitari

BIBLIOGRAFIA

Caliro S., Chiodini G., Moretti R., Avino R., Granieri D., Russo M. & Fiebig J. (2007). *The origin of the fumaroles of La Solfatarata (Campi Flegrei, south Italy)*. Acta 71, 3040e3055.

Casu F., Manzo M. & Lanari R. (2006). *A quantitative assessment of the SBAS algorithm performance for surface deformation retrieval from DInSAR data*. Remote Sensing of Environment, 102, Issues 3–4, pp. 195–210.

Cheloni D., De Novellis V., Albano M., Antonioli A., Anzidei M., Atzori S., Avallone A., Bignami C., Bonano M., Calcaterra S., Castaldo R., Casu F., Cecere G., De Luca C., Devoti R., Di Bucci D., Esposito A., Galvani A., Gambino P., Giuliani R., Lanari R., Manunta M., Manzo M., Mattone M., Montuori A., Pepe A., Pepe S., Pezzo G., Pietrantonio G., Polcari M., Riguzzi F., Salvi S., Sepe V., Serpelloni E., Solaro G., Stramondo S., Tizzani P., Tolomei C., Trasatti E., Valerio E., Zinno I. & Dogliani C. (2017). *Geodetic model of the 2016 Central Italy earthquake sequence inferred from InSAR and GPS data*. Geophys. Res. Lett., 44, 6778–6787.

Chiodini G., Caliro S., De Martino P., Avino R. & Ghepard F. (2012). *Early signals of new volcanic unrest at Campi Flegrei caldera? Insights from geochemical data and physical simulations*. Geology, 40, 943–946.

D'Auria L., Pepe S., Castaldo R. et al. (2015). *Magma injection beneath the urban area of Naples: a new mechanism for the 2012–2013 volcanic unrest at Campi Flegrei caldera*. Sci. Rep., 5, 13100.

De Novellis V., Castaldo R., De Luca C., Pepe S., Zinno I., Casu F., Lanari R. & Solaro G. (2017). *Source modelling of the 2015 Wolf volcano (Galápagos) eruption inferred from Sentinel 1-A DInSAR deformation maps and pre-eruptive ENVISAT time series*. J. Volcanol. Geotherm. Res.

Deino A.L., Orsi G., de Vita S. & Piochi M. (2004). *The age of the Neapolitan Yellow Tuff caldera-forming eruption (Campi Flegrei caldera - Italy) assessed by ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating method*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 133, 157–170.

Improta C., Latorre D., Margheriti L., Nardi A., Marchetti A., Lombardi A.M., Castello B., Villani F., Ciaccio M.G., Mele F.M., Moretti M. & The Bollettino Sismico Italiano Working Group (2019). *Multi-segment rupture of the 2016 Amatrice-Visso-Norcia seismic sequence (central Italy) constrained by the first high-quality catalog of Early Aftershocks*. Sci. Rep., 9, 6921.

Lanari R., Bonano M., Casu F., De Luca C., Manunta M., Manzo, M. Onorato G. & Zinno I. (2020). *Automatic Generation of Sentinel-1 Continental Scale DInSAR Deformation Time Series through an Extended P-SBAS Processing Pipeline in a Cloud Computing Environment*. Remote Sens., 12, 2961.

Lavecchia G., Castaldo R., De Nardis R., De Novellis V., Ferrarini F., Pepe S., Brozzetti F., Solaro G., Cirillo D., Bonano M., Buncio P., Casu F., De Luca C., Lanari R., Manunta M., Manzo M., Pepe A., Zinno I. & Tizzani P. (2016). *Ground deformation and source geometry of the August 24, 2016 Amatrice earthquake (Central Italy) investigated through analytical and numerical modeling of DInSAR measurements and structural-geological data*. Geophys. Res. Lett., 43.

Orsi G., Di Vito M. & De Vita S. (1996). *The restless, resurgent Campi Flegrei nested caldera (Italy): constraints on its evolution and configuration*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 74, 179e214.

Passaro S., Tamburrino S., Vallefucio M., Tassi F., Vaselli O., Giannini L., et al., (2016). *Seafloor doming driven by degassing processes unveils sprouting volcanism in coastal areas*. Sci. Rep., 6, 22448.

Pepe A., Solaro G., Calò F. & Dema C. (2016). *Minimum Acceleration Approach for the Retrieval of Multiplatform InSAR Deformation Time Series*. IEEE Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing.

Solaro G., Acocella V., Pepe S., Ruch J., Neri M. & Sansosti E. (2010). *Anatomy of an unstable volcano from InSAR multiple processes affecting flank instability at Mt. Etna, 1994–2008*. Journal of Geophysical Research, VOL. 115, B10405.

Solaro G., De Novellis V., Castaldo R., De Luca C., Lanari R., Manunta M. & Casu F. (2016). *Coseismic Fault Model of Mw 8.3 2015 Illapel Earthquake (Chile) Retrieved from Multi-Orbit Sentinel1-A DInSAR Measurements*. Remote Sensing, 8, 323.

Solaro G., Imperatore P. & Pepe A. (2016). *Satellite SAR Interferometry for Earth's Crust Deformation Monitoring and Geological Phenomena Analysis*. Capitolo 7 in Geospatial Technology - Environmental and Social Applications (ISBN 978-953-51-4768-8); Intech edition, edited by Imperatore P. and Pepe A.

Tizzani P., Castaldo R., Solaro G., Pepe S., Bonano M., Casu F., Manunta M., Manzo M., Pepe A., Samsonov S., Lanari R. & Sansosti E. (2013). *New insights into the 2012 Emilia (Italy) seismic sequence through advanced numerical modeling of ground deformation InSAR measurements*. Geophys. Res., Lett., 40, 1–7.

Trasatti E., Polcari M., Bonafede M. & Stramondo S. (2015). *Geodetic constraints to the source mechanism of the 2011–2013 unrest at Campi Flegrei (Italy) caldera*. Geophys. Res. Lett. 42, 3847–3854.



C

LE VIE DEI FOSSILI

in Sicilia

a cura di **Rossana Sanfilippo** e **Antonietta Rosso**



Interessanti percorsi paleontologici si snodano attraverso la Sicilia toccando diversi affioramenti fossiliferi che costituiscono un ricco e variegato patrimonio di estrema bellezza e valore scientifico. Gli innumerevoli siti di interesse paleontologico, molti dei quali oggi istituiti come geositi, raccontano la storia dell'isola non solo testimoniando un intervallo temporale molto ampio, dal Permiano superiore al Pleistocene, ma anche paleoambienti di diversa natura. I fossili di questi affioramenti, ben conservati, abbondanti e appartenenti a diversi gruppi tassonomici, fanno del territorio un prezioso archivio di paleobiodiversità.



Keywords

Sicilia
Fossili
Paleoambienti
Mediterraneo

GeologicaMente parlando, la Sicilia è un vero e proprio puzzle nel quale si alternano formazioni rocciose di differenti facies ed età affioranti a varie quote (Fig. 1). Percorrendo anche brevi distanze è possibile incontrare una grande varietà di rocce - sedimentarie, magmatiche e metamorfiche - la cui genesi abbraccia un intervallo temporale che va dal Paleozoico superiore fino al Pleistocene, una storia lunga quasi 300 milioni di anni. Le rocce sedimentarie sono le più diffuse

e affiorano estesamente nei settori settentrionale (Monti di Trapani e Palermo, Madonie e Nebrodi, Monti di Taormina), centro-meridionale (Monti Sicani, Bacino di Caltanissetta) e in quello sud-orientale (Altopiano Ibleo). Si tratta di rocce spesso ricchissime di fossili, testimonianti ambienti marini di diverse profondità, che ci raccontano una storia fitta di eventi e come l'isola che oggi conosciamo sia stata completamente sommersa fino a tempi molto recenti. Inoltre, gli affioramenti fossiliferi che si incontrano attraversando il territorio siciliano, custodiscono per varietà e abbondanza dei taxa, un prezioso archivio di (paleo) biodiversità. Molti sono situati in riserve naturali di estrema bellezza e sono importanti geositi paleontologici: dai calcari di scogliera permiani della Valle del Sosio, a quelli triassici ad *Halobia* e megalodontidi di Pizzo Mondello (Agrigento e Capo Rama (Palermo)), e cretacei a rudiste di Monte Pellegrino (Palermo) e Capo Passero (Siracusa), fino ai livelli pliocenici di Scala dei Turchi (Agrigento), e ai ricchi depositi pleistocenici a mammiferi, elefanti nani e tartarughe giganti delle Grotte Spinagallo (Siracusa) e dei Puntali (Palermo) e ai travertini di Alcamo (Trapani).

In Sicilia, quindi, si può viaggiare nel tempo dal passato remoto (Paleozoico superiore) fino a quello più prossimo (Pleistocene medio e superiore), tra scenari paleoambientali e flora/faunistici differenti. Gli itinerari e le mete possono essere molteplici e tutti interessanti.

Immaginiamo di partire dagli affioramenti più antichi, nei pressi di Palazzo Adriano (Palermo), nella Valle del fiume Sosio dove si trovano rocce paleozoiche di circa 270 milioni di anni (Fig. 2). Questi fossili permettono di ricostruire gli eventi delle prime fasi della storia geologica dell'Isola, allora caratterizzata da ambienti di mare tropicale dominati da scogliere ricche di invertebrati.

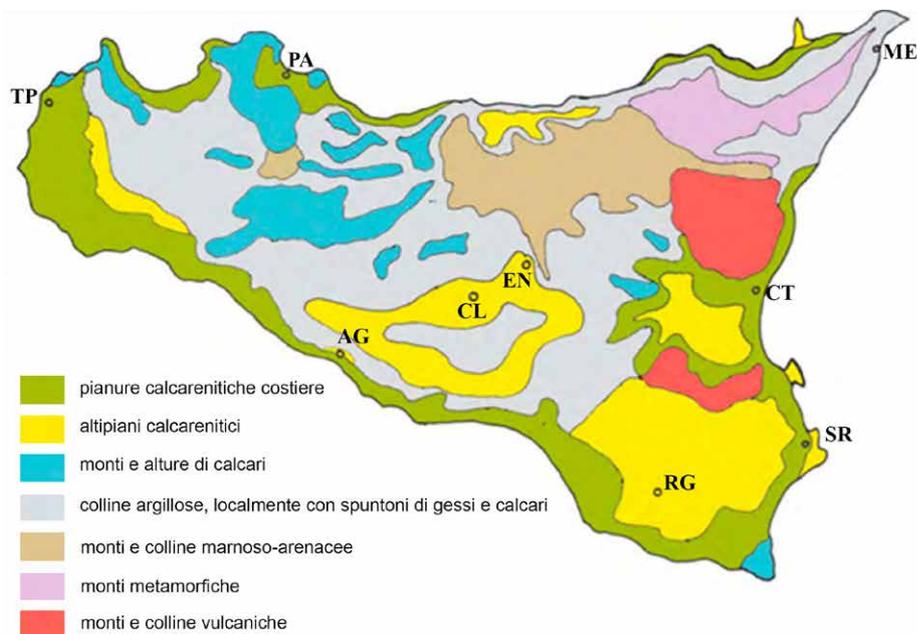


Fig. 1 - La Sicilia: un puzzle geologico nella rappresentazione di Loris Montanari (*Geologica Sicula* ARPA). Distribuzione morfo-altimetrica delle rocce in Sicilia.

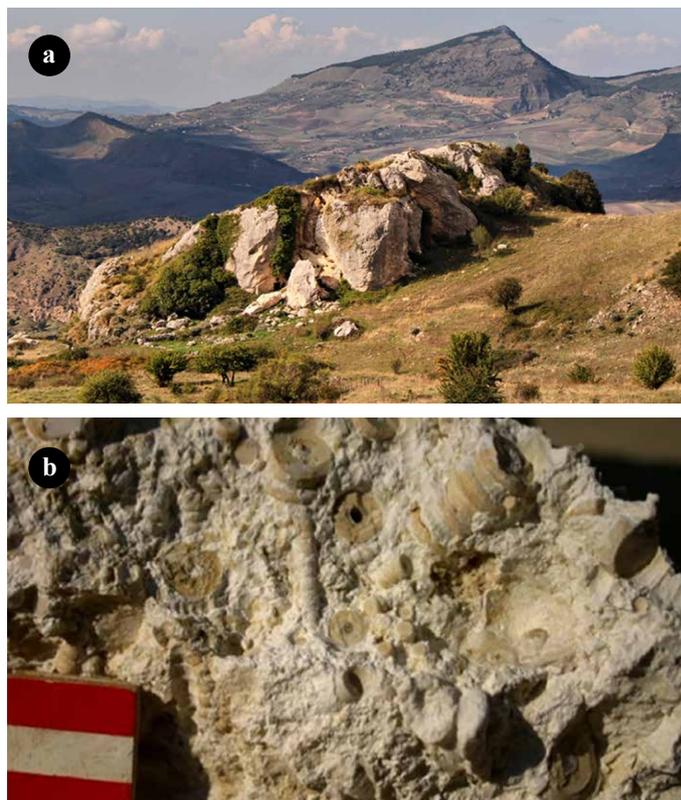


Fig. 2 - a) Panoramica della Valle del Sosio con in primo piano la Pietra di Salomone. b) Un aspetto dei calcari permiani con abbondanti crinoidi (foto da Sanfilippo et al., 2017).



Fig. 3 - Selezione di fossili tipici del Permiano del Sosio.

Sono tre gli affioramenti di maggiore interesse qui presenti: la Pietra di Salomone, la Pietra dei Saracini e la Rupe del Passo di Burgio, tutti blocchi calcarei grigio-biancastri che emergono dal morbido paesaggio circostante. Studi condotti sul maggiore dei blocchi, quello della Pietra di Salomone, hanno evidenziato come sia costituito da breccie accumulate lungo un pendio sottomarino che raccordava una zona di mare poco profondo dove si sviluppava la piattaforma ad un bacino marino più profondo. Gli elementi della breccia derivano dal periodico smantellamento dei margini di una rigogliosa scogliera dove vivevano alghe calcaree, fusuline, spugne, coralli, brachiopodi, vermi, molluschi (bivalvi e gasteropodi), crinoidi (Fig. 3). L'abbondante detrito si accumulava in bacini profondi a sedimentazione fine con fossili di mare aperto quali ammonoidi, nautiloidi e trilobiti. La prima valorizzazione di quest'area si deve alla preziosa opera di Gaetano Giorgio Gemmellaro, cui è dedicato il Museo Paleontologico di Palermo che, insieme al Museo Civico di palazzo Adriano, accoglie numerosi reperti provenienti da questo sito. Associazioni permiane simili a quelle della Valle del Sosio riscontrate in altre regioni del globo hanno permesso di provare l'esistenza di ampie vie di comunicazione fra la Sicilia e aree lontanissime quali Timor e la Cina, attraverso gli oceani della Paleotetide e della Neotetide, che s'incuneavano nel supercontinente Pangea.

Spostandoci verso est fino all'estrema punta sud-orientale della Sicilia e dell'altopiano ibleo si raggiunge Capo Passero (Siracusa). Quest'area ci racconta una storia più recente, quando nel Cretaceo superiore su fondali marini poco profondi movimenti tettonici causarono l'emissione di grandi volumi di lave basaltiche attraverso fratture della crosta a formare *sea-mounts*. Su questi rilievi poco profondi si svilupparono ricche comunità di scogliera a prevalenti rudiste appartenenti a diversi generi e famiglie, documentati oggi in affioramenti fossiliferi lungo la costa di Marzamemi e Portopalo di Capo Passero e nell'antistante isola (Fig. 4). Gli spettacolari tagli prodotti dall'azione antropica e dall'erosione marina consentono un'immersione virtuale alla scoperta di molluschi insoliti che non hanno rappresentanti nei mari attuali (Fig. 5). Più abbondanti e appariscenti sono gli ippuritidi (*Hippurites cornucopiae*) e i radiolitidi caratterizzati da una valva conica allungata e una piatta che fungeva da opercolo. Gli esemplari, alti anche diverse decine di centimetri, crescevano in gruppi addossati gli uni agli altri a formare il nucleo della scogliera insieme a coralli massivi (Fig. 6). Comuni anche altre rudiste come i caprinidi (con specie di *Sabinia* con due valve ricurve o una valva conica e una ricurva a corno) che vivevano poggiate sul fondo sabbioso nei sedimenti biodetritici posti lateralmente alle scogliere. Erano presenti anche alghe calcaree, macroforaminiferi, gasteropodi, come *Nerinea*, ed echinidi.



Fig. 4 - Calcari bioclastici a *Sabinia* formati lungo il margine esterno della piattaforma nel Cretaceo (Campaniano superiore-Maastrichtiano inferiore). Isola di Capo Passero. Foto A. Rosso.

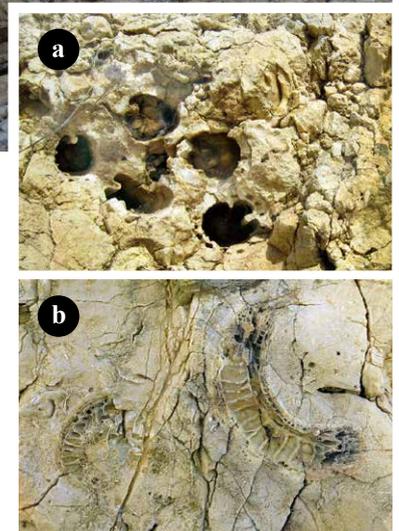


Fig. 5 - a) Sezioni trasversali di *Hippurites* e b) longitudinali di *Sabinia* delle dimensioni di alcuni decimetri. Foto R. Sanfilippo.

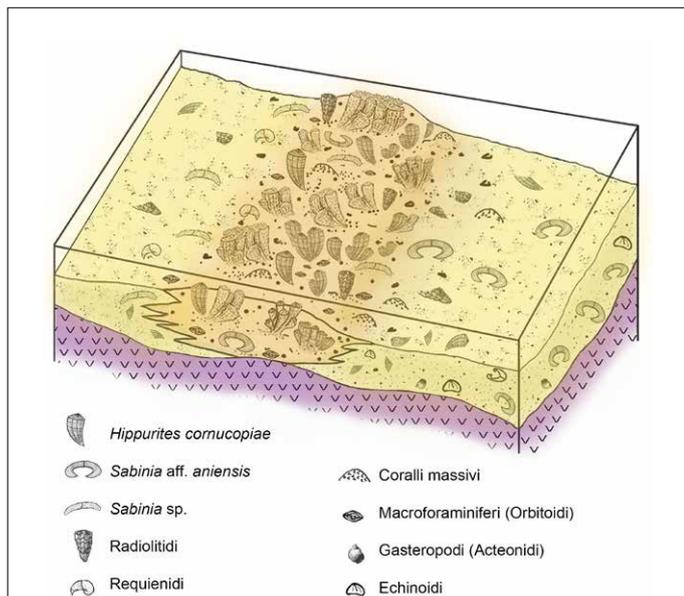


Fig. 6 - Ricostruzione paleoambientale con biocostruzioni a ippuritidi e coralli, e lateralmente sedimenti biodetritici a caprinidi e foraminiferi (schema: Rosso & Sanfilippo ispirato a Matteucci et al. 1982).

Ritornando per un breve tratto verso nord-ovest nel territorio tra Modica e Ragusa, un sito di notevole interesse geominerario e paleontologico è Monte Tabuna (Ragusa). Vi affiorano calcari bituminosi, sedimenti carbonatici di profondità depositi nel Miocene inferiore e successivamente impregnati dalla risalita di idrocarburi. Queste rocce furono attivamente estratte a partire dall'800 e impiegate per pavimentazioni in chiese e abitazioni locali ed anche esportate in tutta Europa (Fig. 7). Numerose erano le miniere, tra cui quella di Streppenosa con l'ingresso sulla valle dell'Irminio, che immette in una galleria orizzontale lungo le cui pareti si notano le caratteristiche impregnazioni di bitume e colate di pece solidificata. Questi calcari contengono fossili spesso perfettamente conservati grazie alla presenza delle sostanze bituminose. Da questo affioramento sono stati portati alla luce numerosi resti fra cui denti di squali nonché ossa e denti di grossi odontoceti, cetacei della famiglia degli squalodontidi, tra i quali *Squalodon gemmellaroi*, segnalato da Gaetano Giorgio Gemmellaro e studiato in seguito dal figlio Mariano, e *Squalodon bariensis*. È possibile osservarne reperti presso il locale Museo Civico di Comiso e il Museo di Paleontologia dell'Università di Catania (Fig. 8). Oltre ai ritrovamenti degli Iblei, resti di *Squalodon* sono stati trovati solo in altre località europee e americane.

Rocce più recenti, di età tortoniana, testimonianti paleoambienti di scogliera si incontrano in diverse aree della Sicilia a formare affioramenti anche estesi, e talora interi rilievi montuosi. Queste rocce carbonatiche si sono formate *in situ* per la crescita su fondali poco profondi di colonie sovrapposte di coralli coloniali a scheletro mineralizzato, aventi microrganismi simbiotici nei tessuti e capaci di formare biocostruzioni dette bioerme. Un bell'esempio è quello dei calcari della Balza di Rocca Limata affioranti presso Resuttano (Caltanissetta) che espongono un corpo di scogliera spesso decine di metri con colonie di coralli di oltre 1 metro (Fig. 9). I più comuni appartengono a specie dei generi *Porites* e *Tarbellastrea* (Fig. 10) con forme massive



Fig. 7 - Cava di estrazione della "pietrapece" di Contrada Tabuna in territorio ragusano. Foto da sito http://www.geositidiscilia.it/15_contrada_tabuna.html.



Fig. 8 - a) Mandibola di *Squalodon bariensis* esposta al Museo di Paleontologia dell'Università di Catania e b) ricostruzione di un esemplare.

e a candelabro, equivalenti a quelle presenti negli attuali reef corallini tropicali. Associata ai coralli una ricca fauna a molluschi, echinodermi, briozoi, foraminiferi, ostracodi ed alghe rosse mineralizzate. Durante il Miocene queste scogliere prosperavano a basse profondità in un Mare Mediterraneo oramai ben individuato e separato ad est dal vicino Mar Rosso già da qualche milione di anni.

In numerose aree della Sicilia, si incontrano rocce bianche e finemente stratificate chiamate "Tripoli", affioranti in più località fra cui "Masseria Il Salto" presso Caltagirone (Catania) lungo il margine nord-occidentale dell'altopiano ibleo (Fig. 11). Livelli di marna si alternano a depositi silicei formati da gusci di organismi microscopici come le diatomee e i radiolari, viventi in prossimità della superficie del mare, ma i cui resti si accumularono sul fondo in alcuni settori del Mediterraneo nel Miocene superiore (Messiniano). Presso Masseria Il Salto sono presenti circa 15 metri di sedimenti contenenti abbondanti resti di pesci spesso ottimamente conservati (Fig. 12). Le 12 diverse



Fig. 9 - La scogliera fossile affiorante a Balza di Rocca Limata con grandi colonie di coralli a cuscino. Foto R. Sanfilippo.



Fig. 10 - Colonia di *Tarbellastrea reussiana*. Foto R. Sanfilippo.



Fig. 11 - Marne tripalae della collina di “masseria Il Salto” presso Caltagirone. Foto S. Di Geronimo.



Fig. 12 - Alcuni dei pesci fossili esposti al Museo di Paleontologia dell'Università di Catania.

specie identificate e i microorganismi associati (diatomee, foraminiferi, radiolari) ci raccontano di un paleoambiente relativamente poco profondo e prossimo alla costa in cui si risentiva periodicamente di *upwelling*. Queste correnti di acque profonde e fredde portavano pesci bati- o meso-pelagici (alcune specie di mictofidi) in aree relativamente superficiali dove andavano poi ad accumularsi insieme alle specie locali (come specie dei generi *Alosa* e *Syngnathus*, o pesci trombetta) in un bacino marginale in cui le condizioni al fondo erano disossiche, un preludio alla imminente fase evaporitica.

Dopo la crisi di salinità messiniana e la riapertura del collegamento del Mediterraneo con l'Atlantico, nel Pliocene inferiore si depositarono sedimenti di mare profondo, ricchi di foraminiferi planctonici (Trubi), come quelli del geosito di Scala dei Turchi (Agrigento). A quel tempo e nel successivo Pleistocene la Sicilia consisteva in un arcipelago di isole separate da stretti tratti di mare profondo e circondate da bacini costieri. Parte di questi depositi si possono seguire lungo tutto il margine degli iblei che allora costituivano la più grande isola meridionale. Una successione iconica del Pleistocene inferiore (Siciliano) affiora fra Catania e Siracusa, nei pressi di Megara. Si tratta di accumuli conchigliari (*shell beds*) intercalati in livelli limoso-argillosi, ricchi in bivalvi (**Fig. 13**), cui si associano gasteropodi, oltre che briozoi, serpulidi, echinoidei e alghe calcaree. La presenza di ospiti nordici, come il bivalve *Arctica islandica*, e il gasteropode *Neptunea contraria*, è indicativa di un chiaro raffreddamento climatico. Provenienti da latitudini boreali, queste specie penetrarono in Mediterraneo attraverso lo Stretto di Gibilterra e si adattarono a vivere nei fondali del Mediterraneo durante le fasi glaciali. Proprio in questi depositi, che contengono anche esemplari di specie ancor oggi presenti in Mediterraneo, ma che raggiunsero in quel tempo dimensioni “giganti”, sono stati individuati anche indicatori climatici freddi appartenenti a briozoi e serpulidi oltre ai più noti molluschi.

Forse proprio le diverse fasi climatiche condizionarono



Fig. 13 - a) Sabbie limose riccamente organogene della successione di Megara Iblea e b) dettaglio di un livello ad *Arctica* con esemplari in posizione di vita e valve disarticolate. Foto A. Rosso.

nel Pleistocene la migrazione di vertebrati fra cui diversi mammiferi che, attraverso la penisola italiana, giunsero nelle isole siciliane dove si diversificarono dando origine a specie endemiche. Così nelle fasi interglaciali diverse aree si popolarono di elefanti la cui specie più nota è sicuramente *Palaeoloxodon falconeri*. Originatasi nell'ambiente insulare a seguito di modificazioni morfologiche e una forte riduzione di taglia, questa specie, con i suoi 90 cm di altezza, costituisce una delle più affascinanti peculiarità paleontologiche che caratterizzano le associazioni faunistiche insulari del Mediterraneo. I resti più abbondanti di *P. falconeri* sono stati trovati all'interno della Grotta di Spinagallo, lungo il bordo orientale dell'Altopiano Ibleo in prossimità di Cassibile, vicino Siracusa, oggi proclamato geosito di interesse mondiale (Fig. 14). La grotta prodotta in calcari miocenici si apre lungo una falesia coperta alla base da detrito. Un ampio ingresso principale situato a circa 50 m di quota immette in un ambiente alto 12 m e ampio 20, connesso, a pochi metri dall'ingresso, a una cavità inferiore più piccola e inclinata verso la falesia su cui si apre con un ingresso secondario. Al momento della scoperta del sito questa cavità inferiore era completamente riempita da paleosuolo, un deposito limoso dalla tipica colorazione rossa contenente i resti di vertebrati continentali, che poggiava su sottili livelli ghiaioso-sabbiosi con fossili di ambienti marini di acque basse. Di tutti questi sedimenti si conservano oggi solo poche tracce lungo le pareti, insieme a resti di concrezioni la cui datazione ha consentito di ringiovanire la precedente attribuzione del sito a un periodo compreso fra circa 370 e 230 mila anni fa, quindi nella parte superiore del Pleistocene medio.

I primi reperti furono rinvenuti alla fine degli anni '50 del secolo scorso durante diverse ricognizioni geologiche che interessarono tutta l'area del siracusano. Dal 1958 al 1960 il Prof. Bruno Accordi, allora Direttore dell'Istituto di Geologia dell'Università di Catania, diede avvio agli scavi paleontologici che hanno restituito migliaia di resti di vertebrati appartenenti a diverse specie di mammiferi. Solo per *P. falconeri* sono state rinvenute nella grotta oltre 2.000 ossa, solo poche in connessione, ma indicanti la presenza di oltre 100 esemplari. Queste ossa conservate in musei di diverse istituzioni hanno consentito di montare alcuni esemplari composti attualmente esposti nel Museo di Paleontologia del Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali dell'Università di Catania, nel Museo Universitario di Scienze della Terra (MUST) di Sapienza, Università di Roma, nel Museo Gemmellaro di Palermo e al Paolo Orsi di Siracusa. Altri reperti appartengono a specie

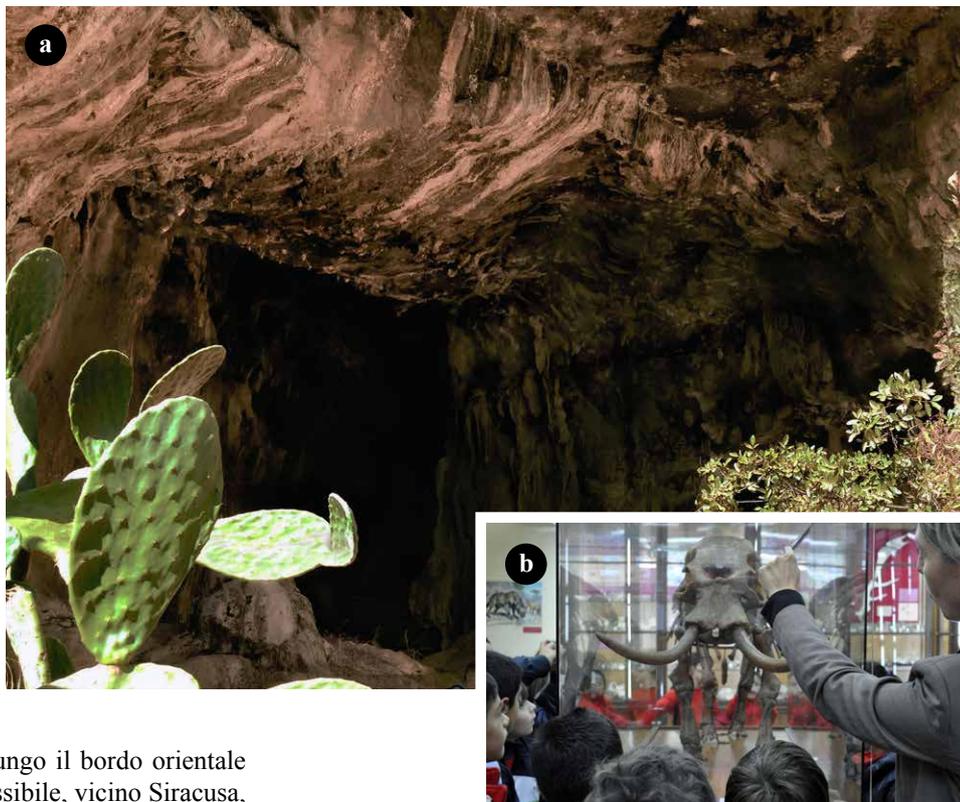


Fig. 14 - a) Ingresso della grotta di Spinagallo (Siracusa). Foto R. Sanfilippo. **b)** Scheletro dell'elefante pigmeo *P. falconeri* proveniente dalla grotta di Spinagallo esposto al Museo di Paleontologia (Univ. Catania), sempre oggetto di curiosità e interesse da parte dei visitatori.

dei generi *Crocifura* (toporagno), *Lutra* (lontra), *Maltamys* e *Leithia* (ghiri giganti), fra cui *Leithia melitensis* che raggiunse grandi dimensioni relative, oltre ad anfibi e rettili inclusa una tartaruga gigante. Oltre 1.000 resti di uccelli sono stati attribuiti ad almeno 61 specie fra cui il cigno gigante *Cygnus falconeri* e una trentina di passeriformi.

I fossili di *P. falconeri* e quelli ad esso associati hanno permesso alla Prof.ssa Bonfiglio e collaboratori di descrivere un complesso faunistico (Complesso a *P. falconeri*, appunto) di riferimento nella datazione delle associazioni a vertebrati continentali della Sicilia. Quest'associazione, caratterizzata da una scarsa diversità di mammiferi con molte specie endemiche e da un'avifauna diversificata, indica come le isole dell'arcipelago siciliano fossero ampiamente separate dalle vicine aree continentali con cui le connessioni erano difficili e sporadiche; il clima era simile o poco più caldo rispetto a quello attuale e l'ambiente costiero era ricco di pozze d'acqua e laghi (Fig. 15).

Le antiche popolazioni della Sicilia immaginarono che i crani fossili di elefante appartenessero ai ciclopi. La questione affascinò il paleontologo austriaco Othenio Abel che fu il primo studioso a segnalare il mito, ispirato indubbiamente dalle dimensioni del cranio di questi elefanti nani di poco superiori a quella degli esseri umani, e dalla presenza nella sua parte anteriore della cavità anteriore che ospita la proboscide, considerata come la sede dell'unico occhio di queste creature mitologiche.

CONCLUSIONI

La Sicilia è un territorio che documenta nel corso delle ere geologiche variazioni paleogeografiche e climatiche e il susseguirsi di svariati paleoambienti sia marini, sia continentali popolati da associazioni di organismi diversi e molto significativi. Quanto descritto non rappresenta che una piccola parte del patrimonio paleontologico siciliano fra le moltissime località fossilifere degne di essere citate e che consentono di ricostruire sempre più dettagliatamente la sua evoluzione e di fornire nuovi tasselli per tracciare la storia del Mediterraneo. A buona ragione la Sicilia può considerarsi un museo a cielo aperto dove innumerevoli itinerari portano a scoprire scenari affascinanti della storia geologica e tesori di paleobiodiversità.

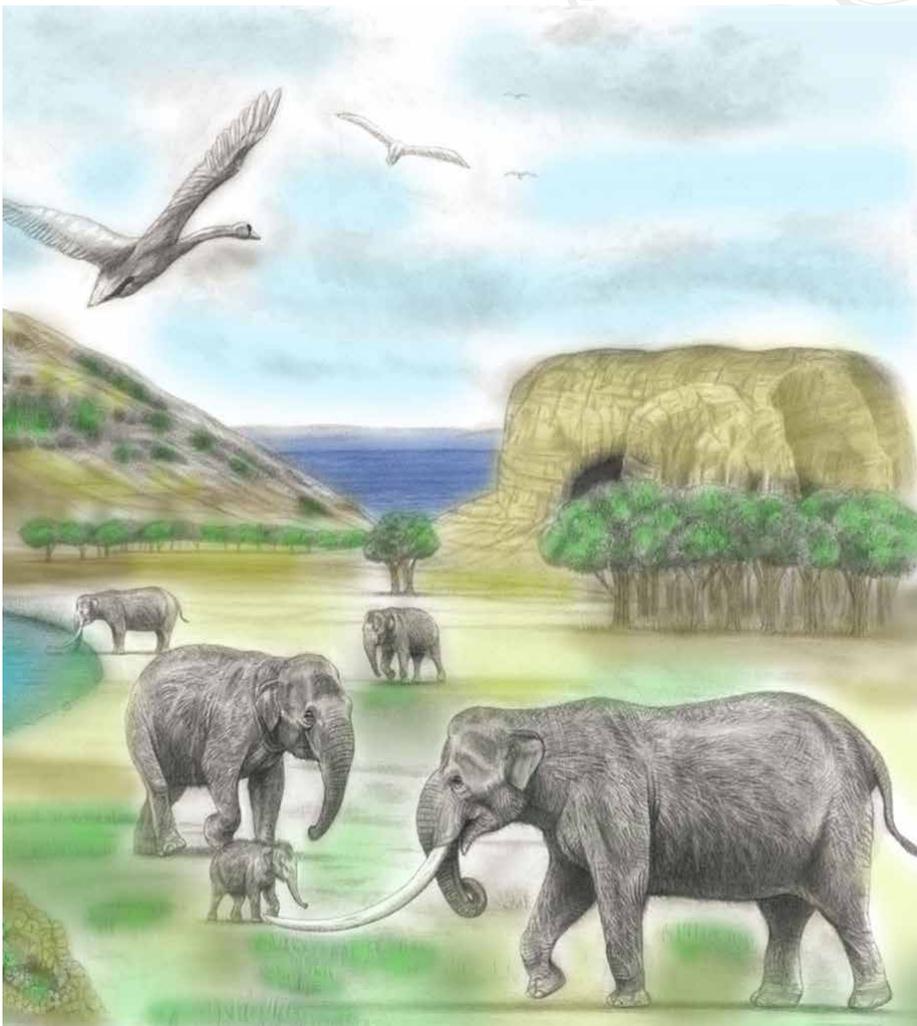


Fig. 15 - Ricostruzione del paleoambiente di Spinagallo con elefanti pigmei e cigni giganti. Sullo sfondo la grotta. (modificato da Larramendi & Palombo, 2015).

BIBLIOGRAFIA

Accordi B. & Colacicchi R. (1962). *TExcavations in the pygmy elephant's cave of Spinagallo (Siracusa).* Geologica Romana 1, 217-230.

Bonfiglio L. & Burgio E. (1992). *Significato paleoambientale e cronologico delle mammalofaune pleistoceniche della Sicilia in relazione all'evoluzione paleogeografica.* Il Quaternario, 5(2), 223-234.

Bonfiglio L., Marra C., Masini F., Pavia M. & Petruso D. (2002). *Pleistocene faunas of Sicily: a review.* In: Waldren W.H. & Ensenyat J.A. World Island in Prehistory, International Insular Investigations, V International Conference of Prehistory. 428-436.

Catalano R., Di Stefano P. & Kozur H. (1988). *New results in the Permian and Triassic stratigraphy of western Sicily with special reference to the section at Torrente San Calogero SW of the Pietra di Salomone (Sosio Valley).* Atti 74th Congresso della Società Geologica Italiana A: 126-135.

Catalano R., Di Stefano P. & Kozur H. (1991). *Permian circumpacific deep-water faunas from the western Tethys (Sicily, Italy), new evidences for the position of the Permian Tethys.* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 87, 75-108.

Colacicchi R. (1960). *Squalodon bariensis nel calcare bituminoso miocenico di Ragusa (Sicilia).* Bollettino della Società Paleontologica Italiana, 1, 17-32.

Di Geronimo I., Di Geronimo R., La Perna R., Rosso A. & Sanfilippo R. (2000). *Cooling evidences from Pleistocene shelf assemblages in SE Sicily.* In: Hart H.B. (Ed.) *Climates: past and present*, Geological Society of London, Special Publications, 181, 113-120.

Flügel E., Di Stefano P. & Senowbari-Oaryan B. (1991). *Microfacies and depositional structure of allochthonous carbonate base-of-slope deposits: The Late Permian Pietra di Salomone megablock, Sosio Valley (western Sicily).* Facies, 25, 147-186.

Gemmellaro G.G. (1887-88-90). *La Fauna dei calcari con Fusulina della valle del fiume Sosio nella Provincia di Palermo, Fasc. 1-2. Cephalopoda, Ammonoidea, Nautioidea, Gastropoda.* Giornale di Scienze Naturali ed Economiche di Palermo, 19, 1-106; 20, 1-26, 97-182.

Gaudant J., Caulet J.P., Di Geronimo I., Di Stefano A., Fourtanier E., Romeo M. & Vénec-Peyré M.-T. (1996). *Analyse séquentielle d'un nouveau gisement de poissons fossiles du Messinien marin diatomitique: Masseria il Salto près de Caltagirone (Province de Catane, Sicile).* Géologie Méditerranéenne, 23(2), 117-153.

Grasso M. & Pedley H.M. (1989). *Palaeoenvironment of the upper Miocene coral build-ups along the northern margins of the Caltanissetta Basin (central Sicily).* Atti del 3° Simposio di Ecologia e paleoecologia delle comunità bentoniche. Catania-Taormina, 12-16 Ottobre 1985, pp. 373-389.

Larramendi A. & Palombo M.R. (2015). *Body Size, Biology and Encephalization Quotient of Palaeoloxodon ex gr. P. falconeri from Spinagallo Cave (Hyblean plateau, Sicily).* Hystrix, 26(2): 102-109.

Matteucci R., Schiavinotto F., Sirna G. & Russo A. (1982). *Palaeoenvironmental significance of Maastrichtian biological communities in the Pachino area (Sicily) and preliminary data on their distribution in the Mediterranean Upper Cretaceous.* In: Montanaro-Gallitelli E. (Ed.): *Proceedings of the First International Meeting on "Paleontology, essential of Historical Geology"*, Modena, 77-96.

Montanari L. (2004). *Geologica Sicula - un intreccio tra Rocce e Storia.* ARPA Sicilia, Studi e Ricerche, 1-151.

Sanfilippo R., Rosso A., Reitano A., & Insacco G. (2017). *First record of sabellid and serpulid polychaetes from the Permian of Sicily.* Acta Paleontologica, Polonica 62, 25-38.



Associazione Italiana PER LO STUDIO DEL QUATERNARIO

a cura di **Eleonora Regattieri**

 Pagina web: www.aiqua.it

Il 2021 è iniziato nella speranza di poter organizzare attività ed eventi non solamente virtuali. L'AIQUA per il 2021 sta organizzando una serie di escursioni tematiche in varie regioni. Il programma verrà reso noto a breve, augurandoci che la situazione pandemica consenta di spostarsi liberamente ed in sicurezza.

In attesa di poterci incontrare nuovamente in campagna od a convegni, l'AIQUA propone un **Ciclo di seminari virtuali**.

AIQUA SCIENTIFIC VIRTUAL TOURS

Seminari programmati da Febbraio a Giugno in preparazione al Congresso INQUA che si terrà a Roma nel 2023.

Ulteriori informazioni sul sito web di AIQUA ed i canali social.

Per contatti:

Lucilla.capotondi@bo.ismar.cnr.it



Roberta Guastella

Università di Pavia



L'invasione di specie aliene e il riscaldamento climatico: due aspetti che stanno cambiando il Mediterraneo



23 FEBBRAIO 2021



17:00



<https://global.gotomeeting.com/join/389954293>



Costanza Del Gobbo

Università di Trieste



Utilizzo del RegCM4 per la ricostruzione di circolazione atmosferica, precipitazioni e campi di temperatura sul ghiacciaio del Tagliamento a 21 ka BP



23 MARZO 2021



17:00



<https://global.gotomeeting.com/join/194214005>



Giuseppe Suaria

CNR-ISMAR



Le macro e microplastiche in ambiente marino: un inquinamento da approfondire



27 APRILE 2021



17:00



<https://global.gotomeeting.com/join/194214005>



Michele Brunetti

CNR-ISAC



I dati strumentali a servizio dei proxy: come ricostruire l'informazione climatica corretta per una corretta calibrazione



25 MAGGIO 2021



17:00



<https://global.gotomeeting.com/join/720623509>



Federica Badino

Università di Bologna



Registrazione di gradienti ecoclimatici terrestri nelle serie microbotaniche submillenarie dell'ultimo periodo glaciale



15 GIUGNO 2021



17:00



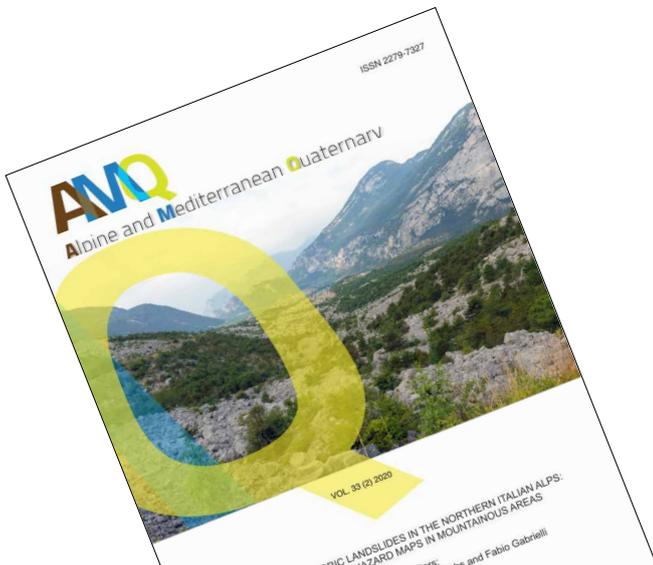
<https://global.gotomeeting.com/join/764856933>



Società GEOCHIMICA Italiana

a cura di Enrico Dinelli e Orlando Vaselli

 Pagina web: www.societageochemica.it



AMQ SI RINNOVA!

“*Alpine and Mediterranean Quaternary*”, la rivista dell’AIQUA, pubblica ricerche originali e di revisione, riguardanti il Quaternario che includono la storia, il clima e la biodiversità, i cambiamenti relativi del livello del mare, le interazioni umane-ambiente, l’impatto delle antiche civiltà e l’evoluzione delle regioni circostanti il bacino del Mediterraneo, le montagne ed i bacini alpino-himalayani, del Medio Oriente e del Nord Africa. Sono ben accette anche ricerche che trattano di prospettive geografiche più ampie e di processi globali.

Dieci (buone) ragioni per scegliere AMQ:

1. Pubblicazione totalmente gratuita, nessuna spesa per figure a colori.
2. Possibilità di archiviare supplementary material sul sito AMQ.
3. Totalmente Open Access, in attesa di riconoscimento DOAJ.
4. Indicizzato su SCOPUS, miglior quartile per Archeology, ed in attesa di indicizzazione WOS.
5. Due numeri l’anno cartacei, ma pubblicazione *on-line* subito dopo l’accettazione.
6. Nuovo *Editorial Board*: Una nuova squadra, con competenze differenziate e rappresentativa delle diverse commissioni tematiche di INQUA (Uomo e Biosfera, Paleoclimi, Stiggrafia e Cronologia, Processi e depositi terrestri, Processi costieri e marini).
7. *Peer-review* di qualità e costruttive, soprattutto per i giovani ricercatori, grazie al nuovo *Advisory Board*, scelto per abbracciare tutte le tematiche riguardanti lo studio del Quaternario
8. Un nuovo sistema di sottomissione *on-line* OJS e un nuovo *Technical Board*.
9. Un’alternativa alle grandi case editrici scientifiche internazionali, ed un modo per far parte della comunità Italiana del Quaternario.
10. Possibilità di proporre e dirigere volumi speciali.



Alpine and Mediterranean Quaternary

 www.amq.aiqua.it

 Per comunicazioni amq@aiqua.it

Finalmente le attività della Società Geochimica Italiana sembrano poter ripartire. L’Assemblea Generale dei Soci, tenutasi in via telematica il 22 Dicembre 2020, ha visto una nutrita e sentita partecipazione, testimonianza di un entusiasmo e di una passione che da sempre caratterizzano la nostra piccola comunità nonostante un 2020 unico nella nostra storia recente. Molte le idee e le proposte per il prossimo futuro scaturite in occasione dell’adunanza dei nostri “resilienti” Soci.

Innanzitutto, segnaliamo che in occasione del **90° Congresso della Società Geologica Italiana** – “*Geology without borders*” (www.geoscienze.org/trieste2020) previsto per Settembre 2021, la Società Geochimica Italiana patrocinerà la sessione **Geopollutants**, incentrata sull’origine e le sorti di contaminanti naturali ed antropogenici nei diversi comparti geologici e sulla valutazione del rischio ad essi associato. La sessione sarà presieduta dai nostri Soci **Barbara Nisi, Jacopo Cabassi** ed **Alessandro Acquavita**. Se confermato in presenza nella meravigliosa cornice di Trieste, la So.Ge.I. sarà presente con uno stand informativo... vi invitiamo a farci visita!

Nel frattempo, la So.Ge.I. è lieta di annunciare un calendario di *webinar* dal titolo “*What geochemistry tells us? From karst regions to active volcanoes and beyond*”. I seminari, tenuti da ricercatori della comunità geochimica internazionale, si focalizzeranno su varie tematiche geochimiche, dai vulcani ai sistemi carsici, e sull’interazione della geochimica con altre discipline scientifiche, come la geomicrobiologia e la tettonica. Gli eventi *online*, con cadenza settimanale dal 22 Febbraio fino al 6 Giugno 2021, avranno una durata di 40 minuti, con 10 minuti di discussione al termine di ogni intervento. Il ciclo di *webinar*, rivolto a studenti di corsi di Laurea Magistrale e studenti di Dottorato, è organizzato dalla *Babeş-Bolyai University* in collaborazione con la So.Ge.I.

La So.Ge.I. è felice di patrocinare il “**Be Geo Scientists 2021: 1° Congresso Nazionale dei Giovani Geoscientisti**” organizzato, dal 3 al 6 Giugno 2021, dal Dipartimento di Scienze della Terra, dell’Ambiente e delle Risorse (DiSTAR) dell’Università degli Studi di Napoli Federico II. L’evento riunirà laureandi, dottorandi e *PostDoc* in un contesto multidisciplinare che coinvolgerà la



Fig. 1 - Copertine dei primi 4 numeri della newsletter della So.Ge.I. *Geochem Newsletter* usciti nel 2020.

comunità scientifica, gli enti e gli ordini professionali gravitanti intorno alle Scienze della Terra. Maggiori informazioni sul sito *web* dell'evento (www.begeos.it). Dal 14 al 18 Giugno 2021, si terrà a Villa del Grumello (www.villadelgrumello.it), sul Lago di Como, la *Lake Como International Summer School "Principles, Applications and New Frontiers in Isotope Geochemistry"*, patrocinata dalla So.Ge.I. e rivolta a dottorandi e *PostDoc*. La *Summer School* è organizzata dal Dipartimento di Scienze della Terra "A. Desio" di Milano e dalla *Lake Como International School* nell'ambito del progetto Dipartimenti di Eccellenza 2018-22 e vede la partecipazione, in veste di organizzatore, del Socio **Massimo Tiepolo**. Il numero massimo di partecipanti è di 45 persone, salvo restrizioni connesse all'evoluzione della situazione epidemiologica. Non sono previsti costi di iscrizione, ma la scadenza per la

manifestazione di interesse è fissata al 15 Marzo 2021. Si invitano gli interessati a consultare il sito *web* della Scuola (<https://paig.lakecomoschool.org>). Per il 2021 sono previste due importanti iniziative per dare nuova linfa vitale alla So.Ge.I., promuovendo lo scambio culturale con associazioni che condividono la nostra stessa *mission* a livello internazionale, ampliando le opportunità di promozione delle attività dei Soci e le occasioni di divulgazione della geochimica e delle sue applicazioni. La prima iniziativa, "*So.Ge.I. goes International!*", vedrà il lancio del sito *web* (www.societageochemica.it) in versione Inglese, a cui farà seguito la conversione, sempre in lingua Inglese, dell'ormai consolidato periodico trimestrale *Geochem Newsletter* (Fig. 1). Al lavoro, una commissione composta dai Soci **Artur Ionescu** e **Dmitri Rouwet**, insieme al

Presidente **Orlando Vaselli**, al Segretario **Marino Vetusch Zuccolini** e alla *Webmaster* **Stefania Venturi**. La seconda iniziativa, "*So. Ge.I. goes Social!*", avrà un obiettivo ancora più ambizioso: traghettare la So.Ge.I. nel mare del *web 2.0* con l'attivazione dei canali *social* *Facebook*, *Instagram* e *Twitter*, che si affiancheranno alla pagina *LinkedIn* della Società (<https://it.linkedin.com/company/societageochemicaitaliana>). Il gruppo di lavoro per i *Social Networks*, composto dai nostri giovani Soci **Roberto Buccione**, **Jacopo Cabassi**, **Artur Ionescu**, **Monia Procesi**, **Giovanni Vespasiano** e **Stefania Venturi**, è già all'opera!

In queste settimane, il Consiglio di Presidenza della So.Ge.I. sta valutando la possibilità di svolgere la tradizionale *Scuola "CAMGEO"* in presenza o *dual-mode*, in funzione dell'evoluzione del quadro sanitario, per l'estate 2021! Analogamente, si stanno riunendo i Comitati Organizzatori della "*Etna International Training School of Geochemistry: Science meets practice*" e dello "*Stage su tecniche di campionamento e misure in situ di gas vulcanici (Isola di Vulcano)*". Vi invitiamo a seguire il sito della Società Geochimica Italiana per aggiornamenti! Ma la programmazione per il 2021 non si esaurisce qui. Infatti, a grande richiesta, il prossimo anno vedrà la nascita del **Primo Congresso della Società Geochimica Italiana**. Il Congresso sarà organizzato in tre giornate, ciascuna dedicata ad uno specifico tema, e si svolgerà nel Febbraio 2022. Maggiori informazioni in primavera!

a cura di *Stefania Venturi* e *Orlando Vaselli*



Associazione Nazionale INSEGNANTI SCIENZE NATURALI

a cura di Susanna Occhipinti

 Pagina web: www.anisn.it/nuovosito

A INTEGRAZIONE DEL PERCORSO FORMATIVO SARANNO PROPOSTI ALCUNI WEBINAR TEMATICI:



Webinar:

- Agenda 2030 e sostenibilità
- Vita in condizioni estreme nello Spazio
- La robotica nello Spazio
- Diritto aerospaziale



Viaggio virtuale:

- Museo di Scienze Planetarie di Prato

IL CORSO SI SVOLGERÀ SUI SEGUENTI TEMI:



Stato dell'arte ESERO Italia Progetti ESA/ASI in corso Proposte formative per i docenti.

Attività didattiche su materiali ESA: Astrofood.



IBSE in azione: analisi, confronto e riflessione sulle attività.

Attività didattiche su materiali ESA: Tuta spaziale.



Pillole di scienza: Martino e l'esplorazione di Marte.

Attività didattiche su materiali ESA: Braccio robotico.



Pillole di scienza: l'esplorazione spaziale verso la Luna. Il programma Artemis.

Attività didattiche su materiali ESA: Una Costituzione per la Luna.



Critical thinking e attività di Debate.

Attività didattiche su materiali ESA: Una Costituzione per la Luna.



Il tutor e la gestione dei gruppi di lavoro.

Lavoro di gruppo sulle risorse ESERO: trasferibilità delle proposte e attività nel curriculum.

SCUOLA TUTOR ESERO 2021 PROGETTO SPATIO

ANISN intende organizzare, in collaborazione con ESA, l'European Space Agency e con ASI, l'Agenzia Spaziale Italiana, e con il patrocinio del MIUR la Scuola per i Tutor ESERO 2021, con l'obiettivo di rafforzare la comunità didattica consolidata negli anni precedenti e migliorare le conoscenze dei partecipanti. Gli incontri, oltre all'illustrazione della specifica tematica, proporranno brevi attività utilizzando diverse strategie didattiche. Questa formazione è indirizzata ai soli Tutor ESERO e servirà anche per la definizione e organizzazione degli incontri di formazione destinati ai docenti, con lo scopo di far crescere anche nei prossimi anni la comunità didattica che partecipa ai progetti ESERO.

Lo scopo della Scuola è infatti quello di:

- Far conoscere le nuove risorse didattiche ESERO, individuando le possibili connessioni con i curricula scolastici.
- Ampliare le conoscenze sulle tematiche direttamente e indirettamente connesse allo Spazio, quali i cambiamenti climatici, le missioni spaziali e la robotica spaziale.

Guidare nell'organizzazione di *workshop* e interventi formativi sulle tematiche dello Spazio.

Date e modalità verranno definite prossimamente e pubblicate sul sito www.anisn.it/nuovosito.





Associazione Italiana DI VULCANOLOGIA

a cura di **Eugenio Nicotra**

 Pagina web: <https://www.aivulc.it/it/>

Lettera dal NUOVO PRESIDENTE AIV



Care Socie e cari Soci,

nel corso dell'anno che ci siamo lasciati alle spalle abbiamo rivoluzionato in maniera profonda le nostre abitudini e stili di vita. Anche le attività della nostra Associazione, incentrate prevalentemente su momenti votati alla socializzazione, formazione e divulgazione della cultura vulcanologica in presenza, hanno subito un inevitabile rallentamento,

sebbene non si siano mai completamente fermate. L'auspicio è quello di poterci liberare al più presto, e definitivamente, dalle molteplici limitazioni che hanno travolto la nostra quotidianità, tornando dunque a dar spazio incondizionatamente anche alle nostre attività sociali. Ed è proprio con questa speranza che oggi desidero incominciare il mio mandato di Presidente dell'AIV.

Nel corso dell'assemblea svoltasi il 22 Gennaio 2021 è emersa con forza la volontà da parte di tutti i soci di pianificare nuovamente già per il 2021, dopo un anno di stop, i principali eventi che fanno da cardine alle nostre attività, ovvero la Scuola di Vulcanologia "Bruno Capaccioni" di Bolsena, dedicata alla formazione degli studenti più giovani, la Scuola Internazionale di Vulcanologia di Stromboli, organizzata in collaborazione con la *Volcanological Society of Japan* e l'Università di Clermont Ferrand e dedicata a studenti di dottorato, *post-doc* e giovani ricercatori, nonché la Conferenza "A. Rittmann" dedicata ai vulcanologi più giovani. Tra le attività cui vogliamo iniziare a pensare, si aggiunge senza dubbio anche la quinta edizione della Conferenza A. Rittmann (l'ultima tenutasi a Catania il 12-14 Febbraio 2020, proprio pochi giorni prima che entrassimo nella crisi pandemica), che potrebbe invece trovar giusta collocazione auspicabilmente nel corso del 2022.

Idee e buoni propositi dunque non mancano, attendiamo con ancora un po' di pazienza la venuta di tempi migliori. Il mio pensiero è per il momento rivolto a chi sta vivendo, più duramente di altri, le conseguenze della pandemia.

Prof. Marco Viccaro
Presidente dell'AIV 2021-2023

Rinnovo

CONSIGLIO DIRETTIVO AIV

Il 22 Gennaio 2021 l'Associazione Italiana di Vulcanologia si è riunita in via telematica per l'Assemblea Ordinaria dei Soci. Tra i vari punti all'ordine del giorno vi è stato il rinnovo del Consiglio Direttivo dell'associazione, essendo giunti a scadenza del mandato triennale sia il Presidente che i 6 Consiglieri.

I nuovi componenti del Consiglio Direttivo AIV, votati per via telematica, sono:

PRESIDENTE AIV

 **Marco Viccaro**
Università di Catania

CONSIGLIERE AIV

 **Paola Del Carlo**
INGV-PI

 **Gianfilippo De Astis**
INGV-OE

 **Sandro De Vita**
INGV-OV

 **Paola Donato**
Università della Calabria

 **Daniela Mele**
Università di Bari

 **Alessandro Vona**
Università Roma Tre

Il nuovo Consiglio Direttivo ringrazia, a nome di tutta l'AIV, Guido Giordano, Federico Lucchi ed Eugenio Nicotra per il lavoro svolto durante questi 6 anni di mandato, rispettivamente come Presidente, Vice-Presidente e Segretario, certi che il loro impegno associativo continuerà ancora per lungo tempo.

Premio Tesi di Laurea

"B. CAPACCIONI – LA MIA TESI A DISTANZA"

A seguito dell'emergenza COVID-19, che ha visto molti studenti laurearsi "a distanza" senza poter festeggiare con il consueto corteo di parenti ed amici, l'Associazione Italiana di Vulcanologia (AIV) ha svolto un concorso per l'assegnazione di un Premio di Laurea per studenti che abbiano discusso una Tesi Magistrale in Vulcanologia nelle sessioni comprese tra Febbraio e Luglio 2020. Per ogni tesi sono stati valutati l'originalità della ricerca, il contenuto scientifico innovativo che essa apporta e il voto di laurea finale. La Commissione di valutazione, composta da Sandro De Vita, Mauro Antonio Di Vito e Paola Donato, analizzate le 9 domande pervenute, ha conferito il Premio di Laurea "B. Capaccioni – La mia Tesi a distanza" alla Dott.ssa Chiara Vigiani, laureatasi con 110 e lode presso l'Università di Firenze, relatore Prof. R. Cioni, alla quale viene conferita una somma di € 500 a titolo di borsa di studio.



Chiara VIGIANI

A seguito del diploma di maturità scientifica, CV ha intrapreso studi relativi alle Scienze della Terra conseguendo una laurea triennale in Scienze geologiche e magistrale in Scienze e Tecnologie geologiche presso l'Università degli Studi di Firenze, con specializzazione in Vulcanologia. Attualmente, CV è iscritta ad un *Master* di II Livello in Geotecnologie Ambientali presso l'Università degli Studi di Siena.

Con il lavoro di tesi magistrale, dal titolo "Dinamica di risalita e tassi di decompressione di eruzioni Pliniane: confronto tra dati sperimentali e simulazioni numeriche", sono stati applicati modelli numerici e sperimentali per la modellizzazione della dinamica eruttiva che mi hanno consentito di acquisire ulteriori conoscenze nell'ambito della fisica del vulcanismo. Questo ha permesso di comprendere maggiormente il significato fisico e la variabilità del tasso di decompressione acquisito dal magma durante il processo di risalita, a partire da indagini tessiturali condotte su pomici.

Premio Tesi di Dottorato AIV 2020

L'AIV ha inoltre bandito un concorso per l'assegnazione di un premio per un Dottore di Ricerca che abbia discusso una tesi su tematiche inerenti la Vulcanologia. Per ogni tesi sono stati valutati l'originalità della ricerca e il contenuto scientifico innovativo che essa apporta. Sarà inoltre tenuto conto del *curriculum vitae et studiorum* dei partecipanti.

La Commissione di valutazione, composta da Sandro De Vita, Mauro Antonio Di Vito e Paola Donato, dopo aver analizzato le 4 domande pervenute, ha conferito il Premio Tesi di Dottorato AIV 2020 al Dr. **Federico Galetto**, il quale ha discusso presso l'Università di Roma Tre una Tesi di Dottorato dal titolo "*Recent volcano-tectonic evolution of the western Galapagos*", tutor Prof. V. Acocella. Al Dr. Federico Galetto viene conferita una somma di € 1000 a titolo di borsa di studio.



Federico Galetto

Federico Galetto, nato a Roma, si è laureato in geologia presso l'Università degli Studi di Roma Tre con una tesi sui modelli di risorgenza magmatica. Ha conseguito presso la stessa Università anche il suo Dottorato di Ricerca, sotto la supervisione del Prof. V. Acocella, con una tesi sugli episodi di *unrest* magmatico occorsi nelle caldere delle Galápagos. I suoi principali campi di ricerca sono: studio dei processi deformativi a breve e lungo termine nei sistemi calderici, analisi dei segnali pre-eruttivi, propagazione di dicci, usando dati satellitari (InSAR), modelli di inversione geodetica e modelli analogici. Queste ricerche sono culminate nella pubblicazione di tre articoli scientifici su riviste internazionali. Attualmente ha appena iniziato un *post-dottorato* presso la Cornell University dove lavora su due progetti: telerilevamento delle ceneri vulcaniche, nell'ambito di un progetto per la stima dell'impatto delle ceneri vulcaniche sul clima, e analisi dei segnali pre-eruttivi.



Società PALEONTOLOGICA Italiana

a cura di Lucia Angiolini

 Pagina web: www.paleoitalia.it

La Società Paleontologica Italiana nella "LA TUTELA E GESTIONE DEI FOSSILI COME BENI CULTURALI"

La legislazione sul bene paleontologico è da tempo al centro di un vivace confronto tra professionisti della ricerca, appassionati e organi istituzionali. Il tema al cuore della discussione è tanto immediato quanto articolato: come si può conciliare l'esigenza di tutelare il ricco patrimonio paleontologico della nostra penisola garantendone al contempo una fruizione funzionale alle diverse istanze della ricerca, dello studio e della valorizzazione?

La comunità paleontologica, così come i rappresentanti degli organi di gestione e tutela, si è negli ultimi anni più volte espressa mettendo in evidenza i pregi dell'attuale strumento legislativo [che fa riferimento al Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (L. 42/2004)], ma anche evidenziandone i limiti.

A partire dal 2017 i Consigli Direttivi, che si sono succeduti alla guida della Società Paleontologica Italiana (SPI), si sono occupati attivamente della questione intensificando il dialogo con il Ministero per i Beni e le Attività Culturali e per il Turismo (MiBACT), grazie ad incontri ad hoc tra rappresentanti SPI e funzionari della Direzione Generale Archeologia presso il MiBACT. Sono stati organizzati importanti eventi di confronto – come la Tavola Rotonda "Legislazione in materia di beni paleontologici in Italia" (Trento 2018), il Convegno "La conservazione dei beni paleontologici. Stato dell'arte e aspetti da valorizzare" (Firenze 2019) e la Tavola Rotonda "Legislazione, tutela e gestione dei Beni Paleontologici in Italia" (Benevento 2019).

Per l'interessato è disponibile una ricca ed aggiornata bibliografia; si segnalano in particolare gli atti delle relazioni degli eventi sopracitati pubblicati sul sito e sui social della SPI (www.paleoitalia.it) nonché i recenti contributi pubblicati sulla rivista *Museologia Scientifica* (Martinetto et al., 2018, n. 12, p. 71-81; Cioppi et al., 2020, n. 14, p. 103-112) e il sintetico resoconto a firma degli scriventi sul primo numero di *GeologicaMente* (p. 47-48).

I più recenti sviluppi del dialogo in corso con il MiBACT mostrano una rapida evoluzione verso la soluzione delle più controverse questioni riguardanti in particolare la definizione di bene paleontologico (da cui ha origine una parte importante delle attuali difficoltà di applicazione della L. 42/04) e il reclutamento di personale con competenze adeguate a gestire il bene paleontologico in seno alle Soprintendenze Archeologia, Belle Arti e Paesaggio, cui spetta la tutela e gestione dei beni.

Ad un incontro tra i rappresentanti del Consiglio Direttivo SPI e il Capo di Gabinetto del MiBACT, avvenuto lo scorso giugno 2020, ha fatto seguito l'inserimento nel prossimo Decreto Organici (ora alla firma) del profilo del funzionario paleontologo negli organici delle

Soprintendenze, da reclutare urgentemente con i primi bandi in uscita per la selezione di funzionari MiBACT. Quasi contemporaneamente è avvenuta la formalizzazione di un nuovo Gruppo di Lavoro che predisponga linee guida e soluzioni operative per il riconoscimento e la tutela delle cose di interesse paleontologico, costituito da funzionari ministeriali (Elena Calandra, Andrea Pessina, Valeria Acconcia, Federica Pitzalis, Ursula Wierer, Maria Adelaide Rossi) che potranno avvalersi della consulenza della SPI in virtù delle sue specifiche competenze.

Se da un lato il reclutamento dei funzionari paleontologi MiBACT presso le Soprintendenze potrà contribuire a risolvere i problemi di gestione e tutela dei beni paleontologici dall'altro l'istituzione di questa nuova commissione potrà portare alla definizione di linee guida per interventi specifici in campo paleontologico e all'elaborazione di criteri per la tutela dei fossili come beni culturali, colmando una lacuna venutasi a creare quasi vent'anni fa, con la decadenza della cosiddetta Circolare STRAP (63/1999).

Il compito della SPI sarà dunque quello di collaborare strettamente con il sopra citato Gruppo di Lavoro e con i neofunzionari paleontologi, attivando le proprie competenze per tutelare al meglio "le cose che interessano la paleontologia" e, al contempo, sostenere la ricerca e lo studio dei fossili da parte dei paleontologi e degli appassionati della materia al fine di approssimare l'ottimale equilibrio tra tutela e fruizione.

Il Consiglio Direttivo della Società Paleontologica Italiana

Lucia Angiolini, Massimo Bernardi, Fabio Bona, Cinzia Bottini, Giorgio Carnevale, Marco Chiari, Gaia Crippa, Annalisa Ferretti, Rossana Sanfilippo, Raffaele Sardella.



Associazione PALEONTOLOGICA PALEOARTISTICA Italiana

a cura di Anna Giamborino

 Pagina web: www.paleoappi.it

AGENDA 2021 *Mostre ed esposizioni*

Come già anticipato nei precedenti numeri, tra le attività dell'Associazione Paleontologica APPI vi sono l'ideazione e l'organizzazione di eventi a carattere divulgativo destinati al pubblico, tra cui mostre ed esposizioni. Ne è un esempio *L'Impero dei Dinosauri*, il progetto divulgativo che l'Associazione Paleontologica A.P.P.I. ha ideato in collaborazione con il Museo Orto Botanico di Roma - Dipartimento di Biologia Ambientale (Università di Roma La Sapienza), la cui inaugurazione era prevista per lo scorso dicembre.

Purtroppo, la situazione sanitaria nazionale ha imposto molte limitazioni e chiusure a diversi settori, tra cui le realtà che si occupano di iniziative di carattere culturale, come mostre e musei, le cui attività lavorative sono legate alla presenza di pubblico. Per questo motivo,

le aperture di molte mostre ed esposizioni sono state spostate o programmate dopo la primavera 2021. Tra le iniziative rimandate rientra anche il progetto "*L'Impero dei Dinosauri*", riprogrammato nel periodo ottobre-novembre di quest'anno.



Liopleurodon ferox. A. Pirondini.

Sempre in collaborazione con il Museo Orto Botanico di Roma, nel periodo marzo - maggio, è prevista l'apertura del nuovo percorso didattico *PaleoAquarium - Jurassic Sea Monster*. L'evento, *spin-off* del progetto che si svolgerà in autunno, vuole rappresentare un'anticipazione di alcuni degli argomenti che saranno presentati al pubblico.

Gestita con ingressi contingentati, in ottemperanza alle norme sanitarie vigenti, punto forte dell'esposizione saranno le ricostruzioni degli animali

acquatici del passato (rigorosamente a grandezza naturale), alcune delle quali hanno ispirato famose leggende, e le evocative ricostruzioni iconografiche che accompagnano il percorso e che testimoniano la ricchezza della vita marina preistorica, richiamando immediatamente un mondo perduto e misterioso in cui l'uomo non c'era.

Seppur focalizzato sull'Era Mesozoica o, come viene anche detta, "Era dei Rettili", poiché dominata da questo gruppo di vertebrati in tutti gli ambienti, nell'allestimento le specie esposte



Cameroceras trentonense. A. Pirondini.

rappresentano varie linee evolutive di animali marini estinti, sia vertebrati sia invertebrati, anche molto lontane tra loro. Completa il percorso una sezione con la “Carta d’Italia”, in cui sono segnalati i più famosi ritrovamenti di specie marine estinte nel nostro Paese. Si tratta di un percorso dal carattere fortemente divulgativo che fa del connubio tra **Scienza e Arte** il suo fiore all’occhiello.

Il Museo dell’Orto Botanico, che ospita oltre 3000 specie vegetali, ha funzioni didattiche di educazione ambientale e di ricerca scientifica, ed è sede di ricerche altamente specializzate sull’ecologia dell’ambiente urbano.

La collaborazione tra Orto Botanico e Associazione APPI nasce innanzitutto dalla piena condivisione delle rispettive finalità istituzionali. Tra gli elementi prioritari fondanti del progetto mostra vi è, infatti, quello di mettere in luce le realtà istituzionali e associative locali che operano sul territorio e di offrire buona divulgazione scientifica, in modo da rendere i contenuti accessibili a tutti, senza banalizzazioni, ma con il giusto appeal, indispensabile per suscitare curiosità nel pubblico.

Creata da un team interamente italiano con la consulenza di paleontologi professionisti in tutte le fasi di realizzazione, il percorso trasmette contenuti aggiornati ai continui progressi della ricerca nel settore. La formula di cultura-intrattenimento adottata vuole coinvolgere il pubblico e avvicinarlo all’ambiente degli addetti ai lavori, sottolineando il contributo degli scienziati e degli artisti all’affascinante lavoro di ricostruzione della Storia della Vita partendo dallo studio delle testimonianze fossili.

In questo progetto comune, l’Associazione Paleontologica APPI e il Museo dell’Orto Botanico trovano il modo di coniugare cultura e intrattenimento, scienza e arte, promuovendo con un allestimento integrato, una sorta di dialogo tra passato, presente e futuro presso il grande pubblico e la conoscenza di un luogo e di un’istituzione che riveste un ruolo fondamentale nella tutela e nella valorizzazione di un patrimonio di grande valore storico oltre che scientifico.

L’apertura del nuovo percorso didattico, prevista nel mese di marzo 2021, aprirà al pubblico in ottemperanza dei provvedimenti adottati dal Governo Italiano per contrastare l’emergenza Covid -19, pertanto consigliamo di consultare sempre i siti istituzionali:

-  www.web.uniroma1.it/ortobotanico
-  www.paleoappi.it (sezione mostre)
-  www.paleoaquarium.it



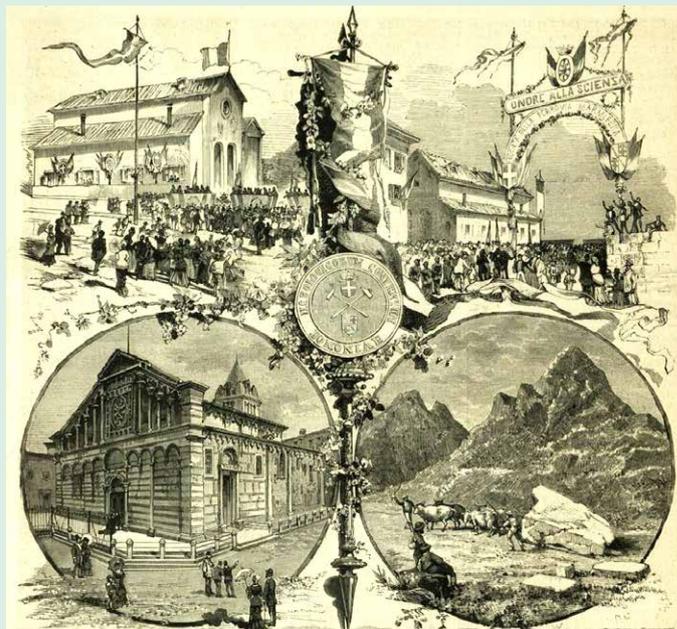
Sezione Storia delle GEOSCIENZE



Coordinatore: **Marco Pantaloni**

 Pagina web: www.socgeol.it/368/storia-delle-geoscienze.html

Le biografie dei Presidenti della SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA



“Il Congresso dei geologi a Bologna – Escursione a Carrara”, da Illustrazione Italiana, 30 ottobre 1881.

La Sezione di Storia delle Geoscienze ha tra i suoi obiettivi quello di completare le biografie dei Presidenti della Società Geologica Italiana, a partire dalla sua fondazione nel 1881, durante il II Congresso Internazionale di Geologia a Bologna, fino ad oggi.

Un compito non banale quello affidatoci dalla Presidenza, perché si tratta di ricercare, studiare e approfondire la carriera scientifica e la vita privata di 78 personaggi che hanno dato lustro ad una delle più antiche istituzioni scientifiche italiane.

Ad oggi sono state redatte le voci biografiche di oltre la metà dei Presidenti della Società; per alcuni si è reso necessario un lungo e complesso lavoro di sintesi di enormi quantità di informazioni raccolte e pubblicate su centinaia di riviste stampate in Italia o all’estero. Per altri, mancando elementi e informazioni sufficienti, si è cercato in archivi o in ambiti diversi dalla nostra disciplina. Una fonte di riferimento è sicuramente il Dizionario Biografico degli Italiani, edito dall’Istituto dell’Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani. Tale opera collettiva, dopo molte decadi, volge al termine

con la pubblicazione dell'ultimo volume dedicato alla lettera Z. Sin dalle prime voci c'è stato un rapporto osmotico tra le due Istituzioni: molti profili biografici di celebri geologi furono tracciati da altrettanto illustri scienziati afferenti alla Società Geologica. Tra coloro che in parallelo alla ricerca scientifica si occuparono di storia delle geoscienze va menzionato in primis Bruno Accordi.

In questo quadro, l'incarico ricevuto ha coinvolto nel lavoro di sintesi biografica sui Presidenti molti soci della Sezione. Ciascun redattore si è proposto o ha accolto l'invito ad occuparsi di uno o più personaggi, a cui è legato per affinità professionali o culturali. Ripercorrendo la carriera e la vita privata, sulla base degli articoli pubblicati in loro memoria e delle pubblicazioni scientifiche, si è talvolta stabilita lungo il percorso una sintonia elettiva del redattore con il personaggio, unita ad un profondo senso di rispetto per il suo percorso umano.

Dallo studio di queste biografie emerge una forte passione dei diversi personaggi per le scienze geologiche. La lettura del lato personale degli scienziati, poi, mette in evidenza una profonda dedizione all'insegnamento e spesso anche un'attitudine a preservare per le future generazioni il patrimonio culturale. Ciascuno di essi ha guidato e ispirato decine di studenti e ricercatori nei decenni a venire, creando nei vari atenei le specializzazioni disciplinari di cui si perpetua ancora oggi la tradizione. Ad oggi risultano pubblicate 41 schede sulla pagina web della Società Geologica Italiana visualizzabili al seguente link: <https://www.socgeol.it/383/presidenti.html>.

Questo il folto gruppo di redattori che sinora ha partecipato:

Alessio Argentieri (curatore), Massimiliano R. Barchi, Andrea Candela, Simonetta Cirilli, Roberto Colacicchi, Fabiana Console, Giorgio Vittorio Dal Piaz, Giovanni De Caterini, Simone Fabbi, Giulia Innamorati, Giusy Lavecchia, Marcello Manzoni, Stefano Marabini, Marco Menichetti, Giorgio Minelli, Marco Pantaloni (curatore), Antonio Praturlon, Marco Romano, Gian Battista Vai. Nel centenario della sua nascita, proponiamo una sintesi della biografia di Michele Deriu, che accende i riflettori su uno dei più significativi interpreti delle scienze geologiche e della petrografia del periodo 1950-80.



Il Presidente Michele Deriu apre i lavori del 67° Congresso della Società Geologica Italiana a Parma.

Michele DERIU

(Cagliari, 20 giugno 1921- Parma, 27 ottobre 1980)

Deriu nacque a Cagliari il 20 giugno 1921. Immatricolato alla Facoltà di Ingegneria a Cagliari nel 1939, venne arruolato fino al 1945 come Ufficiale di Artiglieria e impegnato nel Secondo Conflitto mondiale, al termine del quale riprese gli studi e si laureò nel 1949 in Ingegneria Mineraria con il massimo dei voti.

Intraprese la carriera universitaria come assistente alla Cattedra di Mineralogia presso l'Università di Cagliari dove nel biennio 1950-51 ottenne la Cattedra di Geochimica; concentrò le sue ricerche sulla conoscenza delle manifestazioni vulcaniche della Sardegna centro e nord-occidentale.

Nel 1952 si trasferì a Roma, dapprima come Assistente e poi Aiuto alla Cattedra di Petrografia del prof. Carlo Lauro. Divenne Professore ordinario ricevendo l'incarico di insegnamento per la Geografia Fisica dal 1956 al 1959 e poi per la Vulcanologia dal 1959 al 1961.

Nel 1961 venne chiamato nella sede di Parma, dove diresse gli Istituti di Petrografia e Giacimenti Minerari, il Laboratorio di Geotecnica e quello di Tecnologie Generali dei Materiali. Tenne gli insegnamenti di Geochimica, di Giacimenti Minerari, di Litologia e Geologia, assumendo la carica di Prorettore e infine quella di Preside della Facoltà di Scienze. Divenne anche Direttore del Museo di mineralogia, che arricchì di una prestigiosa litoteca. Fece parte del Comitato Geologico Regionale della Sardegna, del Comitato Geologico d'Italia e fu anche Presidente della Commissione di Vulcanologia. Fu Presidente della Società Geologica Italiana per il biennio 1973-74 e organizzò il 67° Congresso a Parma nell'ottobre del 1974 sull'evoluzione geodinamica del Mediterraneo.

Diresse le sezioni petrografiche di Parma per la Geologia dell'Appennino Settentrionale e il Gruppo di Ricerche Geologiche, Petrografiche, Mineralogiche e Giacimentologiche della Sardegna del CNR e seguì molti fogli della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000: Alghero e Macomer, Viterbo, Bracciano, Civitavecchia e Tuscania.

Entrò a far parte della Commissione Tecnico-Scientifica della Regione Emilia-Romagna, prospettando una sua intuitiva visione ecologista per la diminuzione del consumo del suolo definendolo "uso umano del suolo".

Venne descritto come un professore intransigente ed instancabile nel lavoro, di approccio non facile per i numerosi giovani che avviò alla ricerca, ma di cui divenne rapidamente mentore e consigliere anche per argomenti di carattere personale, accolti da una parola di conforto e di appoggio concreto. Il destino gli riservò momenti dolorosi, come la morte di sua figlia Marcella ancora molto piccola e nel 1978 quella della moglie Pina, a cui seguì la sua due anni dopo.

a cura di Fabiana Console

Sezione GEOLOGIA Himalayana



Coordinatore: Chiara Montomoli

Pagina web: www.socgeol.it/381/geologia-himalayana.html

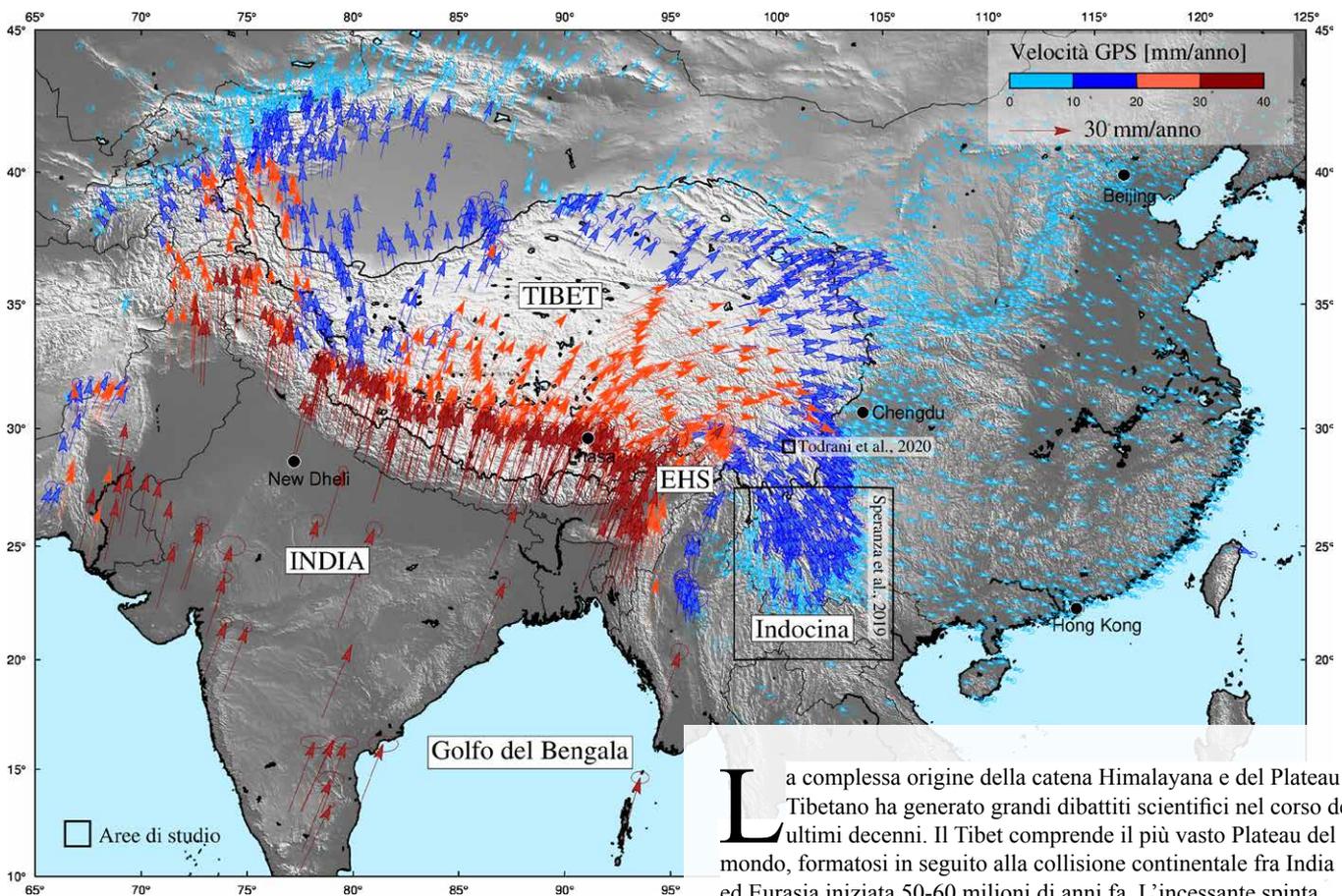


Fig. 1 - Mappa schematica dell'Asia sudorientale. Le frecce colorate riportano in funzione del colore la velocità GPS di ogni stazione in mm/anno.

La complessa origine della catena Himalayana e del Plateau Tibetano ha generato grandi dibattiti scientifici nel corso degli ultimi decenni. Il Tibet comprende il più vasto Plateau del mondo, formatosi in seguito alla collisione continentale fra India ed Eurasia iniziata 50-60 milioni di anni fa. L'incessante spinta di India contro Eurasia ha causato una ripartizione degli stress tettonici in tutta l'Asia centro-orientale, alimentando diverse teorie di deformazione intracontinentale. Fra gli anni '70 e gli inizi del 2000, numerose teorie sono state proposte per spiegare la deformazione intracontinentale del Tibet, immaginando che la collisione potesse essere accomodata dall'estrusione di mega-blocchi (o micro-placche) continentali rigidi, larghi migliaia di km (es. Tapponnier et al., 1982), oppure come la presenza di uno strato di crosta viscosa a 10-15 km profondità, ricoprisse un ruolo cruciale nell'accomodamento della deformazione, permettendo un flusso della crosta tibetana verso E-SE (es. Clark e Royden, 2000). Oggi la fitta rete di oltre 3000 stazioni GPS installata in tutto il Tibet (CMONOC network, Wang et al., 2020, Fig.1), evidenzia un movimento quasi-continuo della crosta



Alessandro Todrani (sx) e Siyu Chen (dx) durante la missione di campionamento paleomagnetico. (Mula basin, Prefettura autonoma Tibetana di Garzê, Cina)

verso E-SE di circa 2-4 cm/anno, con una rotazione oraria intorno l'East Himalayan Sintaxis (EHS). Per studiare invece il movimento accumulato nel passato geologico dalla crosta terrestre ci si avvale del paleomagnetismo, tecnica di analisi che permette di analizzare il campo magnetico terrestre registrato dalle rocce durante la loro formazione. I numerosi studi paleomagnetici, condotti nel margine SE del Tibet e in Indocina, indicano la presenza di una crosta continentale altamente frammentata, composta da blocchi di 2-5 km di larghezza, che hanno ruotato negli ultimi milioni di anni senza uno schema predefinito (Speranza et al., 2019; Todrani et al., 2020). La crosta superficiale, altamente frammentata e composta da piccoli blocchi crostali ruotati senza un pattern definito, suggerisce quindi la presenza di uno strato di crosta viscosa, probabilmente più calda, che trascina e frammenta la crosta superiore, confermando quindi l'incompatibilità con il modello dell'estrusione dei grandi blocchi di crosta rigidi.

a cura di Todrani A., Speranza F., Zhang B. e Chen S.

BIBLIOGRAFIA

Clark M. K. & Royden L. H. (2000). *Topographic ooze: Building the eastern margin of Tibet by lower crustal flow*. *Geology*, 28(8), 703-706.

[https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2000\)28%3C703-TOBTEM%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2000)28%3C703-TOBTEM%3E2.0.CO;2)

Speranza F., Pellegrino A. G., Zhang B., Maniscalco R., Chen S. & Hernandez-Moreno C. (2019). *Paleomagnetic evidence for 25-15 Ma crust fragmentation of north Indochina (23-26°N): Consequence of collision with Greater India NE corner*. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20. <https://doi.org/10.1029/2019GC008308>

Tapponnier P., Peltzer G., Le Darrin A. Y. & Armijo R. (1982). *Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine*. *Geology*, 10, 611-616. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1982\)10%3C611-PETIAN%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1982)10%3C611-PETIAN%3E2.0.CO;2)

Todrani A., Zhang B., Speranza F. & Chen S. (2020). *Paleomagnetism of the middle Cenozoic Mula Basin (East Tibet): Evidence for km-scale crustal blocks rotated by midlower crust drag*. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 21, e2020GC009225. <https://doi.org/10.1029/2020GC009225>

Wang M. & Shen Z. - K. (2020). *Present-day crustal deformation of continental China derived from GPS and its tectonic implications*. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125, e2019JB018774. <https://doi.org/10.1029/2019JB018774>

Coordinatrice: **Lucia Marinangeli**

Pagina web: www.socgeol.it/372/geologia-planetaria.html

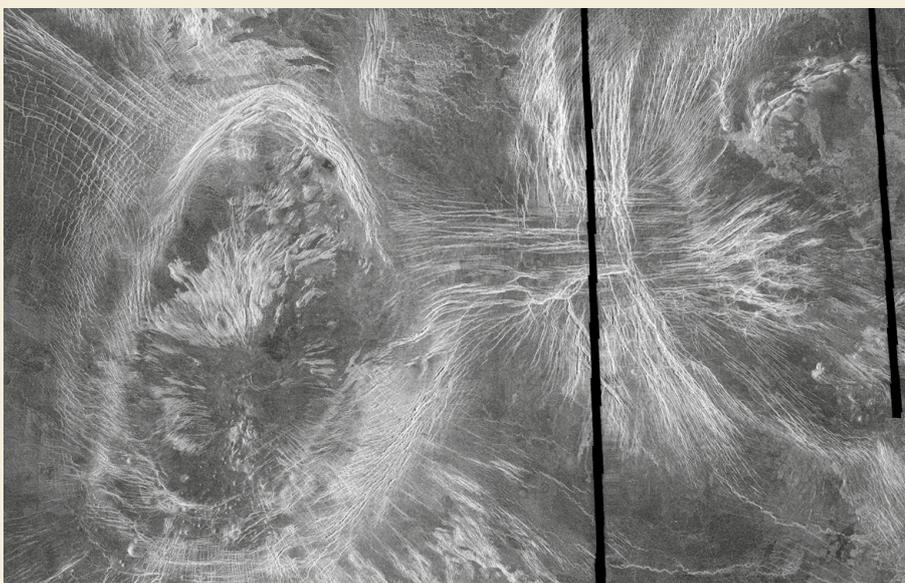


Fig. 1 - Bahet e Onatah Coronae, due grandi (~300 km) strutture vulcano-tettoniche venusiane. (NASA Magellan-PIA00461).

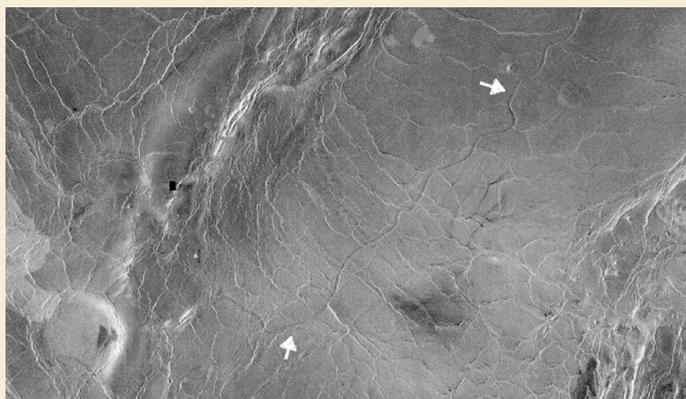


Fig. 2 - Baltis Vallis, il più lungo (~600 km) degli enigmatici canali venusiani. (NASA Magellan-PIA00245).

BIBLIOGRAFIA

Baker V. R., Komatsu G., Parker T. J., Gulick V. C., Kargel J. S. & Lewis J. S. (1992). *Channels and valleys on Venus: Preliminary analysis of Magellan data*. J. Geophys. Res., 97 (E8), 13421-13444, [doi:10.1029/92JE00927](https://doi.org/10.1029/92JE00927).

Greaves J. S., A. Richards M. S. A., Bains W., Rimmer P. B., Sagawa H., Clements D. L., Seager S., Petkowski J. J., Sousa-Silva C., Ranjan S., Drabek-Maunders E., Fraser H. J., Cartwright A., Mueller-Wodarg I., Zhan Z., Friberg P., Coulson I., Lee E. & Hoge J. (2020). *Phosphine gas in the cloud decks of Venus*. Nature Astronomy. <https://doi.org/10.1038/s41550-020-1174-4>.

La pubblicazione nel settembre 2020 della scoperta di fosfina (fosfuro di idrogeno) nell'atmosfera di Venere (Greaves et al., 2020) e il potenziale legame con l'attività di colonie batteriche, ha riaperto la discussione sull'evoluzione del pianeta e la possibilità che possa essere stato ricco di acqua in passato. Ma quali sono le evidenze geologiche a sostegno di questa ipotesi? Avvolta dalla densa atmosfera che genera un effetto serra a scala globale con temperature che superano i 450°C e una pressione di 90 atm, l'arida superficie di Venere è stata completamente svelata solo negli anni '90 grazie alle immagini radar dalla missione NASA Magellan (Saunders et al., 1992). Da questi dati, sono emerse diverse peculiarità geologiche: la numerosità e diversità di strutture vulcaniche (**Fig. 1**), la giovane età della superficie (~500 milioni di anni) e la presenza di lunghi (centinaia di km) canali

meandriiformi (**Fig. 2**).

L'intensa attività vulcanica sarebbe avvenuta (e forse è ancora attiva) dopo un evento catastrofico globale che cancellò i primi 4 miliardi di anni della storia del pianeta, evoluzione crostale anomala per un pianeta privo di tettonica a placche.

I lunghi canali furono associati allo scorrere di colate laviche molto fluide (forse komatiti) con un comportamento erosivo simile a quello dell'acqua (Baker et al., 1992), escludendo quest'ultima per via delle proibitive condizioni superficiali. Non abbiamo una datazione certa dei canali, ma sappiamo che non appartengono alla storia geologica più recente del pianeta. Recenti modelli climatici mostrano la probabilità di mantenere acqua nelle zone equatoriali per tempi molto lunghi nel passato di Venere (Way et al., 2016), riaprendo le possibili interpretazioni sul processo di formazione dei canali.

È evidente che sappiamo ancora poco della storia geologica di Venere e non possiamo escludere che abbia ospitato acqua in superficie. Questa prospettiva apre nuovi scenari per la sua esplorazione e potenziale abitabilità.

Saunders R. S., Spear A. J., Allin P. C., Austin R. S., Berman A. L., Chandler R. C., Clark J., Decharon A. V., De Jong E. M., Griffith D. G., Gunn J. M., Hensley S., Johnson W. T. K. & Kirby C. E. (1992). *Magellan mission summary*. J. Geophys. Res., 97 (E8), 13067-13090, [doi:10.1029/92JE01397](https://doi.org/10.1029/92JE01397).

Way M. J., Del Genio A. D., Kiang N. Y., Sohl L. E., Grinspoon D. H., Aleinov I., Kelley M. & Clune T. (2016). *Was Venus the first habitable world of our solar system?* Geophys. Res. Lett., 43, 8376-8383, [doi:10.1002/2016GL069790](https://doi.org/10.1002/2016GL069790).

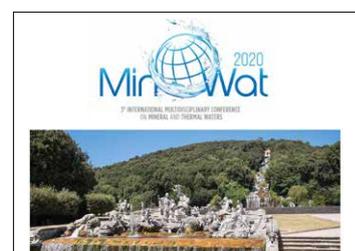


Sezione **IdroGEOLOGIA**

Coordinatore: **Vincenzo Piscopo**

 Pagina web: www.socgeol.it/376/idrogeologia.html

La Sezione di Idrogeologia ha lo scopo di sviluppare la discussione, diffondere informazioni e promuovere attività sui temi che riguardano le risorse idriche sotterranee tra i soci della Società Geologica Italiana. Ciò è avvenuto finora con l'organizzazione di diverse attività e la periodica Newsletter curata da Marco Masetti. All'inizio del 2021 sono stato eletto quale nuovo coordinatore della Sezione e spero di assolvere con la stessa cura e dedizione il compito svolto da Marco.



Per il 2021, sono previsti due importanti eventi in Italia su temi idrogeologici, entrambi patrocinati dalla Società Geologica Italiana.

Flowpath 2021, National Meeting on Hydrogeology, che si terrà a Napoli, è il quinto *meeting* biennale degli idrogeologi italiani istituito dal Capitolo Italiano della *International Association of Hydrogeologists* (IAH) e organizzato dall'Università degli Studi di Napoli "Federico II" con il contributo dell'Associazione Acque Sotterranee. I temi della Conferenza sono:

-  **Climate change and groundwater**
-  **Groundwater resources and sustainability**
-  **Geothermal, urban and contaminant hydrogeology**
-  **Groundwater flow and hydrogeochemical features in volcanic, karstic and coastal plain aquifers**

 Ulteriori informazioni sono disponibili sul sito del congresso *Flowpath2021 - Home* (unina.it).

 **A causa dell'emergenza sanitaria dovuta alla pandemia da Covid-19 il congresso è stato posticipato dal 16-18 giugno 2021 al periodo 1-3 dicembre 2021.**

Si prevede inoltre di indire una riunione annuale dei soci della Sezione, aperta a tutti gli interessati, che sarà un'occasione per discutere delle future attività e per individuare un percorso condiviso sulle proposte per rafforzare e diffondere la cultura idrogeologica.

MinWat 2020, 3rd International Multidisciplinary Conference on Mineral and Thermal Waters, inizialmente previsto per il 2020, si terrà a Caserta dal 27 giugno al 1 luglio 2021. Si tratta della periodica Conferenza della Commissione sulle Acque Minerali e Termali dell'IAH, organizzata dalle università di Napoli "Federico II", della Campania "Luigi Vanvitelli", di Padova e della Tuscia e da Ferrarelle S.p.A. I temi della Conferenza sono:

-  **Hydrogeology and geochemistry of mineral and thermal waters**
-  **Protection and management of mineral and thermal waters**
-  **Bottled mineral waters**
-  **Health issues, balneology and balneotherapy**

 Ulteriori informazioni sono disponibili sul sito del congresso <https://minwatitaly2020.org>.

Si ricorda anche il Premio Zuppi 2021, istituito dal Comitato Italiano dell'IAH e dall'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del CNR in memoria del Prof. Gian Maria Zuppi, rivolto ai Dottori di Ricerca che abbiano discusso una tesi su temi idrogeologici comprendenti metodi geochimici e isotopici.

 Il bando con scadenza 24 aprile 2021 è disponibile al sito www.iahitaly.it/news/bandi-premi-premio-zuppi-2021.



Sezione Giovani GEOLOGI



Coordinatrice: **Giulia Innamorati**

 Pagina web: www.socgeol.it/435/giovani-geologi.html

ROL *meet* PhD

La Sezione Giovani Geologi e il comitato Editoriale dei Rendiconti Online della Società Geologica Italiana, sono lieti di annunciare una nuova iniziativa destinata ai dottori di ricerca del 32° e 33° ciclo. Questo progetto, intitolato “*Doctor ROL*”, prevede la pubblicazione di un volume speciale contenente articoli scientifici o *short notes* che siano rappresentativi del lavoro svolto nei tre anni dai neo-dottori. I contributi saranno pubblicati come Gold Open Access. Il volume speciale sarà pubblicato a luglio 2021 e sarà presentato dal congresso annuale della sezione, che si svolgerà in maniera telematica. Questa iniziativa ha lo scopo di far conoscere alla comunità le “*expertise*” acquisite dai dottori di ricerca, presentandoli al mondo accademico e lavorativo, così da creare una *network* che possa essere d’aiuto a nuovi PhD nella ricerca di un *post-doc* o di un lavoro.

Speriamo che questo volume diventi un appuntamento annuale e un duplice punto di riferimento per i dottorandi e i futuri datori di lavoro.

Per ulteriori informazioni non esitate a contattarci!

 **Matteo Berti**
EIC Rendiconti Online
 matteo.berti@uniibo.it

 **Giulia Innamorati**
Responsabile “Sezione Giovani”
 giulia.innamorati@uniroma1.it

 **Segreteria**
 info@socgeol.it



Affioramento di “Red beds” del Mula basin, Tibet orientale. I piccoli fori nella parte basale dell’affioramento indicano le posizioni in cui sono stati prelevati i campioni per effettuare le analisi paleomagnetiche.



Mi chiamo **Alessandro Todrani** e faccio parte della sezione Giovani Geologi, del Gruppo Italiano di Geologia Strutturale (GIGS) e Geologia Himalayana della Società Geologica Italiana (SGI). Il mio percorso accademico è iniziato nel 2012 con l’iscrizione all’Università degli studi Roma Tre, dove ho conseguito la laurea triennale in Scienze Geologiche nel 2016. Ho svolto la tesi triennale in collaborazione con l’INGV di Roma, dove ho avuto il piacere di studiare un carotaggio effettuato nel bacino del Fucino (AQ) con un approccio multidisciplinare geologico-geofisico. Successivamente mi sono iscritto al corso di laurea magistrale in Geologia del Territorio e delle Risorse all’Università Roma Tre, con curriculum in “*Geodynamics and Volcanology*”, che ho concluso nel 2018 svolgendo una tesi Sismologia sempre in collaborazione con l’INGV di Roma. Ho focalizzato la mia tesi magistrale sull’analisi dello scuotimento sismico subito dal Comune

di Amatrice (RI) durante il devastante terremoto del 24 agosto 2016. Alla fine del 2018, infine, ho iniziato il percorso da dottorando del XXXIV ciclo dell’Università Roma Tre insieme l’INGV di Roma. Il mio progetto di dottorato ha il titolo di “*Geometry and kinematics of intra-continental deformation of northern Indochina and SE Tibet: a joint paleomagnetic and structural approach*”, supervisionato dal Dott. Fabio Speranza dell’INGV di Roma. La mia attività di ricerca negli ultimi anni si è concentrata quindi sull’evoluzione geologica e geodinamica del Tibet, mediante una missione di campionamento paleomagnetico ed un’analisi geodetica della deformazione in atto. Questo percorso di ricerca mi ha permesso di lavorare sul campo in un’affascinante area remota del mondo, condividendo l’attività di campagna con colleghi dell’Università di Pechino e di trattare, criticamente e scientificamente, un’area molto complessa della Terra, generando nuovi stimoli ed interessi scientifici in ambito geologico.



Sezione
GEOsed

Coordinatore: **Marco Brandano**

 Pagina web: www.socgeol.it/369/geosed.html



Stratificazione incrociata nell'intervallo burdigaliano della Formazione di Bolognaro, Majella settentrionale (Appennino Centrale).

Quest'anno la V giornata degli incontri di geologia e la riunione plenaria dei soci GeoSed sono state tenute online attraverso la piattaforma *GoToMeeting* messa a disposizione dalla Società Geologica Italiana. La giornata

è stata aperta dal Presidente della SGI Sandro CONTICELLI che oltre ad augurare un buon proseguimento dei lavori, ha definito la nostra sezione di Geologia del Sedimentario della SGI come una delle più attive.

Sono stati dunque premiati da Daniela RUBERTI, Vincenzo RANDAZZO (premio miglior tesi di dottorato) e Francesco SALESE (premio miglior articolo scientifico). Per quanto concerne l'attività seminariale di questa V giornata di incontri di Geologia, il Comitato GeoSed ha deciso di invitare giovani ricercatori che lavorano in Italia e all'estero ad esporre la loro attività di ricerca: Irene CORNACCHIA (Istituto di Geoscienze e Georisorse - CNR) ha così raccontato di come l'evoluzione oceanografica del Mediterraneo nel Miocene abbia influenzato la produzione carbonatica in ambienti marini poco profondi. La presentazione di Monica GIONA BUCCI (*University of Toronto Mississauga*, Canada) ci ha consentito di pesare l'importanza della sedimentologia in un campo come quello della paleosismicità solitamente popolato da geomorfologi, geofisici e geologi strutturali. Andrea FUCELLI (*Department of Earth Sciences, University of Geneva*, Svizzera) ha parlato della sua tesi di dottorato focalizzata su alcuni calcari triassici della Panthalassa, affioranti oggi nella parte occidentale degli Stati Uniti. Francesco SALESE (*Faculty of Geosciences, Utrecht University*, Olanda) ha raccontato di come i sedimentologi esplorano il pianeta Marte e Vincenzo RANDAZZO (Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare, Università di Palermo) ha esposto i risultati del suo lavoro di tesi di dottorato focalizzata sulla sedimentologia e biostratigrafia di depositi carbonatici di *slope* di età cretacea ed affioranti in Sicilia nordoccidentale.

La riunione plenaria del pomeriggio è stata vivamente partecipata dai soci. Il primo punto all'ordine del giorno riguardava l'attività congressuale di GeoSed. A causa dell'attuale crisi pandemica infatti, il Congresso GeoSed del 2021 è stato spostato al 2022 e sarà organizzato dai colleghi di Bari (SABATO, TROPEANO, MORETTI, LISCO, GALLICCHIO E SPALLUTO). Il congresso e le relative escursioni sono previsti nel mese di giugno. Nel 2023, il Congresso GeoSed si terrà invece a Torino in un periodo compreso tra giugno e luglio. I successivi congressi GeoSed si terranno negli anni dispari (2025, 2027, etc.) mentre negli anni pari si organizzeranno gli Incontri di Geologia.

Si è poi parlato dei premi GeoSed: l'iniziativa relativa al premio per il miglior articolo verrà rilanciata anche nei prossimi anni poiché è stato ottenuto il parere positivo della Commissione Premi della SGI. È inoltre intenzione di GeoSed proporre altri premi in occasione dei Congressi come quello per il miglior poster e per il miglior *talk*. È stato inoltre proposto anche il premio come miglior guida geologica. L'attività seminariale per il 2021 sarà online attraverso la piattaforma *GoToMeeting* (<https://global.gotomeeting.com/join/465447797>) e prevede i seguenti seminari:

 26 FEBBRAIO 2021  15:00

 **Fabrizio Berra**
Università degli Studi di Milano, Italia

 *Interplay of sediment supply, climate and sea level changes effects on the architecture of carbonate successions.*

 26 MARZO 2021  15:00

 **Jasper Knight**
University of the Witwatersrand, Johannesburg, Sudafrica

 *Mountains, climate and sediment systems.*

 23 APRILE 2021  10:00

 **Catherine Chagué**
UNSW Sydney, Sydney, Australia
NIWA, Christchurch, Nuova Zelanda

 *Using geochemistry to estimate the inundation limit of past tsunamis, beyond the sand.*

Un'altra iniziativa di GeoSed che, se le condizioni pandemiche lo permetteranno, sarà attuata all'inizio dell'estate di quest'anno altrimenti nello stesso periodo del prossimo 2022, riguarda l'organizzazione di un'escursione rivolta ai dottorandi in Appennino Centrale (traversata transappenninica). La stessa iniziativa sarà proposta in Appennino meridionale (2022 o 2023), in Appennino settentrionale (2023 o 2024). Coinvolgendo i colleghi delle rispettive sedi.

a cura di Amalia Spina e Marco Brandano



Fig. 1 - Foto della Nave Bannock. Nell'*Inset* in alto a sinistra è riportata la foto del popolo nativo americano chiamato Bannock che nel 1978 dichiarò guerra agli Stati Uniti e dai quali prendi il nome la nave.

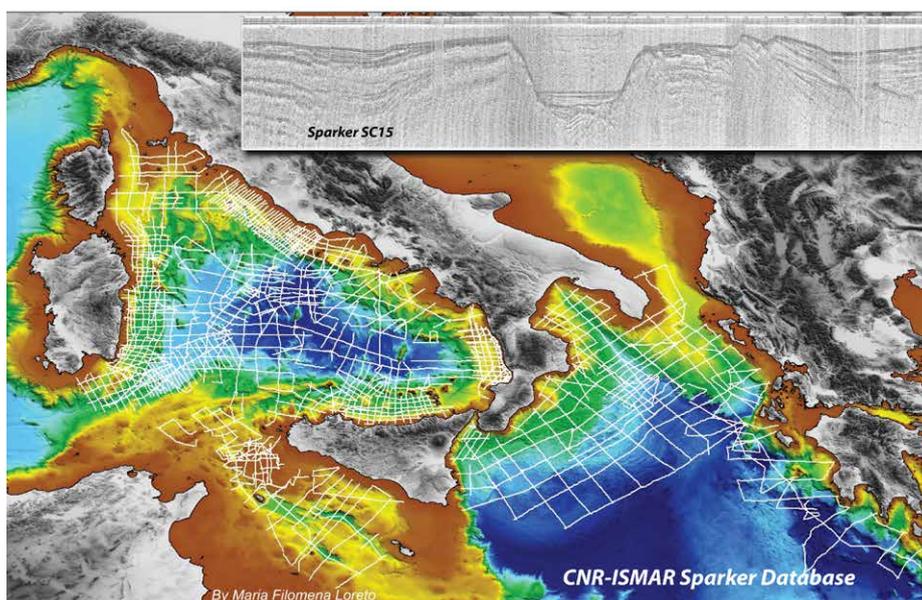


Fig. 2 - Mappa del Database creato da ISMAR-CNR di Bologna. Nell'*inset* è riportato un profilo *sparker*.

La grandiosa Bannock, DA NAVE-GUERRA A NAVE-RICERCA

La ormai quasi ottantenne Bannock (**Fig. 1**) è una delle navi con la più lunga e onorata storia al servizio della comunità. Costruita nei cantieri di Charleston (South Carolina, USA), con destinazione di nave supporto a navi da guerra, fu varata nel 1943 e partecipò allo sbarco in Normandia (1944), alle battaglie di Okinawa (1945) e della Nuova Guinea (1946). Alla fine degli anni '60 la Bannock, che prende il nome da una tribù nativa americana (**Fig. 1**), venne concessa in affitto alla Marina Militare Italiana a patto che svolgesse funzioni di tipo civile. Fu così che iniziò la sua attività di ricerca, e nel 1979 il CNR ne formalizzò l'acquisto. In quegli anni, nel mare nostrum, venne acquisita una mole enorme e irripetibile di dati: migliaia di km di profili sismici (**Fig. 2**), centinaia di campioni di sedimento e foto subacquee. Questa Nave, attrezzata con strumentazione per l'epoca all'avanguardia, consentì la nascita di un nuovo settore di ricerca: la geologia marina, oggi diversificato in diversi istituti. La Bannock lavorò per il CNR fino al 2000 e furono 30 anni di onorato servizio scientifico. Nel 2005 venne affidata all'istituto tecnico-nautico F. Caracciolo (G. da Procida) per divenire una nave scuola, ma di fatto tutti i progetti per trasformarla fallirono miseramente e ora versa in uno stato di totale abbandono, soggetta a vandalismo, nel porto di Procida. Amara fine di una nave grandiosa

che nessuna bomba è stata in grado di affondare come la burocrazia italiana. Ma a versare in uno stato di abbandono non è solo la Bannock, bensì l'intero settore della Geologia Marina, un tempo fiore all'occhiello del CNR, a causa della perdita della nave Urania-CNR e mancanza di strumentazione. Anche se tutto questo è avvilente, una piccola speranza si chiama Laura Bassi, una nave rompighiaccio acquisita dall'OGS per ricerche nei mari polari. Forse un giorno il nostro governo comprenderà l'importanza della conoscenza del territorio sottomarino e ne predisporrà il suo rilancio.

a cura di Maria Filomena Loreto



Sezione GEOLOGIA Strutturale

Coordinatore: **Rodolfo Carosi**

 Pagina web: www.socgeol.it/400/geologia-strutturale-gigs.html

La riflettometria laser per studiare l'attività delle faglie sottomarine nel mar Ionio: UN TEAM INTERNAZIONALE DI RICERCATORI PROVA A MONITORARE CON TECNICHE AVANZATE IL MOVIMENTO DI FAGLIE NEL FONDALE MARINO AL LARGO TRA CATANIA E SIRACUSA



Fig. 1 - La nave oceanografica *Pourquoi pas?* ormeggiata nel porto di Toulone (Francia).

Nello scorso mese di ottobre ha operato in acque territoriali italiane (seguì su: www.vesselfinder.com/it/?imo=9285548) la nave di ricerca oceanografica **POURQUOI Pas** (https://it.wikipedia.org/wiki/Pourquoi_pas%3F, Fig. 1) della flotta francese *Ifremer* con a bordo un team di ricercatori esperti nel campo della geologia dei terremoti e della geofisica marina provenienti da svariate università ed istituti di ricerca europei. Nell'ambito del progetto *Focus (Fiber Optic Cable Use for Seafloor studies of earthquake hazard and deformation)*, finanziato dalla comunità europea (ERC advanced grant) per un importo di 3,5 milioni di euro, la spedizione oceanografica ha l'obiettivo di

studiare in maniera del tutto innovativa il movimento di alcune faglie sottomarine riconosciute nel mare antistante Catania e Siracusa. Queste strutture tettoniche, che solcano il fondale marino per più di 60 km (Fig. 2), sono ritenute potenzialmente attive e dunque pericolose poiché capaci di generare terremoti di elevata magnitudo. La prima di una serie di spedizioni è stata coordinata dal Dott. **Marc-Andr  Gutscher** dell'Universit  della Bretagna Occidentale e ha visto la partecipazione di importanti istituti di ricerca e aziende internazionali quali l'*Ifremer/CNRS* e l'*IDIL Fiber Optics* (Francia), il *GEOMAR Helmholtz Research Centre* (Germania) e la *iXblue* di Aberdeen (Scozia), mentre la componente italiana   costituita

dal Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali dell'Universit  di Catania, dall'INFN-LNS di Catania (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare-Laboratori Nazionali del Sud) e dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) di Roma. A rappresentare l'ateneo catanese a bordo della nave c'era il Dott. **Giovanni Barreca** (Fig. 3), geologo strutturale attualmente collaboratore del Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, che cura gli aspetti legati alle caratteristiche sismotettoniche delle grandi faglie sottomarine. Si tratta a tutti gli effetti di un monitoraggio strumentale avanzato che utilizza la riflettometria laser (**BOTDR- Brillouin Optical Time Domain Reflectometry**) comunemente utilizzata nel monitoraggio di infrastrutture ingegneristiche a terra quali ponti, dighe, condotte ecc. ma per la prima volta applicata alle faglie in ambiente sottomarino. Si tratta di far viaggiare in continuo particolari pulsazioni laser lungo un cavo a fibra ottica che verr  opportunamente posizionato a cavallo delle strutture di faglia. Poich  il raggio laser viene diffratto anche da microscopiche imperfezioni, qualsiasi variazione nel suo percorso produrr  dei picchi di diffrazione caratteristici. Se dunque il cavo verr  "disturbato", sar  possibile misurare l'entit  del disturbo con la conseguenza diretta di poter registrare facilmente le deformazioni legate al movimento delle faglie, dell'ordine dei 50 micrometri per metro (circa 1/3 dello spessore del capello umano), anche a distanza di decine di chilometri. Le operazioni in mare di questa prima spedizione sono durate 15 giorni e hanno dato come risultato una preliminare mappatura micro-batimetrica del fondale marino attraversato dalle faglie; sul tratto sottomarino mappato   stato successivamente adagiato il cavo a fibra ottica. Il cavo, lungo 6 km,   stato connesso alla stazione sottomarina denominata **TSS (Test Site Sud)** posta a circa 25 km a largo

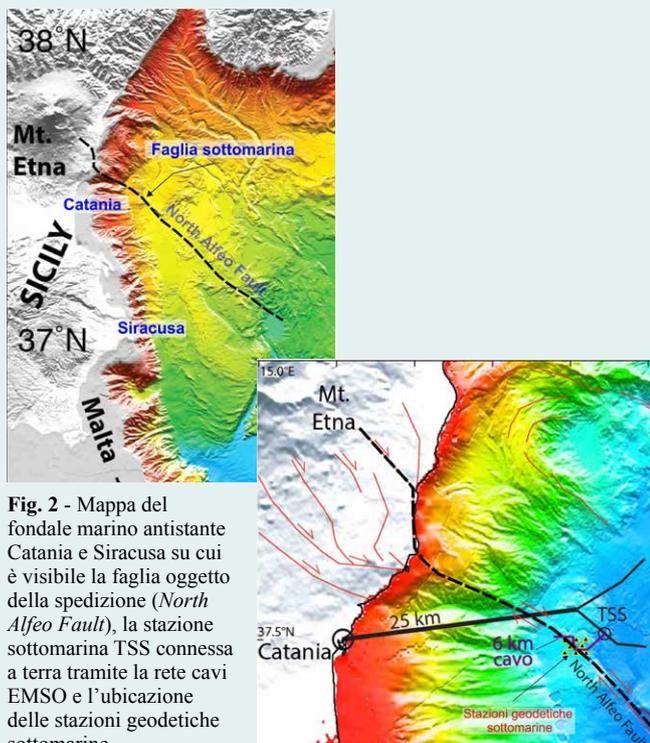


Fig. 2 - Mappa del fondale marino antistante Catania e Siracusa su cui è visibile la faglia oggetto della spedizione (*North Alfeo Fault*), la stazione sottomarina TSS connessa a terra tramite la rete cavi EMSO e l'ubicazione delle stazioni geodetiche sottomarine.

di Catania e alla profondità di 2100 metri (Fig. 2). La stazione è gestita dall'INFN-LS nell'ambito della rete di cavi sottomarini per scopi scientifici EMSO (*European Multidisciplinary water-column and Seafloor Observatory*). La connessione del cavo è stata operata tramite l'utilizzo di Victor 6000, un veicolo sottomarino robotizzato (ROV - *Remotely Operated Vehicle*), che ha guidato il cavo dalla nave fino alla profondità stabilita per poi connetterlo alla stazione di controllo sottomarina. Una volta connesso, la traiettoria dell'impulso laser, che viaggia all'interno del cavo, verrà registrata e analizzata in remoto al fine di valutare possibili variazioni nel tragitto degli impulsi laser. I movimenti rilevati verranno poi calibrati attraverso l'utilizzo di 8 stazioni geodetiche a *transponder* acustico che verranno calati in mare ed adagiati sul fondale marino. I dati geodetici verranno elaborati dal *Laboratoire Geosciences Ocean de Brest* (Francia). L'obiettivo principale della missione è quello di monitorare nei prossimi 5 anni il movimento lungo una faglia ben conosciuta, la cosiddetta *North Alfeo Fault* (Fig. 2), una struttura crostale che si estende in mare da Catania fino al largo di Siracusa e che, per le sue peculiari espressioni sul fondo del mare, è ritenuta dalla comunità scientifica attiva e capace di generare terremoti energeticamente significativi. L'importanza del progetto FOCUS risiede proprio nel fatto che, grazie all'applicazione della riflettometria laser, si potrà valutare quantitativamente e qualitativamente il grado di attività ed il potenziale sismico di queste faglie sottomarine. Ciò assume una notevole importanza per le popolazioni che risiedono in Sicilia orientale, in quanto la storia sismica ed economico-sociale di quest'area è stata fortemente segnata dall'occorrenza di eventi sismici tra i più distruttivi della penisola italiana tra cui il terremoto dell'11 gennaio 1693 di magnitudo 7.4.

a cura di Giovanni Barreca e Carmelo Monaco



Fig. 3 - Il Dott. G. Barreca nella sala controllo della nave *Pourquoi pas*.



Sezione GEOETICA e Cultura Geologica

Coordinatrice: **Silvia Peppoloni**

Pagina web: www.socgeol.it/371/geoetica-e-cultura-geologica.html

GEOETICA *in movimento*

Negli ultimi dodici anni la geoetica ha avuto un grande sviluppo, trasformandosi da "movimento di opinione" a disciplina vera e propria, corredata da un substrato teorico-concettuale e da strumenti e metodi per la sua applicazione. Il percorso evolutivo del pensiero geoetico si può apprezzare leggendo le pubblicazioni prodotte, articoli e libri soggetti a un rigoroso processo di *peer-review*, che mostrano i progressi nel tempo degli studi di geoetica e le sue applicazioni nelle pratiche geoscientifiche, incluso un discreto numero di casi di studio. Se le prime pubblicazioni avevano lo scopo di incoraggiare la riflessione sull'attività dei geologi, sul loro ruolo nella società e sulle loro responsabilità come esperti dei processi naturali, nel tempo il quadro del dibattito scientifico sulla geoetica si è ampliato, coinvolgendo altri settori disciplinari, filosofici, sociologici ed economici. Questo ha favorito discussioni multidisciplinari e transdisciplinari con studiosi esterni alla comunità delle geoscienze, e ha permesso che i valori e i criteri geoetici fossero proposti all'intero corpo sociale, producendo un incoraggiante aumento sia del riconoscimento del valore culturale del sapere geologico, sia della consapevolezza sociale delle responsabilità verso il pianeta. Sul sito della *International Association for Promoting Geoethics* (www.geoethics.org) si può ripercorrere la storia evolutiva del pensiero geoetico attraverso le sue pubblicazioni (molte delle quali scaricabili), a partire dalla sua definizione, formulata inizialmente nel 2012 e successivamente ampliata e arricchita: "La geoetica: 1) Consiste nella ricerca e nella riflessione sui valori che sono alla base dei comportamenti e delle pratiche appropriati, ovunque le attività umane interagiscano con il sistema Terra. 2) Si occupa delle implicazioni etiche, sociali e culturali della conoscenza, della ricerca, della pratica, dell'educazione e della comunicazione delle geoscienze e del ruolo e delle responsabilità sociali dei geoscientziati nel condurre le loro attività. 3) Incoraggia i geoscientziati e la società in generale a diventare pienamente consapevoli che l'umanità è una forza geologica attiva sul pianeta e che questo implica una responsabilità etica". L'attuale definizione comprende l'oggetto, lo scopo e la funzione della geoetica, identifica i valori capaci di orientare gli esseri umani verso comportamenti virtuosi nei confronti dei sistemi socio-ecologici in cui si trovano a vivere e di cui sono parte integrante, e a guidare i geologi verso le migliori pratiche professionali negli interventi sul territorio. Inoltre, la definizione stabilisce la centralità delle geoscienze nello sviluppo del pensiero geoetico e allo stesso tempo l'importanza degli *input* che possono venire da altre discipline, sottolineando il carattere multidisciplinare della geoetica, punto di incontro di differenti aree



Sessione di geoetica al Congresso dello IAEG (Torino, 2014)

della conoscenza che devono cooperare e integrarsi efficacemente. Il numero speciale di *Annals of Geophysics* del 2012, intitolato *Geoethics and geological culture* (www.geoethics.org/geoethics-ag2012), fu il primo volume di una rivista scientifica internazionale dedicata ai temi della geoetica e della cultura geologica. Esso già ne forniva l'obiettivo "... recuperare il vero significato dell'essere geoscienti e mettere in luce i ruoli attivi che possiamo avere nella promozione di nuovi valori culturali nella società moderna, sui quali costruire una relazione più consapevole tra essere umano e natura"; e sottolineava "... la necessità di riscoprire i valori culturali della geologia come scienza che può contribuire alla costruzione di conoscenza sociale, e la necessità di essere consapevoli che la geoetica non può esistere senza una reale consapevolezza tra i geoscienti del valore culturale delle scienze della Terra". Quel numero speciale ha dato avvio a numerose iniziative nazionali e internazionali (sessioni e simposi in congressi, seminari, tavole rotonde) e a diverse pubblicazioni successive, che mostrano il progressivo sviluppo teorico del pensiero geoetico, forniscono un'utile base di discussione su molti temi di grande attualità (dai georischi alle georisorse, dal riscaldamento globale all'inquinamento, dal problema

energetico alla protezione del patrimonio geologico), evidenziando i benefici che le geoscienze possono portare alla società. Tra i documenti più significativi prodotti, ci sono la Promessa Geoetica (www.geoethics.org/geopromise) e la Dichiarazione di Cape Town (www.geoethics.org/ctsg), rispettivamente del 2014 e del 2016, entrambi tradotti in 35 lingue.

E arriviamo al libro della *Geological Society of London* in fase di pubblicazione, intitolato *Geoethics: status and future perspectives* (<https://sp.lyellcollection.org/online-first/508>), che rappresenta l'ultima tappa di questo percorso. Oltre a sintetizzare le acquisizioni teoriche più recenti e a delineare sempre meglio il perimetro dell'azione geoetica, il volume sottolinea la necessità di cooperare con settori disciplinari esterni alle geoscienze, creando ponti stabili con altre conoscenze o altre esperienze culturali, dimostrando il grande potenziale della geoetica come etica della responsabilità non solo per il geoscientista ma per l'agente umano, modificatore e allo stesso tempo parte integrante del sistema Terra.

a cura di Giuseppe Di Capua



Autori Alessandra Borghini¹, Omar Cirilli¹, Emanuele Peri¹,
Fiorenza Torricella¹, Saverio Bartolini Lucenti² e Alberto Collareta³

1 - Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra, Università di Pisa.

2 - Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze.

Paleo[Fab]Lab, Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze.

3 - Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa.

IVPDay 2020

3° Convegno Nazionale per Giovani Ricercatori in Paleontologia

Lo scorso novembre si è tenuta la terza edizione del Convegno Nazionale per Giovani Ricercatori in Paleontologia (*Invertebrate and Vertebrate Palaeontology day*). L'edizione 2020 del Convegno, rivolto a studenti magistrali, dottorandi e giovani ricercatori, è stata organizzata in modalità online a causa delle restrizioni legate al Covid-19. Nonostante le limitazioni dovute alla pandemia, l'iniziativa ha riscosso un rilevante successo, raggiungendo il numero di partecipanti più alto di sempre (100). Questa modalità ha infatti favorito la partecipazione di numerosi rappresentanti stranieri (Francia, Germania, Spagna, Portogallo, Inghilterra, Polonia, Grecia, Tunisia, Colombia e Perù) e italiani provenienti da atenei di tutta la penisola.

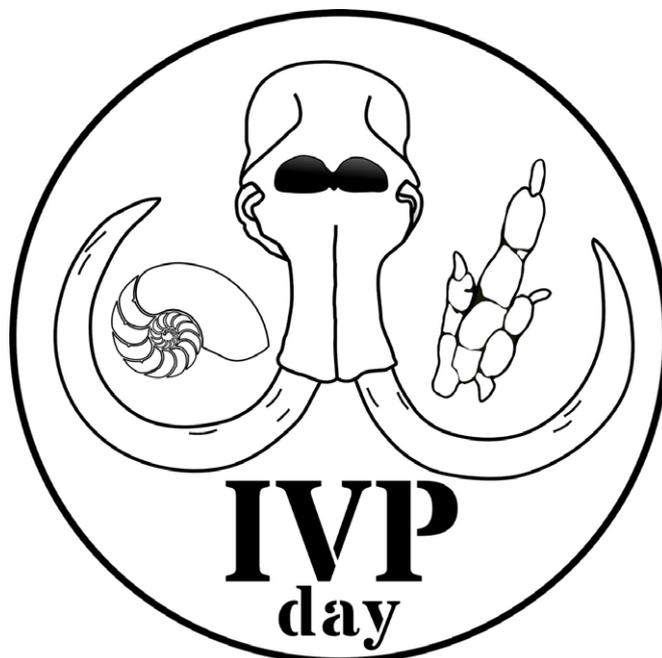
Le mattine delle quattro giornate del convegno sono state dedicate alle presentazioni live, in lingua inglese, da parte dei giovani ricercatori che hanno affrontato diversi temi, spaziando tra la paleontologia dei vertebrati e degli invertebrati, la micropaleontologia e la didattica delle Scienze della Terra.

I pomeriggi sono invece stati dedicati a *workshop* tematici, tenuti da due relatori internazionali, Olivier Lambert del *Royal Belgian Institute of Natural Sciences* e Peter Falkingham della *Liverpool John Moore University*, e da due relatori nazionali, Romana Melis dell'Università degli Studi di Trieste e il paleoartista Albero Gennari. Come gli scorsi anni, gli *extended abstract*

delle presentazioni confluiranno – dopo le revisioni affidate al Comitato Scientifico e a revisori esterni – nel Volume FOSSILIA (www.fossilijournal.com), rivista online, open access e citabile.

L'IVPday 2020 è stato organizzato da dottorandi del Corso di Dottorato Regionale Pegaso della Toscana in Scienze della Terra, con il supporto finanziario dell'Università di

Pisa (bando “Contributi per le iniziative scientifiche organizzate dai dottorandi”) e del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa. Il convegno è stato inoltre promosso dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze, dal gruppo *Palaeontologist in Progress* e della Società Paleontologica Italiana. L'iniziativa ha anche ricevuto il patrocinio della Società Geologica Italiana, dell'Associazione Italiana per lo Studio del Quaternario, del Sistema Museale di Ateneo di Firenze e del Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa.



PanGEA: le Geoscienze senza frontiere di genere



PanGEA evoca uno dei periodi più affascinanti della storia della Terra e il suo nome indica “inclusione”, unito a quello della divinità che presta il nome alla disciplina di cui ci occupiamo.

PanGEA è il nome che abbiamo scelto per la costruenda Divisione della Società Geologica Italiana, che nasce, su invito del presidente della SGI, per superare le differenze di genere e favorire l'inclusività nella Geologia Italiana. Il 2020 è stato l'anno in cui un sorprendente passaparola durante il periodo di restrizioni per contrastare la diffusione del COVID-19 ha dato vita a un gruppo che sta abbattendo le frontiere fra il mondo accademico, gli enti di ricerca, la pubblica amministrazione, la libera professione e l'industria, per promuovere una crescita delle Geoscienze che rifletta la diversità presente nella società italiana - sinora poco rappresentata.

PanGEA vuole creare opportunità di comunicazione, di sviluppo lavorativo e di conoscenza per geo-scienziate, educatrici e professioniste. Costruire una comunità non è mai semplice, ma nel caso di PanGEA non si parte da zero.

Negli anni molte colleghe nei vari ambiti lavorativi si sono impegnate per creare occasioni di confronto, hanno messo in evidenza il ruolo fondamentale delle donne nella crescita scientifica ed etica di settori scientifici e lavorativi.

PanGEA nasce per dare un'unione nazionale a questo sforzo e per raggiungere ambienti dove queste voci non si sono ancora organizzate. Un altro aspetto importante riguarda la possibilità di dialogare fra generazioni diverse per capirne le aspettative, ma anche per creare modelli positivi che rompano gli stereotipi legati a una professione molto spesso coniugata al maschile. Trovare un nuovo linguaggio che

ci possa aiutare ad avvicinare le giovani donne alla Geologia e far sentire pienamente integrate quelle che già fanno parte della comunità sono sfide che tutto il mondo geologico italiano deve affrontare per procedere con successo nel ventunesimo secolo.

PanGEA si è riunita a distanza il 23 ottobre 2020 in un *workshop* dal titolo “Pangea, Geoscienze senza Frontiere”, ospitato e coordinato da Eleonora Paris - Università di Camerino - con 80 partecipanti ([@https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1gKyfrOyOqJESheNvCJJp0OFs7YGtiOtM](https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1gKyfrOyOqJESheNvCJJp0OFs7YGtiOtM))

Invitiamo le Geologhe e i Geologi interessati a far parte di questo nuovo gruppo ad iscriversi alla *mailing list* di PanGEA, inviando una email all'indirizzo pangeasenzafrontiere@gmail.com.



A.A.A. Logo Cercasi

Hai un'idea per un disegno, un simbolo, una figura che rappresenti PanGEA - Geoscienze senza frontiere?

Inviacelo!
pangeasenzafrontiere@gmail.com

Data di scadenza per le proposte: 30 Aprile 2021

VISIONI

Preistoriche



L'immagine è forse il mezzo più potente per comunicare, un linguaggio universale che non ha bisogno di traduzioni e che l'uomo utilizza da sempre per raccontare qualcosa che non può essere visto al momento, indicato o spiegato a parole.

Chi si occupa del passato della Terra conosce bene la difficoltà di trasmettere il *Tempo Profondo*, di raccontare un mondo e una vita che non esistono più, di trasmettere un'interpretazione, a volte anche solo una fantasia. Dopotutto, il geologo è una sorta di visionario, vede antichi mari passeggiando in

montagna, immagina forse in azione scrutando strati deformati e osserva animali dall'aspetto incredibile guardando rocce dalla forma bizzarra.

Raccontare tutte queste esperienze è difficile, ma è anche necessario. In quest'ottica non stupisce che quella che a tutti gli effetti viene considerata la prima opera di paleoarte sia realizzata da un geologo, l'inglese Sir Henry Thomas De la Beche: "*Duria Antiquior – A more Ancient Dorset*", il famoso acquerello, datato 1830, che raffigura la vita nell'antico Dorset sulla base di fossili trovati da Mary Anning a Lyme Regis.

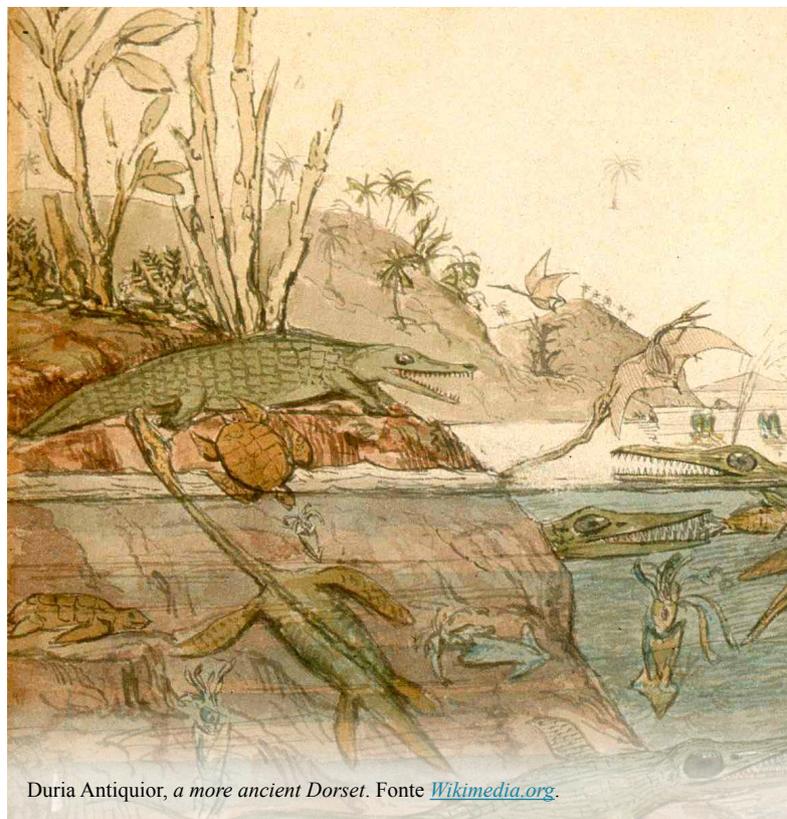
De la Beche stava cercando di raccogliere fondi per aiutare l'amica Mary che viveva in difficoltà economiche ma alla quale riconosceva già da tempo il grande contributo scientifico.

Così, sulla base del suo acquerello, fece realizzare delle stampe litografiche da vendere in seguito ad amici e colleghi, e rendendo la rappresentazione del Dorset alla portata di tutti.

L'immagine divenne presto molto popolare e diede il via ad una serie di altre raffigurazioni che iniziarono a diffondersi sia nella letteratura scientifica che in quella popolare.

Duria Antiquior fu la prima rappresentazione, fatta sulla base di prove fossili, di una scena preistorica che mostra un ambiente del passato in cui diversi tipi di animali interagiscono tra loro.

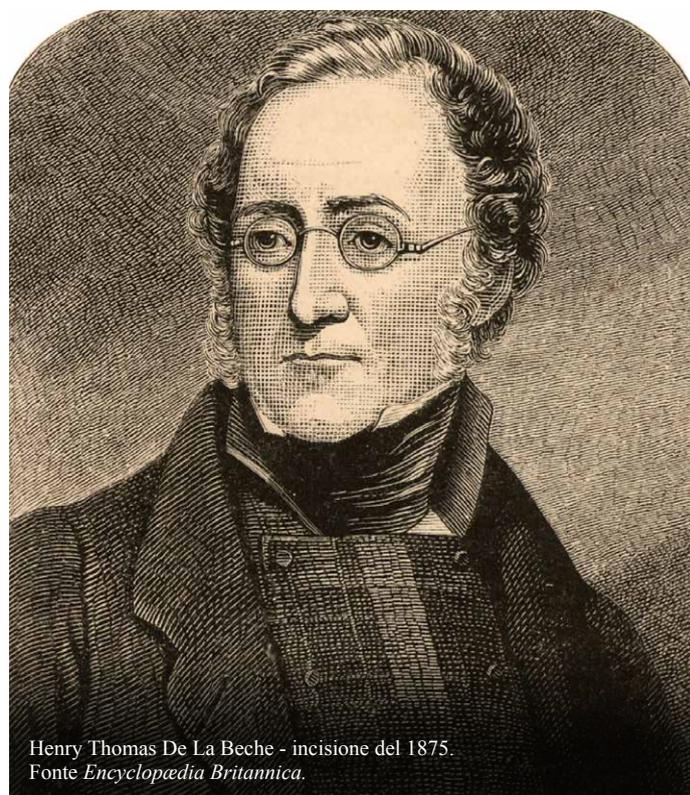
In linea con i gusti del periodo, De la Beche illustra un momento piuttosto dinamico e violento, da leggere in senso orario, partendo dalla grande scena di predazione al centro con l'azione che si sposta dall'acqua alla terra ferma e infine al cielo e coinvolgendo così tutti gli ambienti.



Duria Antiquior, a more ancient Dorset. Fonte [Wikimedia.org](https://www.wikimedia.org).

Il protagonista è un grande ittiosauro che è raffigurato nell'atto di uccidere un plesiosauro afferrandolo per il collo. Ma le scene successive non sono da meno: appena più in basso un altro ittiosauro sta mangiando un pesce, mentre a sinistra un plesiosauro sta cercando di cogliere di sorpresa un (forse) ignaro coccodrillo a riva. In lontananza possiamo vedere come l'azione si sposta dalla terra al cielo, chiudendo così un cerchio, con un plesiosauro che afferra uno pteranodonte ancora in volo.

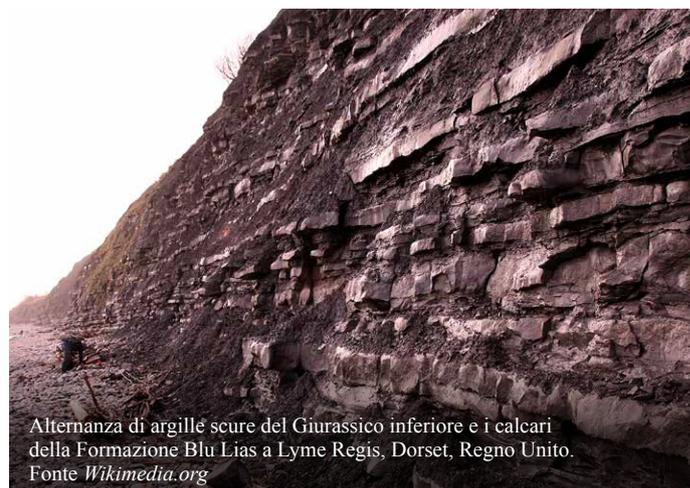
Inoltre, la maggior parte degli ittiosauri presenti nell'immagine sono associati a dei pesci e alcuni sono raffigurati anche nell'atto di espletare le feci. Chiaro riferimento ai resti di coproliti ritrovati così come i fossili di alcuni crinoidi (gigli di mare), visibili nell'angolo in basso a destra. Oltre questi, sono illustrati diversi invertebrati, come belemniti e ammoniti.



Henry Thomas De La Beche - incisione del 1875.
Fonte *Encyclopædia Britannica*.



Dorset Jurassic Coast. Foto di Dimitris Vetsikas da Pixabay.



Alternanza di argille scure del Giurassico inferiore e i calcari della Formazione Blu Lias a Lyme Regis, Dorset, Regno Unito.
Fonte *Wikimedia.org*

Questi elementi e i reperti fossili su cui si basa l'intera illustrazione, rendono *Duria Antiquior* la prima vera opera paleoartistica nel mondo scientifico.

Tuttavia non basta. Per definire in maniera precisa quella che è la paleoarte dobbiamo aspettare ben più di un secolo: il termine viene infatti coniato soltanto negli anni '80 dall'illustratore Mark Hallett per definire il suo lavoro basato su prove fossili evidenti e distinguere le sue illustrazioni scientifiche da quelle popolari e legate spesso alla fantascienza.

Insomma, prima della paleoarte c'era... la paleoarte, anche se non si chiamava ancora così, ma nonostante non avesse ancora un nome, le finalità e le modalità erano le medesime di oggi.

LA CONOSCENZA DELLE MONTAGNE E LA GEOLOGIA, *un binomio inscindibile*



Tra il Club Alpino Italiano e la Società Geologica Italiana c'è sempre stata una forte collaborazione, molti progetti del Comitato Scientifico Centrale del CAI sono stati svolti insieme alla Società Geologica

Italiana. Ora finalmente è stato firmato un accordo quadro fra le due società per coordinare le attività comuni. Nel passato le montagne incutevano timore, i pastori con i loro animali raggiungevano gli alpeggi sotto le cime, i colli erano attraversati per motivi culturali, religiosi, militari. A partire Seicento naturalistici, fisici, antropologi volgono i loro interessi di studiosi verso le terre alte non ancora raggiunte dall'uomo. Ricordo solo qualche nome: fratelli svizzeri Johann Jakob e Johann Scheuchzer, Lazzaro Spallanzani, Horace-Bénédict de Saussure, Deodat de Dolomieu. A partire dall'Ottocento le montagne sono frequentate anche dagli alpinisti ma la salita deve avere soprattutto obiettivi scientifici, se non altro misurare l'altezza con il barometro. Nel 1857 viene fondato a Londra l'Alpine Club ma non tutti i soci riconoscono il legame tra alpinismo e scienza. I club alpini che nascono nel continente negli anni successivi, sono invece voluti e creati da scienziati, per lo più geologi. Nel 1862, alcuni studenti, che avevano frequentato le lezioni di geologia del professor Eduard Suess, Edmund Mojsisovics von Mojsvár, Paul Grohmann e Guido von Sommaruga, fondano l'Österreichischer Alpenverein. Pochi mesi prima della fondazione del Club Alpino Italiano a

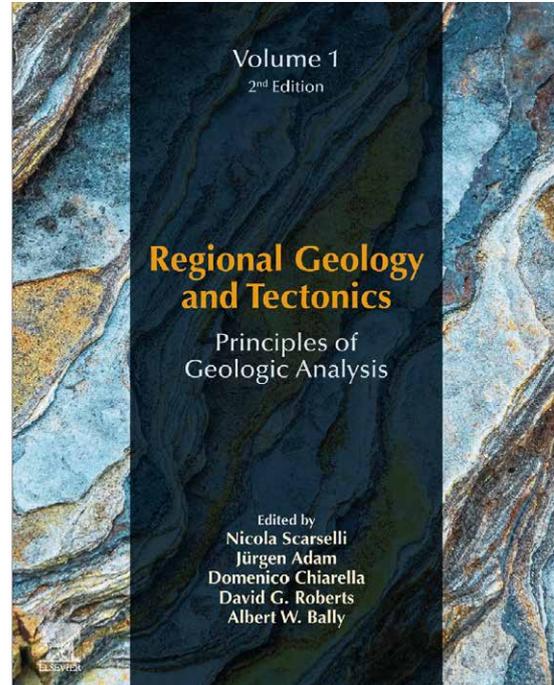
Glarus in Svizzera nasce, il 19 aprile 1863, lo Schweizer Alpen Club. Il promotore è Rudolf Theodor Simler, professore di chimica e geologia all'Università di Berna, che raccoglie nel club svizzero docenti di geologia. Il 12 agosto Quintino Sella e compagni compiono la prima ascensione italiana al Monviso. Sella scrive la relazione della salita in forma di lettera, pubblicata dal giornale «L'Opinione di Torino» e indirizzata a un geologo, Bartolomeo Gastaldi. Il 23 ottobre, nasce al Castello del Valentino il Club Alpino di Torino; tra i soci fondatori erano presenti soprattutto ingegneri minerari (ingegneri geologi), tra i quali lo stesso Sella, e naturalisti. Tra i principi fondatori del Club Alpino non c'è soltanto l'ideale nazionale contro il collezionismo anglosassone: «*le nostre montagne non solo devono essere salite ma anche studiate dagli Italiani: col crescere di questo gusto crescerà pure l'amore per lo studio delle scienze naturali*».

Tra i fondatori voglio ricordare il geologo Felice Giordano, molto legato a Quintino Sella, che fu anche un grande alpinista, è il primo ad affrontare, nell'agosto 1864 la scalata del Monte Bianco dal più ripido versante italiano. Nel 1868, pochi mesi dopo il glaciologo John Tyndall, Giordano scala il Cervino, salendo dal versante italiano e scendendo dal versante svizzero, per «*studiare passo a passo [le rocce] nella loro naturale successione*». Di estremo interesse è la relazione geologica «*Sulla orografia e sulla geologica costituzione del gran Cervino*» (1869), pubblicata negli Atti dell'Accademia delle scienze di Torino. Tra i fondatori e i primi presidenti delle sezioni del Club Alpino vi furono molti geologi.

A Firenze il primo presidente (1868) fu il geologo e paleontologo Iginio Cocchi, conservatore della sezione di Geologia del Museo La Specola di Firenze. Il quarto presidente (1884) della sezione di Genova fu il prof. Arturo Issel, eminente studioso di scienze naturali, che ricoprì la cattedra di Geologia dell'Università di Genova. L'abate Antonio Stoppani, geologo, fu il primo presidente delle sezioni di Milano (1873) e di Lecco (1874). Il geologo Giuseppe Scarabelli Gommei Flamini fu il primo presidente della sezione di Bologna, fondata nel 1875. Il geologo Domenico Zaccagna fu il primo presidente della sezione di Carrara (1888). Nel 1931 Ardito Desio fonda il Comitato Scientifico Centrale del CAI. Scopo principale è la promozione della conoscenza e dello studio degli ambienti montani, obiettivo realizzato attraverso un'opera di divulgazione, per informare ed aggiornare sui problemi scientifici della montagna, e di promozione di ricerche e studi su temi ambientali. Va ricordato anche il Laboratorio carsologico della Grotta di Bossea che opera, fra l'altro, nel campo della ricerca idrogeologica carsica, della geomorfologia e delle caratteristiche tettoniche e litologiche. La collaborazione tra SGI e CAI si inserisce a pieno titolo in questa corrente. Sono numerosi i temi per i quali si può lavorare insieme: formazione, divulgazione, testi scientifici, guide geologiche e naturalistiche, progetti di ricerca, solo per fare qualche esempio. Un supporto importante della SGI sarebbe quello di un sistema di *peer review* per i testi di argomento geologico del CAI che potrebbero, così, essere valorizzati.



REGIONAL GEOLOGY AND TECTONICS: *Principles of Geologic Analysis* 2nd Edition



La seconda edizione del volume *Regional Geology and Tectonics: Principles of Geologic Analysis* rappresenta il primo di una serie di tre volumi incentrati sulla geologia regionale e l'evoluzione tettonica del Fanerozoico. Questa nuova edizione offre al lettore un aggiornamento sui principali processi geologici e include nuove sezioni incentrate e utili per la comprensione della tettonica delle placche, esplorazione di risorse naturali e stoccaggio di CO², e metodi di analisi geologica.

Le caratteristiche principali del volume possono essere riassunte in:

- Dettagliata presentazione gli aspetti fondamentali dell'analisi a scale regionale e l'uso dei principali strumenti geologici e geofisici.
- Revisione della tettonica globale attraverso una serie di mappe geografiche uniche che permettono una veloce e precisa localizzazione dei differenti stili strutturali per numerosi bacini Fanerozoici.
- Introduzione dei concetti chiave di geologia regionale, e relativa bibliografia, che faranno da base per il secondo e terzo volume attualmente in fase di preparazione.

Il volume è rivolto a geologi, geofisici e geologi marini impegnati sia in accademia che nell'industria e interessati a tettonica, analisi di bacini, processi sedimentari e risorse naturali. Il volume rappresenta anche una risorsa per docenti e studenti iscritti a corsi afferenti alle Scienze della Terra.

Editori: Nicola Scarselli, Jürgen Adam, Domenico Chiarella, David G. Roberts, Albert W. Bally

Paperback ISBN: 9780444641342

eBook ISBN: 9780444641359

Editore: Elsevier

Data di pubblicazione: 16 Giugno 2020

Pagine: 894

Indice capitoli: www.elsevier.com/books/regional-geology-and-tectonics-principles-of-geologic-analysis/scarselli/978-0-444-64134-2

IL RESTAURO *del Mosaico della Battaglia di Isso*



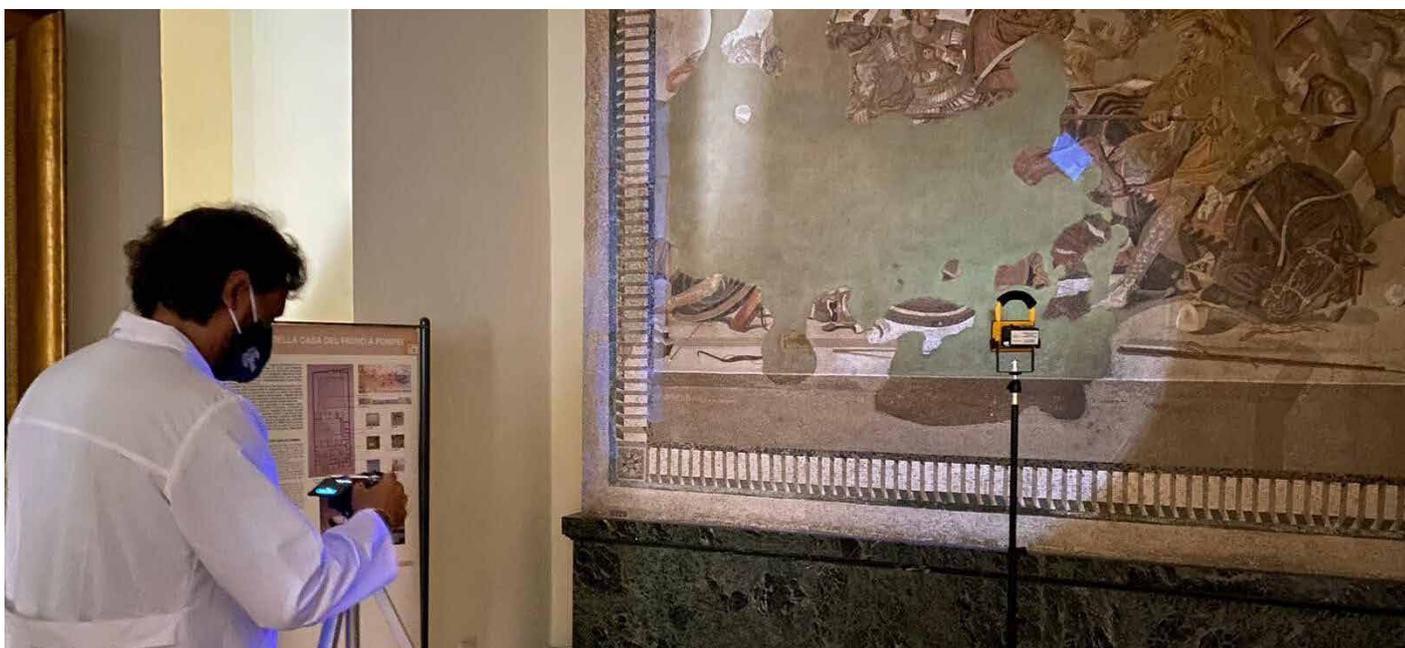
Da diversi anni le discipline proprie delle Geoscienze concorrono sinergicamente nell'ambito dei Beni Culturali. Ci sono numerosi esempi oramai che confermano l'irrinunciabile presenza degli geoscienti in un ambito che fino a poco tempo fa era pressochè inimmaginabile.

Un esempio viene fornito dal restauro del mosaico di Alessandro conservato al MANN di Napoli.

Il Direttore del MANN (Museo Archeologico Nazionale di Napoli) ha affermato che "scriviamo insieme una pagina importante nella storia del Museo Archeologico Nazionale di Napoli e quindi della conservazione dei beni culturali. Sarà un restauro grandioso". Questa sua affermazione si riferisce al restauro del famosissimo mosaico di Alessandro, noto a tutti come Battaglia di Isso. L'Università Federico II ci sarà con il *Center for Research on Archaeometry and Conservation Science* (CRACS), centro interuniversitario istituito tra il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e delle Risorse (DiSTAR) dell'Università di Napoli Federico II e il Dipartimento di Scienze e Tecnologia (DST) dell'Università del Sannio, Benevento. Il CRACS ha già effettuato ed effettuerà una fitta campagna di indagini archeometriche (tecniche minero-petrografiche) tese ad una puntuale caratterizzazione dei materiali. Tali indagini sono oramai ritenute irrinunciabili per una corretta opera di restauro. Le tecniche non distruttive applicate direttamente sul campo sono Videomicroscopia, Analisi video endoscopica, Spettrometria in fluorescenza di raggi X (XRF), Termografia all'infrarosso, *Imaging* multispettrale, Spettroscopia vibrazionale

infrarossa in trasformata di Fourier (FTIR) e Raman. Inoltre, analisi di laboratorio saranno effettuate tramite Microscopia ottica (MO), Diffrazione di raggi X su polveri (XRPD) e al microscopio elettronico a scansione con microanalisi (SEM-EDS). Il restauro, che inizierà nel corrente mese e sarà concluso a luglio, sarà realizzato con la supervisione dell'Istituto Centrale per il Restauro (ICR); tutte le attività diagnostiche sono promosse in rete con l'Università del Molise (UNIMOL) ed il *Center for Research on*





Archaeometry and Conservation Science (CRACS) diretto dalla prof.ssa Giuseppina Balassone.

Come afferma ancora il direttore Giulierini, “sarà un restauro grandioso e unico nel suo genere in quanto realizzato con nuove tecnologie e, tramite l’uso di piattaforme digitali, sarà possibile seguire tutte le operazioni, dalla fase preparatoria al restauro vero e proprio. L’idea è quella di disporre di un cantiere “trasparente” che si svilupperà sotto gli occhi del mondo!”

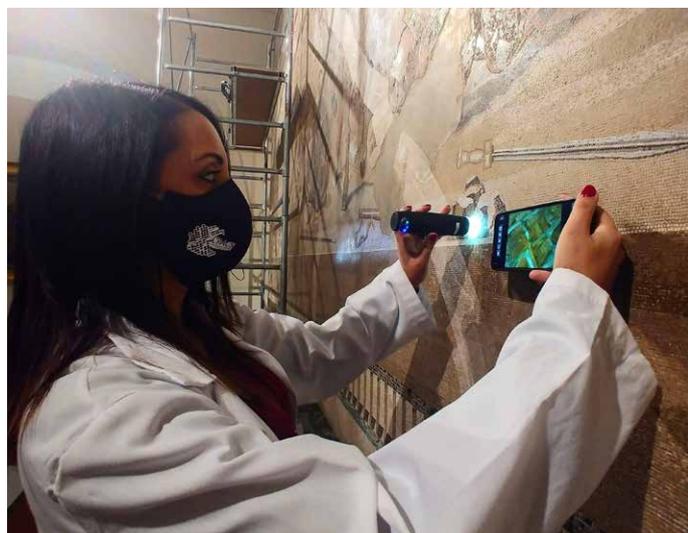
1

Il restauro prevede due momenti, una prima fase (Gennaio - Febbraio 2021) da eseguirsi in situ con l’allestimento di un cantiere visibile, ha come scopo la messa in sicurezza della superficie prima della movimentazione dell’opera. Successivamente, tramite un sistema appositamente progettato, il mosaico sarà rimosso dall’attuale collocazione per permettere ulteriori analisi strumentali necessarie per definire gli interventi di restauro ipotizzati nella prima fase della progettazione e per garantire una corretta conservazione del manufatto.



2

La seconda fase (Aprile - Luglio 2021) interesserà il supporto del mosaico con interventi eseguiti sulla superficie retrostante dell’opera. Un significativo contributo tecnologico sarà fornito dalla TIM che realizzerà particolari occhiali (*smart glasses*), indossati direttamente dai restauratori, necessari per un costante monitoraggio della corrispondenza tra la zona di intervento e la relativa superficie non visibile.



Il gruppo guidato dalla Prof.ssa Balassone ha coinvolto docenti, ricercatori, assegnisti e dottorandi dei due atenei campani. I lavori, promossi dal Direttore del MANN Dr. Paolo Giulierini, sono stati eseguiti sotto l’attenta direzione scientifica del Prof. Antonio De Simone, il coordinamento dell’architetto Dott.ssa Amanda Piezzo e della responsabile del procedimento Dott.ssa Stefania Saviano.

NEWS DAL MONDO *della professione*



Con questa uscita di “Geologicamente” prende avvio questa rassegna che vuole essere una finestra sul mondo dei geologi professionisti che rappresentano un’importante aliquota degli iscritti alla Società Geologica Italiana e che portano avanti le scienze della terra con passione e costanza.

Ci auguriamo che questa rubrica diventi un appuntamento fisso ed un punto di incontro di due modi di vivere le Scienze della Terra, due facce di una stesa medaglia fatta di passione e impegno.

Equo Compenso e SUPERBONUS

Il **DDL di conversione in legge del DL 137/2020** (Decreto Ristori), approvato nella serata del 15 dicembre dal Senato, stabilisce che il calcolo delle parcelle relativi agli **interventi che accedono al superbonus 110% dovranno essere calcolate dai professionisti rispettando il principio dell’equo compenso**, cioè secondo il Decreto Parametri (**DM Giustizia 17 giugno 2016**).

L’articolo 17-bis del DDL (decreto Ristori), introdotto da uno specifico emendamento, reca “**Disposizioni urgenti in materia di equo compenso per le prestazioni professionali**” e prevede che si applichi la disciplina in materia di equo compenso, recata dalla legge professionale forense, nei confronti dei **professionisti incaricati di prestazioni finalizzate all’accesso ai benefici fiscali** (e alla connessa possibilità di opzione per lo sconto o cessione degli stessi) per la **riqualificazione energetica degli edifici (ecobonus)**.



In particolare, l’articolo in esame **obbliga i soggetti destinatari della cessione del credito, banche o intermediari finanziari, ad applicare la normativa sull’equo compenso per le prestazioni professionali**.

Più nel dettaglio:

il comma 1 dell’art. 17-bis fa riferimento alla disciplina sull’equo compenso recata dall’art. 1 comma 487 della legge di bilancio 2018 (legge 205/2017) il quale ha aggiornato l’**art. 13-bis** della legge 247/2012, con la **disciplina del diritto a percepire un equo compenso per le prestazioni rese dai lavoratori autonomi, nei rapporti con clienti diversi dai consumatori, quindi con clienti c.d. forti**;

il comma 2 dell’**art. 19-quaterdecies** del DL 148/2017 **estende il diritto all’equo compenso, previsto per la professione forense, in quanto compatibile, anche a tutti i rapporti di lavoro autonomo che interessano professionisti, iscritti o meno agli ordini e collegi**, i cui parametri sono definiti dai decreti ministeriali di attuazione del DL 1/2012.

Questa norma, dunque, rende obbligatorio utilizzare i parametri (non rende obbligatoria la tariffa) per calcolare le parcelle e risolve una importante questione di carattere deontologico e di decoro professionale.

IN PRESENZA O VIRTUALE

90° CONGRESSO della Società Geologica Italiana

dal 13 al 17 Settembre 2021 | Trieste

- L'invio dei riassunti sarà aperto dal 22 Marzo al 23 Maggio 2021
- La decisione sul formato in presenza o virtuale sarà comunicata non più tardi del 14 Maggio 2021

VI ASPETTIAMO!

Con l'augurio di poter svolgere il convegno in presenza, il comitato organizzatore si sta muovendo per renderne possibile lo svolgimento in sicurezza.

Il motto del convegno "Geologia Senza Confini", vuole essere un auspicio per un incontro tra ricercatori, non solo italiani, per

promuovere e rafforzare le Scienze della Terra, una disciplina sempre più necessaria e proiettata nel futuro.

Le Scienze della Terra vanno intese non solo come necessarie per la migliore comprensione dell'interno del pianeta Terra, ma anche come difesa della società da eventi geologici pericolosi, per la comprensione delle variazioni climatiche, per la pianificazione e l'uso delle georisorse in modo etico e nel rispetto e salvaguardia dell'ambiente.

Il programma del convegno è rivolto in gran parte a queste tematiche e gli interessati sono invitati ad intervenire numerosi.

Laddove non sarà possibile effettuare il convegno in presenza, si sta predisponendo una modalità di partecipazione telematica, fatta e costruita in modo professionale per poter essere più interattiva possibile.

Confidiamo, anche con la modalità da remoto, in una forte presenza degli interessati, che potranno presentare i risultati delle loro ricerche sia nelle comunicazioni orali delle varie sessioni che nelle sessioni poster, con gli eventi plaeinari, mantenuti come da programma.

I PRESIDENTI DEL CONGRESSO

Angelo Camerlenghi e Francesco Princivalle

Elezioni CNG

Nonostante l'emergenza sanitaria si sono svolte con modalità tradizionale, nei mesi di settembre-ottobre, le elezioni per il rinnovo del Consiglio Nazionale dei Geologi.

Il Consiglio Nazionale, che si è insediato nel mese di novembre 2020, vede come eletti:

- Domenico Angelone
- Lorenzo Benedetto
- Alessandra Biserna
- Paolo Spagna
- Fabio Tortorici
- Filippo Cappotto
- Giovanni Capulli
- Valentina Casolini
- Emanuele Emani
- Daniele Mercuri
- Mario Nonne
- Rudi Ruggeri
- Domenico Sessa
- Roberto Troncarelli

All'unanimità dei 15 consiglieri presenti è stato eletto Presidente Arcangelo Francesco Violo, geologo calabrese, già Segretario Nazionale nella consiliatura precedente. Il Consiglio rimarrà in carica per il quinquennio 2020-2025.



1 - Società Geologica Italiana, Sezione di Storia delle Geoscienze - Accademia delle Scienze di Torino.

2 - Società Geologica Italiana, Sezione di Storia delle Geoscienze, Città Metropolitana di Roma Capitale, Dip. VI.

Servizio 3 Geologico e difesa del suolo, protezione civile in ambito metropolitano

3 - Già professore di Geologia degli Idrocarburi presso il Dipartimento di Scienze della Terra "Ardito Desio", Università Statale di Milano.

IL TRAFORO DEL FREJUS e l'abbattimento dell'ultimo diaframma

con resoconto di Felice Giordano a
Quintino Sella e Costantino
Perazzi

È ormai prossima la ricorrenza dei 150 anni del Traforo del Fréjus, inaugurato il 17 settembre 1871. La sua storia è narrata in un articolo che ricostruisce un secolo e mezzo di progetti, studi geologici e trafori attraverso l'arco alpino (Dal Piaz & Argentieri, 2019, 2020). Il Frejus - indicato

anche Cenisio, Mont Cenis o Moncenisio - è stato il primo e, fino all'apertura del San Gottardo (1882), il più lungo tunnel del mondo, celebre per aver inaugurato con successo la rivoluzionaria perforazione meccanica ad aria compressa (Paleocapa, in Maus 1850; Sommeiller *et al.*, 1863; Bignami, 1871; Covino, 1871; Biadego, 1906). Percorriamo la storia di questa memorabile impresa seguendo la monografia che Cialdini (2011) ha scritto per le celebrazioni del 150° anniversario dell'Unità d'Italia.

L'idea di migliorare in modo radicale le vie di comunicazioni tra il Piemonte e la Savoia con un tunnel sotto il monte Frejus (Alpi Cozie) fu concepita dal valsusino Giuseppe Medail (1841) e vanamente proposta al governo del Regno di Sardegna. L'idea fu ripresa da Luigi des Ambrois, ministro del Re Carlo Alberto, che nel 1845 incaricò l'ingegnere belga Henry Maus di redigere un progetto preliminare del traforo, con la collaborazione geologica di Angelo Sismonda (Maus, 1850). Il progetto prevedeva una galleria di 12.290 m tra Bardonecchia (Piemonte) e Modane (Savoia), fu approvato da una commissione ministeriale, ma venne poi abbandonato sotto l'onda dei moti rivoluzionari del 1848.

Il progetto venne affrontato da Vittorio Emanuele II, salito al trono nel 1849, dopo l'esilio di Carlo Alberto, nell'ambito degli interventi per modernizzare il Regno di Sardegna, promossi da Massimo d'Azeglio e Camillo Benso Conte di Cavour, con l'assistenza di ministri e tecnici validissimi. In pochi anni fu costruita una rete ferroviaria che, alla fine

del 1859, era di quasi 900 km, ma rimaneva il problema di connetterla alla rete europea attraverso la barriera delle Alpi. La scelta cadde sul traforo ferroviario del Frejus: il progetto fu ripreso e sviluppato da Sommeiller, presentato in parlamento da Menabrea, Paleocapa e dallo stesso Cavour e approvato il 15 agosto 1857, con uno stanziamento di 41 milioni e 400 mila lire. La direzione tecnica fu affidata ai giovani ingegneri Germain Sommeiller, Sebastiano Grandis e Severino Grattoni (**Fig. 1**), autori del progetto definitivo, elaborato assieme all'ing. Ranco, poi distaccato ad altro incarico (Lesca, 1998; Cialdini, 2011).

Lo scavo del traforo, lungo 12.234 m, ebbe inizio il 31 agosto 1857, con una solenne cerimonia a Les Fourneaux (Modane), coronata da una volata di mine fatte brillare con innovativo contatto elettrico da S.M. Vittorio Emanuele, in presenza del principe Girolamo Napoleone (futuro Napoleone III). Lo scavo si protrasse con alterne vicende per dodici anni e mezzo, dimezzando il tempo previsto grazie all'impiego, per la prima volta, di perforatori meccanici ad aria compressa. Un prototipo, costruito in Belgio, era stato sperimentato da Sommeiller nel 1857 in una cava di calcare presso Genova, e giudicato positivamente da una *Commissione governativa per la rapida esecuzione di gallerie alpine*, voluta da Cavour e composta da L. Des Ambrois (presidente), F. Menabrea, D. Ruva, Q. Sella e C.I. Giulio. In particolare, nel rapporto della commissione si legge: *"I perforatori meccanici possono essere mossi dall'aria compressa ed essi consentono una velocità circa dieci volte maggiore per la predisposizione dei fori per la collocazione delle mine, rispetto al lavoro manuale. L'uso dei perforatori meccanici abbrevierà e lo abbrevierà tanto più rispetto al lavoro manuale, quanto più sarà ribelle la natura dei terreni"*. La relazione terminava con l'invito a *"metter mano sollecitamente alle operazioni"*, iniziando con lo scavo manuale della galleria, in attesa dei mezzi *"per proseguirlo con il più celere procedimento"* (Sommeiller, 1857; Sommeiller *et al.*, 1863; Cialdini, 2011). La perforazione ad aria compressa iniziò il 12 gennaio 1861 nella galleria di Bardonecchia e, due anni dopo, in quella di Modane, utilizzando le innovazioni tecniche sviluppate nel frattempo da Sommeiller e compagni. La progressione della galleria nel lato

Bardonecchia nei nove anni (1862-1870) di scavo con i perforatori pneumatici fu in media di 690 m/anno, in quella di Modane (1863-1870) di 530 m/anno, circa tre volte maggiori di quelle realizzate in precedenza con la tecnica tradizionale. La **Fig. 2** mostra la galleria e le zone d'accesso in sezione e in un piano geologico a colori, con rappresentazione delle varie tipologie dello scavo.

Le condizioni di lavoro furono durissime, documentate da 760 ricoveri in infermeria e 48 morti, compresi i diciotto decessi per una epidemia di colera e le otto vittime di risse. L'areazione era del tutto insufficiente, segnalata dall'ingegner Copello, solito

ripetere che *"se tu vi stessi dentro per un turno di un operaio, sputeresti nero per quindici giorni. Dopo la volata di mine, il fumo è tale che il visitatore riesce a vedere solo il lumicino che tiene in mano, ed è immerso in odore di zolfo che mozza il fiato ed in nebbia che soffoca"* (Antonetto, 2011).

Rivolgiamo ora l'attenzione alle emozionanti fasi finali dello scavo descritte da vari autori e riassunte da Cialdini (2011): a partire dal 9

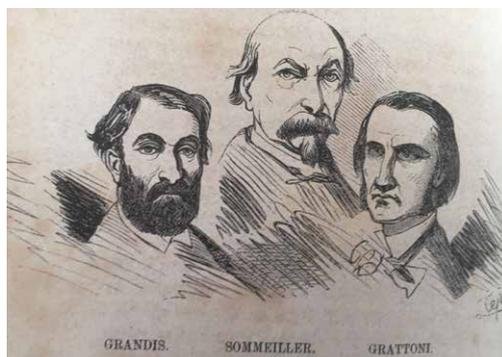


Fig. 1 - Ritratto del "triumvirato di ingegneri": Sommeiller, Grattoni e Grandis.

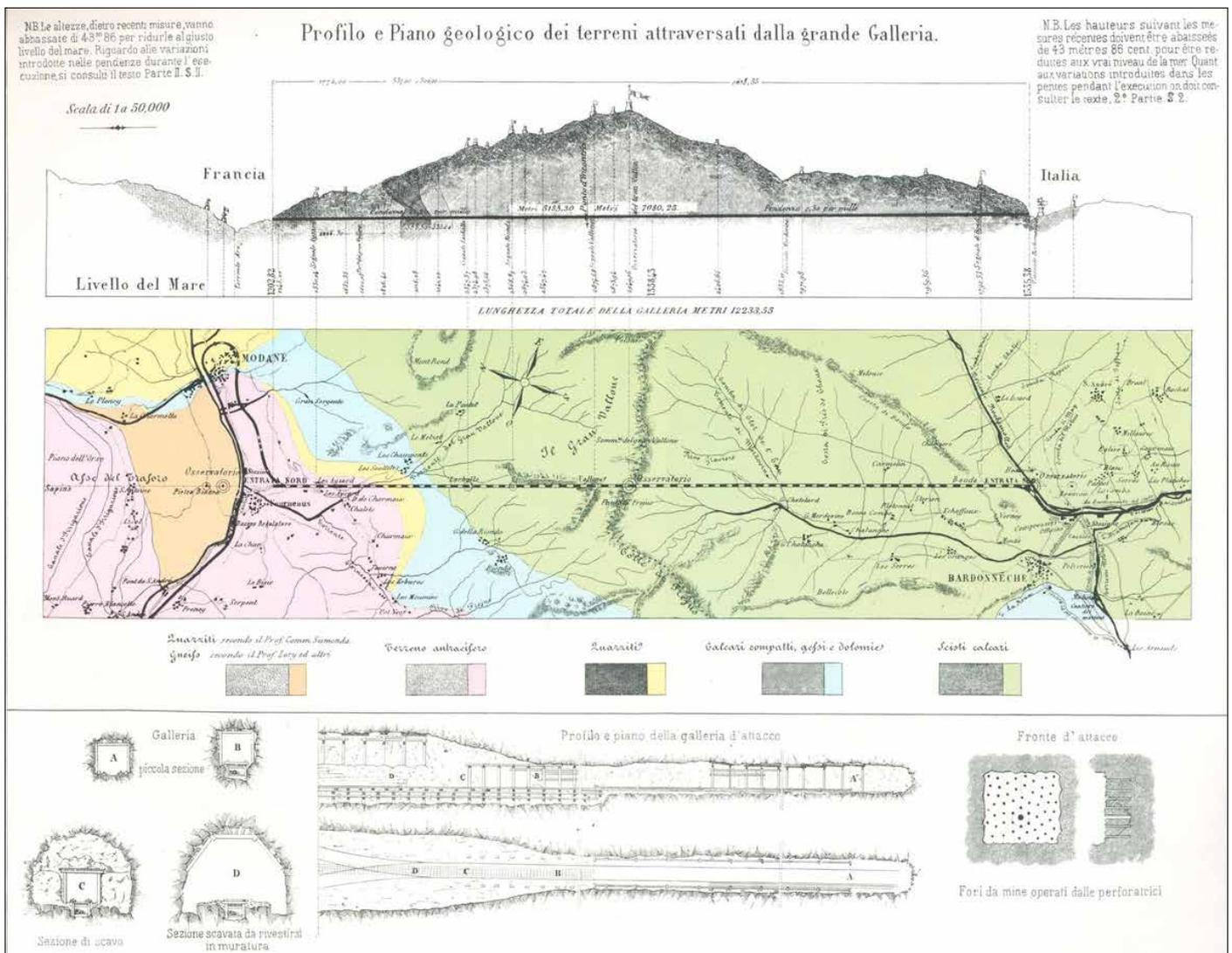


Fig. 2 - Profilo e piano geologico a colori del traforo del Fréjus, la grande Galleria, da una tavola di Covino (1871, tra p. 80 e 81), incisa dalla Calco-Lit. Marchisio e Figli, Torino.

novembre 1870 i minatori avevano cominciato ad avvertire il rumore delle mine fatte brillare nell'opposta galleria e, dal 26 novembre, anche il rumore dei perforatori a percussione. Il 15 dicembre, secondo i calcoli della direzione lavori, mancavano solo 40 m per congiungere le due gallerie e gli ingegneri Copello (galleria Modane) e Borelli (galleria Bardonecchia) si tenevano in stretto contatto telegrafico. Si avvicinava il Natale e alla sera del 22 dicembre Copello telegrafava a Borelli: "Allo scoppio vostre mine, abbiamo visto la roccia vibrare. Ci sembra che la distanza sia minore di quanto risulta dai calcoli, che indicano che mancano 5,50 m". Alle ore 16 del 23 dicembre, altro telegramma di Copello: "Noi faremo sparo mine alle ore 17,30 precise. Prima proveremo a battere con la mazza nove colpi, distinti in tre gruppi di tre. Se sentite, rispondete stesso mezzo subito dopo lo sparo". Alle ore 3,45 del 25 dicembre, Copello telegrafa: "Indizi prossimo incontro sempre più evidenti i nostri scalpelli oscillano quando si sentono i colpi delle vostre perforatrici [...]. Poi organizzeremo lo sparo in contemporanea". Alle 16 del giorno di Natale l'evento fatidico: la sonda frontale fora il diaframma roccioso, ridotto ormai a soli 1,5 m di spessore. La notizia via telegrafo è trasmessa a Torino e, poco dopo le 17, Menabrea, Sommeiller e una quarantina di altri tecnici e politici partono in treno da Torino diretti a Susa, poi in carrozza sino a Bardonecchia, dove arrivarono all'una di un gelido 26 dicembre (temperatura -8°C) e infine al cantiere, dove tutti indossano le giacche da minatore. Enea Bignami era uno di loro e così descrive l'evento: "Giunti nella galleria di piccola sezione di due metri di larghezza, procedemmo con l'aiuto delle lucerne dei minatori fino alla parete che ancora tramezzava il sotterraneo. Giunti al fondo della grotta ci trovammo di fronte alla parete [...] forata dalla

sonda. Da questo pertugio si parlava con quelli venuti da Modane, gli italiani stringevano la mano ai francesi attraverso il buco lasciato dalla sonda. I pertugi per le mine erano pronti da entrambi i lati, furono riempiti con le mine [...]. Erano le 5,20 del mattino del 26 dicembre 1870 quando ad un tratto scoppiarono le mine. Una violenta corrente ci avvolse di fumo denso. Per un buon quarto d'ora si rimase al buio. Nessuno parlava, ma tutti tossivano" (Bignami, 1871). Un soffio d'aria fresca investe i presenti, è il segnale che "finalmente la breccia è aperta! Momento solenne! Alla breccia era un urtarsi, un pigiarsi per passar dall'altra parte. Mentre da Bardonecchia si andava verso Modane, da Modane si veniva di qua; era una doppia corrente. Quanti amplessi! Quante strette di mano! Il primo grido fu Viva l'Italia! Viva Vittorio Emanuele!" (dal *Monitore delle strade ferrate*, 4 gennaio 1871, Cialdini, 2011). Tra i presenti vi era anche Felice Giordano (ingegnere di 1° classe del R. Corpo delle Miniere, futuro direttore del Servizio geologico; Corsi, 2001) che si premura di descrivere l'atteso evento all'amico Quintino Sella, assente per impegni ministeriali: lo fa con una lettera manoscritta di quattro pagine, datata Bardonecchia 26 dicembre 1870, di cui trascriviamo i passi principali. Destinatario è anche l'amico Costantino Perazzi che aveva seguito le orme di Sella, prima nel R. Corpo delle Miniere, poi nel campo politico. "Caro Quintino (anche per Perazzi), Forse non ti sarà discara [sgradita] qualche notizia del traforo alpino così felicemente terminato. Ieri [25 dicembre 1870] alle 4 1/2 p la sonda di 4 met. che si spingeva innanzi per precauzione dalla nostra parte verso Modane sboccò finalmente nella galleria opposta e precisamente nel mezzo, potemmo poi riconoscere che li due tratti si corrispondono



perfettamente sia nella direzione che nel livello. Ciò fa l'onore dei nostri ingegneri Copello e Borelli che fecero le operazioni di tracciamento. Oggi non resta più che un diafragma di 1m.30 che sarà fatto saltare con le ultime mine innanzi alla commissione che si attende da Torino con Menabrea, ed altri. Ciò che non fu esatto è la lunghezza della galleria, perché invece dei soliti 12.220^{met} riuscì di 12.236^{met} circa, cioè 16 metri più lunga del calcolato”, cosa che Giordano attribuisce a possibili imprecisioni della base trigonometrica dello Stato Maggiore. Riporta inoltre le misure di temperatura della roccia in galleria, con “maximum in circa +28 ¾ sotto 1660 met. di spessore di roccia”, poi descritte in una nota (Giordano, 1871). Il resoconto di Giordano così continua, rivolgendosi ora all'amico in veste di ministro delle finanze: “Jeri sera, quando sotto i nostri occhi ansiosi la sonda traversò finalmente in Francia, e che potemmo per la prima volta parlarci attraverso quel foro con gli amici dell'altra parte, fu una scena per noi commoventissima. Gli operai in folla, quei bravi operaj che lavorarono per più di 12 anni come arrabbiati all'improbabile lavoro si precipitavano verso quel buco e si gridavano viva l'Italia! Il traforo lo abbiamo fatto noi! Era uno spettacolo da far piangere. Ora pur troppo tutto questo eccellente personale fatto con tante pene, abnegazione e spesa va a spersersi e restare anche press'a poco senza pane. Lo stesso può dirsi pressa a poco della preziosissima esperienza acquistata dal nostro personale tecnico, che sarà perduto insieme al costoso materiale di macchine da loro inventate”. L'auspicio è che questo personale e le competenze acquisite siano utilizzate al meglio per il progettato traforo del San Gottardo, finanziato dall'Italia per oltre la metà, evitando che possa finire “in balia del primo imbroglione che vorrà impadronirsi dell'impresa [senza poterla] nemmeno condurre a termine”. Le preoccupazioni di Giordano non erano infondate: nel 1872 il contratto per il traforo fu aggiudicato dalla Entreprise du Grand Tunnel du Gothard di Louis Favre (Ginevra), sulla base di una offerta migliore di quella presentata dalla Società italiana per i lavori pubblici di Grattoni che, appoggiato da Quintino Sella, aveva proposto di riutilizzare il personale e i macchinari del tunnel del Fréjus. La felice conclusione dei lavori di scavo del tunnel del Fréjus ebbe immediata risonanza a Torino, in Italia e nel mondo. Come autorevole esempio, questo il commento (tradotto) di Scientific American del 7 gennaio 1871: “A questa impresa da 13 anni si guarda come ad uno dei massimi eventi dell'ingegneria moderna. Il tunnel del Moncenisio, con le sue otto miglia di lunghezza, è la più grande opera mai intrapresa, e il successo e la rapidità con cui è stata terminata rappresenta un trionfo dell'ingegneria che non ha paragoni”. Seguirono i festeggiamenti ufficiali, iniziati a Bardonecchia domenica 17 settembre 1871 con l'inaugurazione solenne del traforo alla presenza del Re, di invitati di rango e della stampa. Quintino Sella tenne un discorso in cui celebrava l'abilità degli ingegneri piemontesi (Palmero, 1872; Cialdini, 2011). Lunedì 18 fu organizzata una visita al traforo per le Società operaie e alla sera vi fu un gran ballo popolare in piazza Statuto. Martedì 19 il treno effettuò il viaggio Torino-Modane, ma arrivato in Francia vi furono poche bandiere e una ferale mestizia. Era questo uno dei periodi più tristi per la Francia, dopo la sconfitta di Sedan, l'assedio di Parigi e il crollo dell'impero di Napoleone III, mentre i rapporti politici con l'Italia non erano idilliaci a causa della presa di Roma. Al ritorno del treno a Bardonecchia e più ancora a Torino l'atmosfera tornò molto festosa e la giornata si concluse con un pranzo di gala organizzato dal Re per gli ospiti illustri e le alte autorità dello Stato. Nessuno sembrava aver enfatizzato l'oscuro e determinante lavoro dei minatori, né ricordato il nome delle vittime

del traforo. Lo rilevò Bignami durante le celebrazioni (Antonetto, 2011): “Non sarebbe il caso, di dare una medaglia commemorativa a quanti vi avranno lavorato? Non sarebbe bene che l'operaio, anch'esso con la sua medaglia, aumentasse nel popolo il rispetto e l'amore al lavoro e non si perdesse mai la memoria di un'opera che non meno delle patrie battaglie è fatta per rialzare la dignità della nazione?”

L'idea di erigere un monumento in ricordo del traforo Cenisio-Fréjus, “gloria patria e apoteosi del lavoro”, fu avanzata dalle Società Operaie di Torino: il monumento fu realizzato da Luigi Belli e solennemente inaugurato in Piazza Statuto il 26 ottobre 1879 alla presenza del Re Umberto I (Antonetto, 2011). Un tributo postumo agli ignoti comprimari della grande impresa collettiva, ai quali questa breve nota, un secolo e mezzo dopo, vuole rendere omaggio al pari dei protagonisti.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare la Fondazione Sella Onlus di Biella e Angelica Sella, suo presidente, per aver concesso copia della lettera di Felice Giordano a Quintino Sella commentata in questa nota. Alberto Blandin Savoia ha confermato la provenienza della figura 2 da una tavola della monografia di Covino (1871).

BIBLIOGRAFIA

- Antonetto R. (2011).** *Frejus. Memorie di un monumento.* Umberto Allemandi & C., Torino, 198 pp.
- Biadego G.B. (1906).** *I grandi trafori alpini Fréjus, San Gottardo, Sempione ed altre gallerie eseguite a perforazione meccanica.* Ulrico Hoepli Editore, Milano, 2 vol., 1228 pp.
- Bignami E. (1871).** *Cenisio e Fréjus con una lettera del Generale Menabrea.* G. Barbera Editore, 349 pp. e carta speciale del Cenisio.
- Cialdini P. (2011).** *Frejus. Storia del primo traforo delle Alpi e degli uomini che lo realizzarono 1871-2011.* Ministero Infrastrutture e Trasporti, 79 pp.
- Corsi P. (2001).** *Giordano, Felice.* Dizionario Biografico degli Italiani, vol. 55.
- Covino A. (1871).** *Guida al Traforo del Cenisio da Torino a Chambéry, ossia Le valli della Dora Riparia e dell'Arc e la galleria delle Alpi Cozie.* Luigi Beuf, Libraio Torino, 174 pp.
- Dal Piaz G.V. & Argentieri A. (2019).** *Sessant'anni del Traforo del Monte Bianco, la storia di una impresa. Prologo: da Annibale alle grandi gallerie alpine.* Acque Sotterranee. Italian Journal of Groundwater, AS30-404, 75-81.
- Dal Piaz G.V. & Argentieri A. (2020).** *150 years of plans, geological survey and drilling for the Fréjus to Mont Blanc tunnels across the Alpine chain: an historical review.* Accepted by Italian Journal of Geosciences. (doi.org/10.3301/IJG.2020.29).
- Giordano F. (1871).** *Sulla temperatura della roccia nella Galleria delle Alpi Cozie (detta volgarmente del Cenisio).* Boll. R. Comitato Geol. d'Italia, Gennaio-Febbraio 1871, 1-63.
- Lesca C. (1998).** *Tre ingegneri per un traforo. La storia della ferrovia del Frejus.* Editrice Melli, Borgone di Susa-Torino, 181 pp.
- Maus H.J.M. (1850).** *Rapport sur les études du chemin de fer de Chambéry à Turin et de la machine proposée pour exécuter le tunnel des Alpes entre Modane et Bardonnèche par le Chevalier Henri Maus et Rapport rédigé au nom de la commission chargée de l'examen de ces études par le Chevalier Pierre Paleocapa; suivi des procès-verbaux des séances de cette commission.* Imprimerie Royale, Turin, 56 pp.
- Medail J.F. (1841).** *Projet de percement des Alpes entre Bardonnèche et Modane.* Imprimerie Dumoulin, Ronet et Sibuet, Lyon, 16 pp.
- Palmero G. (1872).** *Cronaca del Traforo delle Alpi Cozie e memorie di Torino e Bardonecchia nei giorni 17, 18 e 19 Settembre 1871.* Parte I e II, Eredi Botta, Torino, 207 pp.
- Sommeiller G. (1857).** *Risposta dell'ingegnere Sommeiller alle accuse mosse dal signor G. B. Piatti contro gli ingegneri Grandis, Grattoni e Sommeiller.* Botta, Torino, 60 pp.
- Sommeiller G., Grattoni S. & Grandis S. (1863).** *Trafo delle Alpi tra Bardonnèche e Modane. Relazione della Direzione Tecnica alla Direzione Generale delle Strade ferrate dello Stato.* Tipografia Ceresole e Panizza, Torino.

INCONTRA gli Autori

1. MARCO ROMANO

Marco Romano è paleontologo presso il Dipartimento di Scienze della Terra de La Sapienza, Università di Roma. Dopo aver conseguito il PhD ha speso due anni presso il *Museum für Naturkunde* di Berlino come ricercatore *post-doc* in paleontologia dei vertebrati, e un successivo biennio come ricercatore *post-doc* in Sud Africa, presso l'*Evolutionary Studies Institute* (ESI) della *Witwatersrand University* di Johannesburg. Le sue ricerche vertono su un interesse ampio nella biologia evolutiva e paleontologia dei vertebrati, combinando diversi approcci quantitativi classici e moderni. Conduce inoltre ricerche nell'ambito della filosofia e storia della scienza, esaminando, nell'ambito della Sezione Geoitaliani della Società Geologica Italiana, la comparsa ed evoluzione nel tempo di concetti centrali per le Scienze della Terra. Dal 2012 è Ricercatore Associato in Paleontologia dei Vertebrati del *San Noble Museum* di Norman in Oklahoma. Dal 2018 è corresponding member della *Subcommission on Permian Stratigraphy* della *International Commission on Stratigraphy* e dal 2019 è *Ordinary Member* della *International Commission on the History of Geological Sciences* e riveste il ruolo di *Explorer* per la *National Geographic*. Dal 2021 è consigliere presso il Consiglio Universitario Nazionale (CUN) per l'area 04-Scienze della Terra.

2. FRANCESCO SALESE

Ha conseguito il Dottorato Europeo in Scienze presso l'Università "G. D'Annunzio" di Pescara dove ha studiato il ciclo erosivo e deposizionale marziano. Ha completato la sua formazione con un master in Istituzioni e Politiche Spaziali presso la "Società Italiana per l'Organizzazione Internazionale (SIOI)" a Roma e ha trascorso un periodo *post-dottorato* presso l'Agenzia Spaziale Italiana prima di trasferirsi all'Università di Nantes (Francia) dove ha iniziato studiare la geologia e l'idrologia del sito di atterraggio del rover Nasa 2020. Nel 2018 ha ricevuto dalla Commissione europea la *Marie Curie Individual Fellowship* che ha condotto presso l'Università di Utrecht dove ha studiato la stratigrafia fluviale marziana e paleoambienti fluviali terrestri dal Siluriano al Carbonifero. Ora è ricercatore associato ad un ERC-CG presso il Centro de Astrobiologia di Madrid e membro del team della *Camera ESA CaSSIS ExoMars* e del *ExoMars Rover Science Operations Working Group* (RSOWG).



3. GIUSEPPE SOLARO

Giuseppe Solaro, Laureato in Scienze Geologiche presso l'Università di Napoli "Federico II", ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in Scienze della Terra presso la medesima università. Nel 2003 è *'visiting student'* all'Università Blaise Pascal di Clermont-Ferrand in Francia, per la modellazione analogica delle deformazioni del Somma-Vesuvio. Dal 2005 al 2010 è Assegnista di Ricerca presso INGV-Osservatorio Vesuviano dove si occupa della generazione di mappe di deformazione da dati SAR interferometrici per l'analisi di fenomeni vulcanici dei vulcani napoletani. Dal 2010 è Ricercatore presso il CNR-IREA di Napoli; la sua attività di ricerca riguarda principalmente lo sviluppo di algoritmi per la generazione di mappe e serie storiche di deformazione con tecniche SAR e la modellazione geofisica di sorgenti di deformazione per l'analisi di fenomeni deformativi sismici e vulcanici. È autore di più 40 articoli scientifici su riviste *peer-reviewed*. Nel 2019 ha vinto il premio "Ricerca applicata allo studio delle per pericolosità geologiche" 2019-2020 indetto dalla Società Geologica Italiana.

4. ROSSANA SANFILIPPO

Docente di Paleontologia presso il Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali dell'Università di Catania. Studia aspetti legati alla (paleo)ecologia, sistematica e (paleo) biodiversità di associazioni a invertebrati bentonici, utilizzando in maniera integrata alcuni tra i gruppi tassonomici più comuni, tra cui in particolare i Policheti Serpulidi, di cui è specialista. Ha maturato esperienza sulle biocostruzioni come *reefs* a policheti, coralligeno, biostalattiti di grotte sommerso e *mounds* a coralli bianchi, occupandosi della loro biodiversità ed evoluzione. Il *range* temporale va dall'attuale al Plio-Pleistocene, ma alcune ricerche riguardano associazioni più antiche cenozoiche e mesozoiche, spingendosi fino al Paleozoico superiore. Autrice di ca. 120 pubblicazioni.

5. ALESSANDRA CASINI

Nata a Grosseto (Toscana) nel 1964. Si è laureata in Lettere Antiche indirizzo archeologico presso l'Università degli Studi di Siena con il Prof. Riccardo Francovich, con una tesi di archeologia mineraria sui Monti di Campiglia Marittima (LI). Ha lavorato nel Parco Archeominerario di San Silvestro (Parchi Val di Cornia S.p.A. - LI). Dal 2011 è Direttore del Parco Nazionale delle Colline Metallifere dove ha curato le procedure per l'inserimento del Parco all'interno della Rete Mondiale dei Geoparchi UNESCO e fa parte del *Roster* degli *Evaluators* della medesima Rete. Ha curato la procedura per l'ottenimento della Carta Europea del Turismo Sostenibile delle Aree Protette del Parco. Dal 2005 al 2019 è stata il direttore tecnico e artistico del Festival del Teatro delle Rocce (GR) - festival di teatro, musica e danza.



Autrici Alessandra Casini

Parco delle Colline Metallifere – Tuscan Mining UNESCO Global Geopark.

Elena Buracchi

Dipartimento Scienze Fisiche della Terra e dell' Ambiente – Università degli Studi di Siena.
Parco delle Colline Metallifere – Tuscan Mining UNESCO Global Geopark.

COME SCOPRIRE IL PAESAGGIO GEOMINERARIO VISITANDO IL PARCO DELLE COLLINE METALLIFERE *Tuscan Mining Unesco Global GEOPARK*

Foto di sfondo di M. Porciani: Geosito di interesse regionale Le Biancane (Monterotondo Marittimo). Campi di alterazione geotermica. Percorso attrezzato.



il paesaggio minerario toscano

Per Informazioni:

- www.parcocollinemetallifere.it
- [parcocoim](https://www.facebook.com/parcocoim)
- [parcodellecollinemetallifere](https://www.instagram.com/parcodellecollinemetallifere)
- [parco delle colline metallifere](https://www.youtube.com/parco_delle_colline_metallifere)

Inquadramento dell'area

Il territorio del Parco delle Colline Metallifere si estende nella Provincia di Grosseto in una zona a carattere prevalentemente collinare, ricoperta da estese aree boschive su una superficie di 1087 kmq e comprende i territori di sette comuni: Follonica, Scarlino, Gavorrano, Massa Marittima, Montieri, Monterotondo Marittimo, Roccastrada (**Fig. 1**).

Costituisce un segmento della lunga catena preappenninica alla quale Paolo Savi dette il nome di "Catena Metallifera". Le Colline Metallifere sono state oggetto di sfruttamento minerario fin dall'epoca protostorica fino al secolo scorso per i minerali di argento, rame, per l'alunite e la lignite picea. Sono state uno dei distretti minerari più importanti d'Italia per l'estrazione della pirite nel '900. Oggi, dopo la chiusura delle miniere, il territorio è ancora attivo grazie allo sfruttamento dei fluidi endogeni dei campi geotermici di Monterotondo Marittimo e Travale per la produzione di energia elettrica, teleriscaldamento e supporto ad alcune attività produttive (caseifici, birrifici).

Il territorio è ricco di risorse minerarie (calcopirite, galena argentifera, sfalerite, tetraedrite, pirite, alunite e lignite picea), geotermiche e termali, il cui sfruttamento ha lasciato numerosissime tracce che hanno creato un paesaggio unico e irripetibile.

Resti di antichi pozzi minerari e di aree di scorie metallurgiche si trovano ovunque nella zona, testimoni di un'attività in certi periodi quasi esclusiva.

La dinamica del popolamento di età medievale è ancora ben leggibile per la presenza di centri storici ancora in vita a mezza costa ed è caratterizzata da resti di castelli abbandonati per la maggior parte

Fig. 1 - Carta del Parco con le Porte del Parco, siti minerari e geositi.

www.parcocollinemetallifere.it/index.php/category/visita-il-parco/porte-del-parco



Fig. 2 - Porta del Parco di Monterotondo Marittimo Interno del Museo MuBIA Geomuseo delle Biancane. Foto di M. Porciani.



Fig. 3 - Porta del Parco di Gavorrano. Percorso museale Miniera Ravi Marchi. Foto di M. Porciani.



Fig. 4 - Horst delle Cornate con il paese di Gerfalco (Montieri). Foto di M. Porciani.

nel corso del XIV secolo e da resti di attività minerarie strettamente connesse con tali abitati.

Le prime testimonianze relative all'attività mineraria si riferiscono all'Età del Bronzo e successivamente al periodo etrusco (VII-VI secolo a.C.) con i resti di un villaggio situato nei pressi del Lago dell'Accesa (Massa Marittima) e numerose necropoli ed abitati presenti lungo la Valle del Sovata e nel territorio di Gavorrano e Scarlino strettamente connessi con la città etrusca di Vetulonia. Il sistema insediativo collinare è, comunque, dominato dalla presenza di Massa Marittima, città murata medievale di elevatissimo valore storico e artistico, autorevole capitale del distretto minerario. Proviene, infatti, da Massa uno dei primi codici minerari medievali d'Europa (1311).

Alla fine del secolo, nel 1899, fece la sua comparsa in Maremma la Società Montecatini, nata nel 1888 a Montecatini Val di Cecina per lo sfruttamento di quel giacimento di rame. In Maremma la Montecatini si interessò all'acquisto delle miniere di rame di Fenice Capanne e di Boccheggiano, ma la fortuna di questa impresa mineraria fu lo sfruttamento della pirite per la produzione di acido solforico, una delle materie prime fondamentali dell'industria chimica.

Nella pianura è da segnalare Follonica, il cui centro è caratterizzato dalla presenza dell'insediamento produttivo siderurgico Ilva, con edifici ottocenteschi (ma con tracce precedenti del XVI, XVII e XVIII secolo) e caratteristici arredi urbani in ghisa.

L'istituzione del Parco Nazionale e le aree del Parco

Dopo la chiusura delle miniere alla fine del secolo scorso, uno dei più importanti risultati del lavoro di recupero del patrimonio minerario è stato l'aver ottenuto l'istituzione del Parco Tecnologico e Archeologico delle Colline Metallifere Grossetane il 28 febbraio 2002 con decreto del Ministero dell'Ambiente d'intesa con il Ministero per i Beni e le Attività Culturali e la Regione Toscana (DEC/DCN/044, 2002). Nel decreto di istituzione furono individuati in tutto 34 siti di cui: 21 aree minerarie, 5 impianti metallurgici e siderurgici, 4 castelli medievali, 2 impianti di trasporto del minerale, 2 impianti geotermici.

L'ingresso del Parco nella Rete Mondiale dei Geoparchi UNESCO

Dal 1 ottobre 2010 il Parco fa parte della Rete Mondiale dei Geoparchi UNESCO IGGP- International Geoscience and Geoparks Programme - www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/.

Il recupero, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio geologico delle Colline Metallifere, attraverso la creazione di un circuito fondato su geositi di particolare interesse per la loro valenza scientifica, richiamo estetico e valore didattico-educativo, di fatto

integrati con gli itinerari e percorsi museali già esistenti e incentrati essenzialmente su siti riguardanti le attività minerarie e metallurgiche, è stato un passo fondamentale per la creazione del geoparco. L'ampliamento dei percorsi museali con un approfondimento geologico ha avuto il merito di mettere a punto uno strumento di lettura del paesaggio al di là del suo aspetto minerario. Grazie al lavoro del Dipartimento di Scienze Fisiche della Terra e dall'Ambiente dell'Università di Siena (coordinato dal Prof. Armando Costantini e portato avanti dal Prof. Luca Maria Foresi) sono stati individuati 40 geositi di cui 12 di rilevanza regionale che hanno permesso di realizzare dei geopercorsi e allestimenti museali con particolare riferimento alla comunicazione dei contenuti geologici (Fig.2).

Visitare il Tuscan Mining Geopark

Il Parco, dato il suo carattere multipolare, può essere visitato partendo da una delle molte Porte del Parco presenti sul territorio. Le Porte del Parco sono un sistema di musei, centri di documentazione e *info-point* diffusi in ogni comune, ognuna con un carattere ed una narrazione propria e originale (Fig. 3). La missione di ogni porta è quella di promuovere la conoscenza del patrimonio geologico, del mondo minerario, del paesaggio storico, della storia delle attività estrattive e soprattutto della (geo) identità del territorio delle Colline Metallifere Grossetane.

Oltre alle Porte del Parco, è possibile camminare in un sistema di percorsi attrezzati all'aperto (Fig. 4), sentieri e geo-percorsi tutti collegati tutti collegati da una "dorsale" detta Itinerario Culturale Via delle Città Etrusche che oltre a collegare le varie aree interne è inserita nel sistema dei Cammini della Regione Toscana.

Grazie a questi strumenti il Parco ha avviato e continua la sua attività nella valorizzazione, la didattica e l'educazione alla conoscenza del proprio patrimonio geominerario.

BIBLIOGRAFIA (per saperne di più)

Casini A. (2014). *La valorizzazione del territorio minerario: il parco Nazionale delle Colline Metallifere Grossetane - Tuscan Mining Geopark*. In: Farinelli R., Santinucci G. (a cura di). *I codici minerari nell'Europa preindustriale: archeologia e storia*. All'Insegna del Giglio, 19, 113-118.

Costantini A. (a cura di) (2015). *Geositi: eccellenze della Natura nel Parco delle Colline Metallifere - Tuscan Mining Geopark*. Pacini Editore, 302 pp.

Costantini A. & Pagani G. (a cura di) (2015). *Minerali: bellezze della Natura nel Parco delle Colline Metallifere - Tuscan Mining Geopark*. Pacini Editore, 266 pp.

Costantini A. (a cura di) (2016). *I geopercorsi nel Parco delle Colline Metallifere*. Pacini Editore, 181 pp.

Costantini A. & Pagani G. (a cura di) (2017). *Le georisorse nel Parco delle Colline Metallifere*. Pacini Editore, 175 pp.



HEXAGON

Leica
Geosystems

Hexagon Total Monitoring

La soluzione modulare per
il tuo monitoraggio

