



ogt
ORDINE dei
GEOLOGI della
TOSCANA

Numero **128**
Anno **2026**

IL GEOLOGO

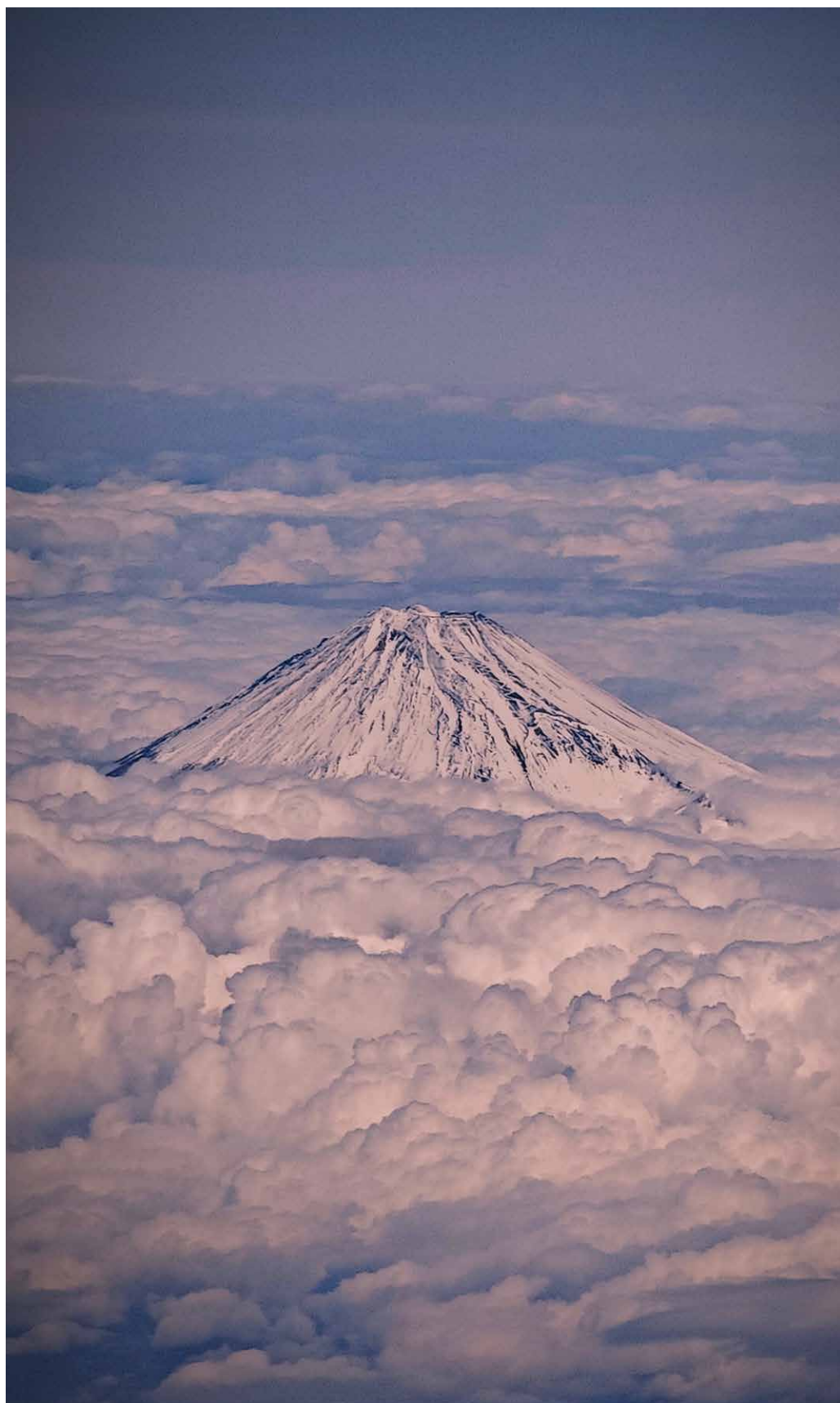
PERIODICO UFFICIALE

**I CAMPI
GEOTERMICI
TOSCANI:**
eredità culturale
ed energia

A CURA DI ENRICO PANDELI

**LA FRANA
DI NISCEMI:**
si può intervenire?

A CURA DI PIERO FOCARDI



Geognostica Medicea

indagini geologiche e ambientali

Geognostica Medicea opera nel settore delle indagini di sottosuolo, garantendo un servizio completo in ambito geognostico e ambientale.

La notevole esperienza maturata negli anni in tutte le tematiche relative al sottosuolo e la rapidità di intervento, fanno di Geognostica Medicea un partner affidabile per i professionisti e le imprese che operano nel settore geologico e ambientale.



Sondaggi

Prove penetrometriche

Geofisica

Iniezioni in falda

Misure inclinometriche

Bonifiche e monitoraggio ambientale

Geognostica Medicea

Via del Botteghino 103

50018 – Scandicci (FI)

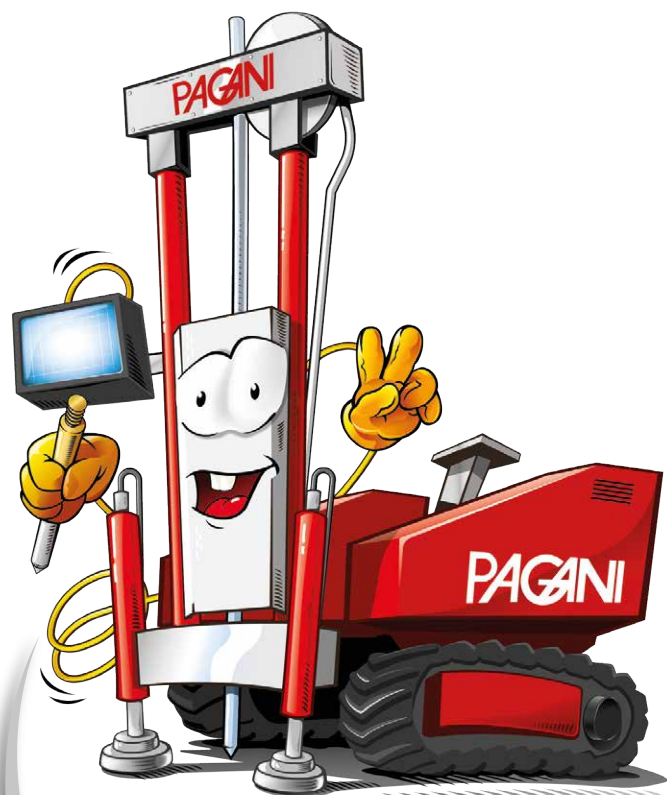
Daniele +39 349 6684494

Lorenzo +39 328 4896574

Email: info@geognosticamedicea.it

LEO IL TUO ASSISTENTE VIRTUALE

SEMPLICE • VELOCE • ESSENZIALE



SONO DISPONIBILE
24 ORE AL GIORNO
7 GIORNI SU 7
E PUOI PROSEGUIRE
LA CHAT SU WhatsApp!

VIENI A TROVARMICI SU
www.pagani-geotechnical.com



**SAMMINIATESE
POZZI** S. R. L.

RICERCHE E STUDI DEL SOTTOSUOLO

***L'ESPERIENZA DI UN
LEADER E LA TECNOLOGIA
ALL'AVANGUARDIA AL
SERVIZIO DEI PROPRI
CLIENTI***

RICERCHE IDRICHE

POZZI ACQUA POTABILE

POZZI ACQUA TERMAL

***IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO E DI
MONITORAGGIO DEI POZZI***

POZZI PER LA GEOTERMIA

Numero 128 **SOMMARIO**



Stampa ottocentesca della "Valle del Diavolo".



Luca Lupi a Dancalia.

| 07 **EDITORIALE**

MARCELLO BRUGIONI

| 09 **IN RICORDO DI**

| 12 **IN-FORMAZIONE**

| 14 **SPUNTI DI VISTA**

La frana di Niscemi:
si può intervenire?

| 17 **SCIENZE E RICERCA**

I campi geotermici toscani:
eredità culturale ed energia

| 30 **GEOLOGIA SOTTERRANEA**

Il Boss, una città di rovine
ed il terremoto dell'Aquila

| 32 **LETTURE GEOLOGICHE**





L'inquinamento
ambientale minaccia
il futuro dei nostri figli.
**Noi lavoriamo
per farli crescere
in un pianeta più sano.**

Play

Da oltre 10 anni il nostro impegno è costante nella progettazione di interventi di bonifica che siano economicamente e ambientalmente sostenibili, con l'impiego delle migliori tecnologie offerte dal mercato: **il futuro dei nostri figli è il nostro presente, il nostro impegno è renderlo migliore.**



EDITORIALE

ASSEMBLEA E BILANCIO

L'assemblea dei geologi della Toscana, iniziativa introdotta molto positivamente alcuni anni fa dal passato consiglio, è diventata un appuntamento veramente importante per la nostra comunità. Oltre ad essere un momento di incontro e di confronto tra tutti noi, l'assemblea è anche il luogo dove ci ritroviamo come comunità e che ci consolida come categoria. Quella di novembre scorso rappresentava, inoltre, la nostra prima vera uscita "ufficiale" dopo la nomina e non vi nascondo che in tutti noi circolava un po' di apprensione. Inoltre avevamo avuto la "brillante" idea di cambiare un po' le carte in tavola ed invece di organizzare un convegno a tema, abbiamo puntato su una giornata in cui ci si confrontasse con quelli che sono i nodi ed i problemi della nostra professione. Oltretutto avevamo anche cambiato il luogo e quindi c'erano tutti i presupposti per essere preoccupati. Alla luce dei fatti invece la giornata penso che sia stata positiva ed i riscontri avuti, sia diretti che indiretti attraverso il sondaggio che abbiamo realizzato, sono stati assai favorevoli. Certamente qualche pecca si è verificata e ci sono tante cose da migliorare ma l'incontro è stato comunque ricco di contenuti e stimoli. La nostra intenzione è quella di proseguire in questa direzione

cercando di offrire, in futuro, maggiori occasioni di confronto sia tra di noi che con le altre categorie professionali e con la pubblica amministrazione. Come suggerito da molti, vorremmo anche riuscire ad organizzare incontri e confronti a livello provinciale e dare maggior spazio al dibattito alle domande e al dibattito. L'intenzione in ogni caso è quella di coinvolgere, di fare rete, di lavorare insieme, in particolare con gli iscritti ma anche con i geologi che non fanno professione, poiché senza una forte coesione, senza un continuo e serrato confronto, anche acceso e critico, rischiamo di perdere preziose risorse ed opportunità di crescita.

Passata l'assemblea, a dicembre scorso abbiamo dovuto affrontare la redazione del nostro primo bilancio di previsione e non è stata una cosa semplice. Gli Ordini professionali sono, come ben sapete, degli enti pubblici non economici e la loro "vita", ovvero le attività che per legge devono svolgere, si basano, come per tutti gli enti, sul bilancio. Alla fine di ogni anno solare viene redatto il bilancio di previsione per l'anno successivo. Questo è lo strumento principale per la gestione dell'Ordine, in cui vengono elencate tutte le entrate e le uscite che si pensa avverranno durante l'anno, e in cui vengono



MARCELLO BRUGIONI
PRESIDENTE DELL'ORDINE
DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA



ogt
ORDINE dei
GEOLOGI della
TOSCANA

ripartite le somme che si reputano necessarie. Le entrate dipendono essenzialmente dalla quota che ogni geologo abilitato deve pagare per poter essere iscritto all'albo e svolgere la professione: più sono numerosi gli iscritti, maggiori sono le entrate. Queste sono necessarie per far sì che gli ordini professionali svolgano la funzione a loro assegnata dalla legge che consiste, è bene ricordarlo, nel tutelare il cittadino garantendo la competenza, l'aggiornamento e la deontologia dei professionisti iscritti. Le entrate sono utilizzate per svolgere questa funzione con le azioni amministrative e di rappresentanza connesse (gestione dell'albo, vigilanza sul decoro della professione, esercizio del potere disciplinare, contrasto all'abusivismo, rappresentanza della categoria nei rapporti con le istituzioni e la società, comunicazione e la divulgazione della funzione esercitata dal

professionista geologo, tutela delle competenze, valorizzazione della professione, etc.). Il bilancio di previsione si deve chiudere in pareggio, ovvero le attività che si pensa di svolgere non possono, di regola, generare spese maggiori di quante sono le entrate e viceversa. Nelle uscite ci sono delle spese per così dire fisse, che rappresentano più o meno il 70% del totale, che sono gli stipendi dei dipendenti, gli affitti ed i costi di gestione della sede, la manutenzione delle attrezzature e via così. La predisposizione del bilancio di previsione è quindi un delicato gioco di equilibri che devono essere mantenuti tra la valutazione delle entrate annuali presunte, l'assicurazione che in base a queste si possa soddisfare le spese fisse (stipendi, affitti, gestione della sede, funzionalità, etc.) e svolgere nel contempo al meglio le competenze assegnate.

Come detto poc'anzi, le entrate sono assicurate dalle quote di iscrizione e quindi dal numero di iscritti. In assemblea abbiamo tutti constatato che questo numero si è assottigliato negli anni e dai circa 2000 di 25 anni fa siamo passati agli attuali meno di 1100. Le minori entrate conseguenti al calo degli iscritti, sono state affrontate dai vari consigli puntando sia su un limitato aumento della quota di iscrizione – l'attuale quota di 160 euro è stata introdotto nel 2017 – sia sul contenimento della spesa in quelle voci in cui era possibile, sia sull'utilizzo, per lo svolgimento di progetti mirati e per far fronte agli imprevisti, alle risorse disponibili nel patrimonio dell'Ordine. Il patrimonio negli anni della pandemia ha avuto un'importante crescita conseguente alle limitazioni alle attività imposte dal Covid, ed il suo utilizzo, per iniziative ed attività che esulano dall'ordinario, è stato più volte sollecitato dagli

organi di controllo. Il gioco di equilibri si è tuttavia incrinato nel corso del 2025 quando è stato approvato, dopo diversi anni, il nuovo contratto collettivo di lavoro del comparto a cui appartengono le dipendenti dell'Ordine. Le spese per il personale sono passate dai 70.000 euro del bilancio 2024 agli 80.000 della previsione 2026. Questo importante aumento della spesa, a cui si aggiungono le minori entrate 2026 per effetto delle quasi 30 cancellazioni e trasferimenti avvenute nel corso del 2025, ci ha messo in seria difficoltà nella predisposizione del bilancio di previsione 2026.

La situazione è stata fronteggiata con un ulteriore drastico taglio delle spese, che però ha toccato in maniera importante anche le voci che consentono di svolgere la funzione propositiva dell'Ordine, le attività di divulgazione della nostra disciplina, la partecipazione ai tavoli di confronto, la presenza nelle scuole per incentivare l'importanza della geologia e via così. I tagli di spesa effettuati vanno a colpire anche alcune iniziative importanti, tra le quali ad esempio l'assemblea di cui abbiamo parlato diffusamente prima, che rischiano quindi concretamente di essere rimandate nel tempo.

In conseguenza di tutto ciò, in Consiglio ci stiamo in questi giorni chiedendo se sia ancora possibile nei prossimi anni continuare a svolgere azioni di contenimento nei capitoli di spesa e fare affidamento, in caso di imprevisti o progetti che si rendono oltremodo necessari, al patrimonio che peraltro si sta avvicinando ad un limite inferiore che non appare opportuno superare.

Questa discussione è importante che sia fatta anche con il vostro pieno coinvolgimento e ne parleremo in tutte le occasioni che si verranno a creare.

TECNA

Srl

CQOP SOA
CONSTRUTTORI QUALIFICATI OPERE PUBBLICHE
OS 21 : II OS 20-B : I
Attestazione : 78704 / 10 / 00

IMQ
CERTIFIED
QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
ISO 9001:2015

MORETTI

Via Achille Grandi, 51 - 52100 AREZZO - tel **0575 323501**, fax **0575 1979797**, cell: **335 1020000**, e-mail: **tecna@geognostica.it**
AUTORIZZAZIONE MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI AD EFFETTUARE E CERTIFICARE PROVE GEOTECNICHE SUI TERRENI N. 4542 DEL 13/04/2012

Perforazioni a carotaggio continuo

Perforazioni a distruzione di nucleo

Carotaggio continuo di tipo ambientale

Prove Penetrometriche statiche CPT

Prove Penetrometriche statiche CPTC

Prove Penetrometriche statiche CPTU

Prove penetrometriche dinamiche SPT

Prove penetrometriche dinamiche DPSH

Prove con dilatometro piatto Marchetti DMT



Numero Verde
800 102000

Micropali e pali di sottofondazione

Tiranti a trefoli ed in barre, ancoraggi

Prove scissometriche VBT

ANISIG
Associazione Nazionale
Imprese Specializzate
in Indagini Geognostiche

Pozzi per acqua

Prove permeabilità Lefranc

Prove permeabilità Lugeon

Prelievo campioni indisturbati

Installazione tubi inclinometrici

Installazione tubi per down-hole



IN RICORDO DI

Roberto Santacroce

Roberto Santacroce era nato a Milano il 13 Ottobre 1944, dove aveva vissuto fino al 1956, anno in cui la famiglia si trasferì a Viareggio. Dopo la maturità classica e la laurea in Scienze Geologiche presso l'Università degli Studi di Pisa, è entrato a far parte dell'ateneo pisano dove ha svolto la sua carriera scientifica ed accademica.

Ha ricoperto prima l'incarico di tecnico laureato presso l'Istituto di Mineralogia e Petrografia e successivamente quello di professore incaricato di Petrografia Applicata. Divenuto assistente universitario alla cattedra di Petrografia, nel 1986 è diventato professore straordinario e successivamente professore ordinario di Vulcanologia, ruolo che ha poi ricoperto fino al 2014.

Numerosi i suoi riconoscimenti sia a livello nazionale (solo per fare alcuni esempi, membro del Consiglio Scientifico del Gruppo Nazionale per la Vulcanologia (GNV) del CNR, direttore dell'Istituto Internazionale di Vulcanologia del CNR di Catania dal 1986-1990, membro della commissione tecnico-scientifica per la Prevenzione e Previsione dei Grandi Rischi dal 1988 al 1994, membro del Consiglio Direttivo della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia, direttore del Dipartimento di Scienze della Terra di Pisa dal 1998 al 2002) che a livello internazionale (presidente della Commissione "Mitigation of Volcanic Disasters" dell'Associazione Internazionale di Vulcanologia e di Chimica dell'Interno della Terra (IAVCEI), membro del Consiglio Scientifico Internazionale dell'Institut Supérieur d'Etudes et Recherches Scientifiques et Techniques (ISERST) della Repub-

blica di Gibuti). Di grande risalto internazionale furono gli studi del vulcanismo nella regione dell'Afar (Etiopia) cui egli dette uno stabile apporto come membro del team italo-francese insieme a Giorgio Marinelli, Haroun Tazieff, Franco Barberi e Jaques Varet.

La sua attività di ricerca lo ha portato a coordinare numerosi progetti di ricerca finalizzati alla comprensione dei vulcani attivi, oltre che alla cartografia geologica di aree vulcaniche italiane, in particolare gli studi sul Vesuvio hanno rappresentato, e rappresentano tuttora, un punto di partenza fondamentale per la comprensione del funzionamento di questo importante sistema vulcanico e per la definizione multidisciplinare della zonazione della pericolosità basata su studi di terreno e modellazione numerica.

Roberto Santacroce è stato e resterà un rappresentante di spicco dell'Università di Pisa e della vulcanologia italiana, e ha formato negli anni un numero importante di allievi e ricercatori di grande rilievo che oggi portano avanti la disciplina a livello nazionale e internazionale. Persona schietta e apparentemente burbera, Roberto era un generoso, con una grande propensione a dare fiducia e spazio ai giovani che aveva contribuito a formare. Una persona a cui tanti di noi saranno sempre riconoscenti sia sul piano umano che professionale.

Ciao Roberto, cha la terra ti sia lieve.

Marco Pistolesi

Gli amici ed i colleghi del Dip. Di Scienze della Terra di Pisa

Maurizio Zuntini

Maurizio Zuntini è morto il 25 febbraio u.s. a Caprino Bergamasco (BG) dove risiedeva e lavorava.

Nato a Firenze nel febbraio 1950 si era laureato nel luglio 1976 all'Università di Firenze insieme a me, Massimo Coli e Giancarlo Carrai con una tesi di rilevamento sulla linea di dislocazione tettonica Ancona – Anzio, suddivisa in quattro settori di intervento e seguita rispettivamente dai quattro professori Abbate, Boccaletti, Bortolotti e Passerini. Partecipando ai moti studenteschi dei primi anni 70 era abbastanza noto negli ambienti della geologia universitaria di Firenze di quel periodo. Del suo anno accademico sono anche, tra gli altri, oltre al sottoscritto ed ai citati Coli e Carrai, anche i colleghi Vittorio D'Oriano, Viola Giordano, Sergio Trippi e Gigliola Valleri.

Alla fine degli anni 70 trovò lavoro presso lo Studio del Prof. Pasquaré a Bergamo che aveva conosciuto al mare a Castiglione della Pescaia, dove aveva una casa. Trasferitosi successivamente con tutta la famiglia ha svolto tutta la sua attività professionale in quell'area nella quale i geologi erano e sono tuttora in numero molto limitato e quindi hanno un notevole spazio professionale. Anche io trovai lavoro per un certo periodo come geologo presso la Provincia di Varese e quindi condivisi con lui anche l'abitazione per alcuni mesi ma poi ebbi l'occasione di rientrare a Firenze e preferii ritornare a casa.

Molto conosciuto ed apprezzato nella Bergamasca, è stato ricordato alle sue esequie da molti colleghi ed anche con un articolo sull'Eco di Bergamo per aver donato numerosi fossili e minerali della sua collezione al Museo di Scienze Naturali Luigi Torri di Caprino Bergamasco.

Infaticabile lavoratore e robustissimo camminatore, si avvicinava ai problemi professionali con metodo ed impegno. Con lo stesso impegno con il quale giocava a scacchi, gioco nel quale era molto bravo. Ha lavorato intensamente fino a pochi mesi fa e sicuramente lavorerebbe ancora oggi se una implacabile e rapida malattia non l'avesse stroncato.

Con lui ho condiviso molta parte della mia vita, avendo frequentato insieme sia il liceo Scientifico Leonardo da Vinci di Firenze che l'università. Grandi viaggi in moto e grandi avventure condivise, alla fine siamo diventati anche cognati per aver sposato due sorelle gemelle.

Mi mancherà. Un pensiero a mia cognata Cristina ed ai figli e miei nipoti, Vieri ed Aligi.

Roberto Neroni

Mario Sagri

Caro Mario,
quando si percorre il viale del tramonto e la salute ce lo permette, è bello ogni mattina potersi programmare la giornata nel modo più facile e divertente possibile.

Finché le gambe e soprattutto la testa sono reattive, oltre alle salutari passeggiate, si cerca di non dimenticare le materie che hanno caratterizzato il lungo cinquantenario lavoro professionale, andando allo Studio dove i colleghi più giovani stanno ancora lavorando e magari, a causa di scadenze di lavoro, la nostra presenza non è del tutto gradita.

Tuttavia rimane molto tempo libero che viene trascorso in letture, bricolage e televisione ma soprattutto in ricordi pieni di nostalgia che tendono ad emergere sempre più col passare del tempo.

Questi riaffiorano non solo nei periodi di insonnia notturni, ma anche sfogliando un libro od un album di foto, provocando il riavvolgimento del nastro della nostra vita.

La mia, come quella di noi tutti, è attraversata da momenti felici ed altri un po' meno e purtroppo anche tristi, ma nel ricordo mi soffermo sempre su quelli più felici.

Fra questi un periodo sul quale spesso indugio molto, è quello universitario nel quale mi sono guadagnato non solo il titolo per esercitare la professione trascorrendo anche un periodo goliardico nel vero senso di questo termine, ma soprattutto l'averti conosciuto. E l'importanza di questo nostro incontro mi si rende sempre più chiara ogni volta che mi soffermo su questo periodo.

Negli anni cinquanta il corso di Geologia dell'Università di Firenze era frequentato da pochi studenti: nel nostro, in quel 1955, eravamo una dozzina, e così nella prima lezione potei fotografare i volti di ciascuno. Incontrando il tuo sguardo sull'autobus che mi avrebbe riportato a casa, mi venne facile chiederti: "e tu che ci fai qui", e la risposta fu: "vado a casa perché abito a Scarperia", così iniziò la nostra amicizia che per me fu un vero dono.

Si perché mio zio ricordava spesso che gli incontri sono determinanti nell'orientare la vita di una persona, sia nel bene che nel male; per me l'incontro con te è stato determinante, trasformando assai positivamente il mio modo di vita, senza che allora, e per molti anni, me ne accorgessi.

Stavo attraversando un periodo molto delicato iniziato in quarta liceo, costellato di insuccessi vari che non mi rendevano sereni quegli anni giovanili, normalmente ascrivibili ai migliori della vita. Con grande fatica avevo superato l'esame di maturità ed ora mi accingevo a frequentare l'Università con un atteggiamento non troppo ortodosso.

Le ore trascorse nei viaggi in autobus da San Piero parlando di vari argomenti, e le lunghe preparazioni per gli esami sostenuti insieme, consolidarono la nostra amicizia che si rafforzò anche in avventurose vacanze organizzate e trascorse con piacere e divertimento.

Al primo esame ci presentammo con la timidezza della prima volta, ma tutto andò bene e tu, come negli esami successivi, prendesti un voto migliore del mio. Il fatto di prendere un voto inferiore al tuo non mi creava nessun disagio in quanto, studiando con te, avevo intuito che tu assorbivi più veloce-



mente il contenuto delle materia oggetto di studio. Inoltre ero consapevole che se avessi studiato da solo non avrei dato tutti quegli esami.

Ne demmo un secondo e poi entrammo finalmente in vacanza. Mi introducesti in una compagnia molto simpatica composta da studenti locali ed anche villeggianti, che trascorrevano i mesi estivi con gite e riunioni piacevoli, con giochi vari, con bagni al lago dello Zagni o nel fiume Sieve e con i balli la sera dopo cena. Essendo allora un po' imbranato con le ragazze, all'inizio ebbi qualche difficoltà, che la schiettezza della compagnia riuscì a fugare in breve tempo. Ricordi i balli alla Lucciola con il juke box il mercoledì e l'orchestra la domenica che ci deliziava con canzoni come il: Cielo in una stanza, Volare, Maruzzella, Ciliegi rosa suonato da un ottimo cornettista, e tante altre belle canzoni dei nostri tempi? Canzoni che facevano da sottofondo alle serate trascorse nel giardino dell'Elda dove ci radunavamo, invitati dalla nipote, per vivere simpatiche e divertenti serate?

Che belle vacanze trascorremmo in quegli anni! Quante simpatie scaturite! Eravamo giovani e pieni di vitalità.

Il primo anno facemmo anche una breve esperienza speleologica in una grotta vicino a Firenzuola, ma alcuni passaggi troppo angusti, la claustrofobia e la zona considerata sismica ci consigliarono la continuazione.

Un anno facemmo l'esperienza dell'autostop che risultò molto piacevole. Ricordi l'abbuffata di cioccolata in Svizzera e le due cene offerteci a Grindelwald all'albergo della ragazza che avevamo conosciuto a Firenze? Ed a Saint Louis quel velocissimo montaggio della tenda per ripararci dall'imminente pioggia, notato ed apprezzato dagli occupanti di una tenda vicina alla nostra? Ed il giorno dopo la decisione di riattraversare il fiume Reno per tornare in Germania poiché in Francia, a causa della guerra in Algeria, non davano passaggi a nessuno? E a Stoccarda, all'ingresso dell'autostrada, la lunga attesa sotto un sole cuocente con la sola ombra di un cartello indicatore che a turno ci permetteva un po' di refrigerio alla testa? E la signora con due bambini che volle darci un marco ciascuno? E tornando in Italia, quel signore che, avendo già dato il passaggio a due ragazze tedesche, voleva che solamente uno di noi salisse, ma alla nostra ferma decisione ci prese ambedue. Che bella vacanza!

Terminate le vacanze estive con la festa del Diotto, si riprendeva lo studio per gli esami della sessione autunnale, poi per quella di febbraio ed infine quella di giugno, avendo frequentato i corsi inseriti nei vari anni, passando sempre più tempo in Facoltà.

A primavera nei vari Atenei veniva celebrata la Festa delle Matricole alla quale siamo stati sempre presenti a quelle dell'Ateneo fiorentino, partecipando anche ad alcune dell'Ateneo pisano e bolognese. A Bologna, se ricordi, rimanemmo senza soldi e senza i biglietti del treno; ci volle tutta l'abilità e la recitazione di Caterina (ragazza simpatica che mangiava sempre con noi alla mensa dello studente) a raccogliere i soldi per tre biglietti ferroviari.

Tra le feste dell'ultimo dell'anno e di carnevale ricordo quella passata al Teatro Giotto di Borgo San Lorenzo dove ci imbattemmo in una compagnia simpatica e divertente, che poi frequentammo per un po' di tempo.

Ad eccezione di questi ludi estivi, nel resto dell'anno studiavamo e così giungemmo al termine degli esami ed alla tesi. A te fu assegnato il rilevamento geologico di un'area in Liguria, laureandoti nella sessione di giugno, a me in Emilia ad ovest di Baragazza, laureandomi nella sessione di febbraio; poi a giugno partii per il militare.

Ci ritrovammo dopo circa 2 anni: eri già entrato in Università, ed in procinto di mettere su famiglia, mi facesti l'onore di essere tuo testimone alle nozze.

Dopo qualche anno mi capitò di redigere uno studio per la costruzione di una diga sul torrente Rincine a Londa; considerando la mia inesperienza lo facemmo insieme e la relazione fu battuta a macchina da tua moglie Grazia.

Io iniziai a lavorare alla Geomap su di un progetto per due compagnie petrolifere nell'area del Mar Rosso ed in seguito ad una querelle con Merla innescata dal suo amico Marchesini, partecipai alla spedizione organizzata dal CNR nel gennaio 1969 in Etiopia, a cui partecipasti anche tu.

Dopo aver studiato insieme, ora avevamo la possibilità di lavorare insieme nel Corno d'Africa. Ed anche quello fu un bel periodo!

Tu eri riuscito a portare un fucile da caccia, così un giorno, eravamo nell'area di Corbettà, uccidesti una bella ottarda, cucinandola, poi all'arancio; fu una cena da "leccarsi i baffi".

Era il periodo della contestazione, così in alcune cene serali, prima di entrare in tenda, insieme ad Ernesto ed ad Azzaroli sparavate a zero sul "barone" Merla che tenacemente ribatteva. Ma la cosa strana era che io, considerandomi sempre sui banchi anche nella mia breve esperienza di insegnante in una classe della scuola media, mi trovavo più vicino alle considerazioni di Merla che alle vostre. Ricordo anche di avervi chiaramente detto: "attenti perché la carriera universitaria la dovete fare voi e non io". Avevate ragione voi perché ambedue avete in seguito fatto un'ottima carriera Universitaria.

In quella campagna facemmo l'esperienza del rilevamento a cavallo, come forse Merla aveva fatto nel 1937, con foto pubblicata sul secondo volume di "Dancalia l'esplorazione dell'Afar, un'avventura italiana" con la didascalia (un po' spiritosa): l'armata Brancaleone alla conquista dell'Amba Derbit,



dove sei ben visibile anche tu. In quella spedizione usammo anche noi la carta a scala 1:250.000 Topomorphic Map of Northern Afar – Ethiopia, prodotta in Geomap per volere di Marchesini nell'anno precedente, una copia della quale portai insieme a Merla all'Ambasciata Italiana di Addis Abeba, perché fossi consegnata al Negus.

Ma tu sei anche l'artefice del mio più importante incontro. Ricordi chi mi ha fatto conoscere una domenica pomeriggio di novembre del 1960? la mia futura moglie: Marta amica di Grazia tua futura moglie. Essendo quel giorno andata a pranzo da Marta, nel pomeriggio sarebbero uscite insieme a te, ma poiché uscire con due ragazze non ti piaceva molto mi chiedesti di partecipare alla serata che fu molto gradevole. Mi ringraziasti per il piacere che ti avevo fatto, ma quello fu per me il più bel regalo ricevuto nella vita, e per questo ti ringrazio ancora, anche se dell'importanza del bene ricevuto me ne sono accorto un po' in ritardo. Infatti ci sarebbero voluti alcuni anni, perché il cambiamento della mia vita fosse giunto finalmente al traguardo, sposandola.

Caro Mario sei stato uno degli incontri importati della mia vita, ci siamo laureati ed anche divertiti molto, ora spero di ritrovarti su di una nuvoletta e di sentirti dire: "e tu cosa fai quassù".

Affettuosamente Paolo

P.s. Ti allego quattro foto ritrovate in un cassetto che, sicuramente, ti procureranno piacere ed anche un po' di nostalgia.



IN-FORMAZIONE

A CURA DELLA
FONDAZIONE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA



Formazione: qualità, confronto e nuove sinergie per la professione

Non solo corsi, ma un progetto culturale e professionale: in continuità con l'esperienza della precedente gestione, la formazione deve essere pienamente coerente con la missione della Fondazione e con l'identità professionale del geologo. Spazio quindi alle discipline fondanti, agli aggiornamenti normativi, alla deontologia, ma anche ai nuovi ambiti di intervento che emergono dall'innovazione tecnica e dall'evoluzione legislativa. Qualità è la parola chiave e l'intento che intendiamo perseguire per consolidare il progetto avviato da chi ci ha preceduto. Ogni corso dovrà avere obiettivi formativi definiti, contenuti aggiornati e scientificamente solidi, docenti selezionati per comprovata esperienza accademica, tecnica o professionale. Il Consiglio della Fondazione, con il supporto del Comitato Scientifico, garantirà un'attenta valutazione delle proposte. La programmazione diventa strutturata e partecipata: i bisogni formativi saranno tradotti in un Catalogo annuale, pubblicato sul sito istituzionale, che orienterà l'offerta tra corsi in presenza, online o in modalità mista. Centrale la sostenibilità economica che dovrà necessariamente armonizzarsi con gli obiettivi ambiziosi che la Fondazione si propone. In questo senso gli accordi in corso di perfezionamento e consolidamento con Regione Toscana ed ARPAT forniranno nuovi stimoli ed orizzonti che potranno valorizzare ed innalzare le competenze dei colleghi che svolgono la professione sia come consulenti che come dipendenti delle pubbliche amministrazioni.

In questo quadro si inserisce il Piano Formativo 2026, costruito con l'obiettivo di affrontare temi di grande attualità tecnico-amministrativa e favorire un confronto concreto tra professionisti e tecnici delle Pubbliche Amministrazioni. Tra le iniziative già svolte si segnalano le giornate di studio





dedicate a “Terre & Rocce da Scavo, Riporti: norme, procedure e casi di studio” e a “Vincolo Idrogeologico: norme, procedure e casi di studio”, entrambe organizzate in modalità mista webinar/presenza. I corsi hanno approfondito aspetti normativi, procedurali e applicativi, con analisi di casi reali e momenti di confronto operativo tra professionisti e funzionari pubblici. I risultati delle schede di gradimento confermano il forte interesse verso questo modello formativo. Nel corso su Terre & Rocce da Scavo, al quale hanno partecipato 48 iscritti, oltre il 75% dei questionari ha espresso il giudizio massimo sulla qualità delle docenze, sulla chiarezza espositiva e sull'applicabilità degli argomenti trattati in ambito lavorativo. Analogo riscontro per il corso sul Vincolo Idrogeologico, dove i partecipanti hanno particolarmente apprezzato il coinvolgimento dei docenti, gli spazi di confronto e l'utilità pratica dei contenuti affrontati. Le osservazioni raccolte attraverso i questionari costituiscono un ulteriore elemento di crescita. Tra le richieste più frequenti emergono la possibilità di ampliare la modalità ibrida, organizzare eventi anche in altre città della Toscana e dedicare ancora maggiore spazio all'analisi di casi studio concreti. Tra le attività inserite nel Piano Formativo 2026 si è svolto anche il modulo dedicato a “Rifiuti

inerti ed End of Waste: norme, procedure e casi di studio”, focalizzato sulla gestione dei rifiuti inerti, sui processi di recupero e riutilizzo e sull'applicazione dell'art. 184-ter e del DM 127/2024. Il percorso, rivolto sia ai professionisti sia ai tecnici delle Pubbliche Amministrazioni, ha rappresentato un'ulteriore occasione di confronto tecnico-operativo finalizzata alla costruzione di un linguaggio condiviso e di maggiore uniformità interpretativa e procedurale. Proprio il dialogo tra professionisti, enti e strutture tecniche rappresenta uno degli elementi più qualificanti del nuovo percorso formativo. In questa direzione si inseriscono anche le convenzioni in corso di definizione con la Regione Toscana e ARPAT, finalizzate alla realizzazione di attività formative condivise su tematiche ambientali, geologiche e tecnico-amministrative di interesse comune. L'obiettivo è costruire una formazione sempre più integrata, capace di mettere in rete competenze ed esperienze diverse, rafforzando il ruolo del geologo nei processi di pianificazione, tutela ambientale e gestione del territorio. Una formazione che non si limita all'aggiornamento professionale, ma diventa occasione di crescita culturale, confronto operativo e costruzione di buone pratiche condivise.

SPUNTI DI VISTA

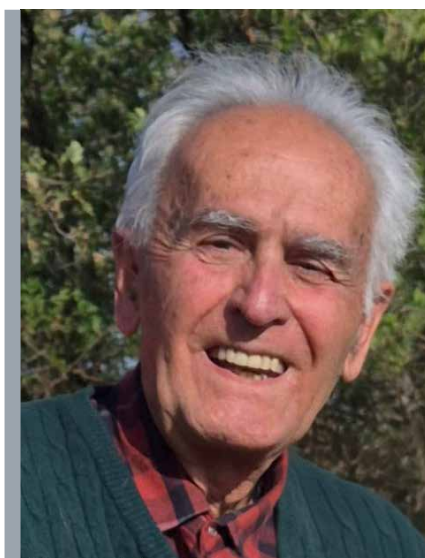
Riceviamo e volentieri pubblichiamo questa nota redatta dal prof. Piero Focardi in merito alla frana di Niscemi. Su questo argomento, considerato il risalto che ha avuto ed anche i numerosi paragoni, più o meno corretti, fatti con possibili analoghe situazioni in toscana che sono apparsi nelle varie testate giornalistiche e non solo, è intenzione del Consiglio svolgere prossimamente un workshop espressamente dedicato.

Scrivete a ✉ il_geologo@geologitoscana.it, per proporre il vostro contributo scaturito dalla lettura delle nostre rubriche o anche dal vostro osservatorio preferenziale.

A CURA DI MANUELA GERMANI E LUCA GARDONE

IN QUESTO NUMERO:

LA FRANA DI NISCEMI: si può intervenire?



PROF. PIERO FOCARDI

Abstract

La frana di Niscemi, di grande importanza per la grave situazione in cui si trova una parte dell'abitato e per la sua "spettacolarità" dovuta alle ingenti dimensioni, ha anche notevole interesse geologico e geomorfologico.

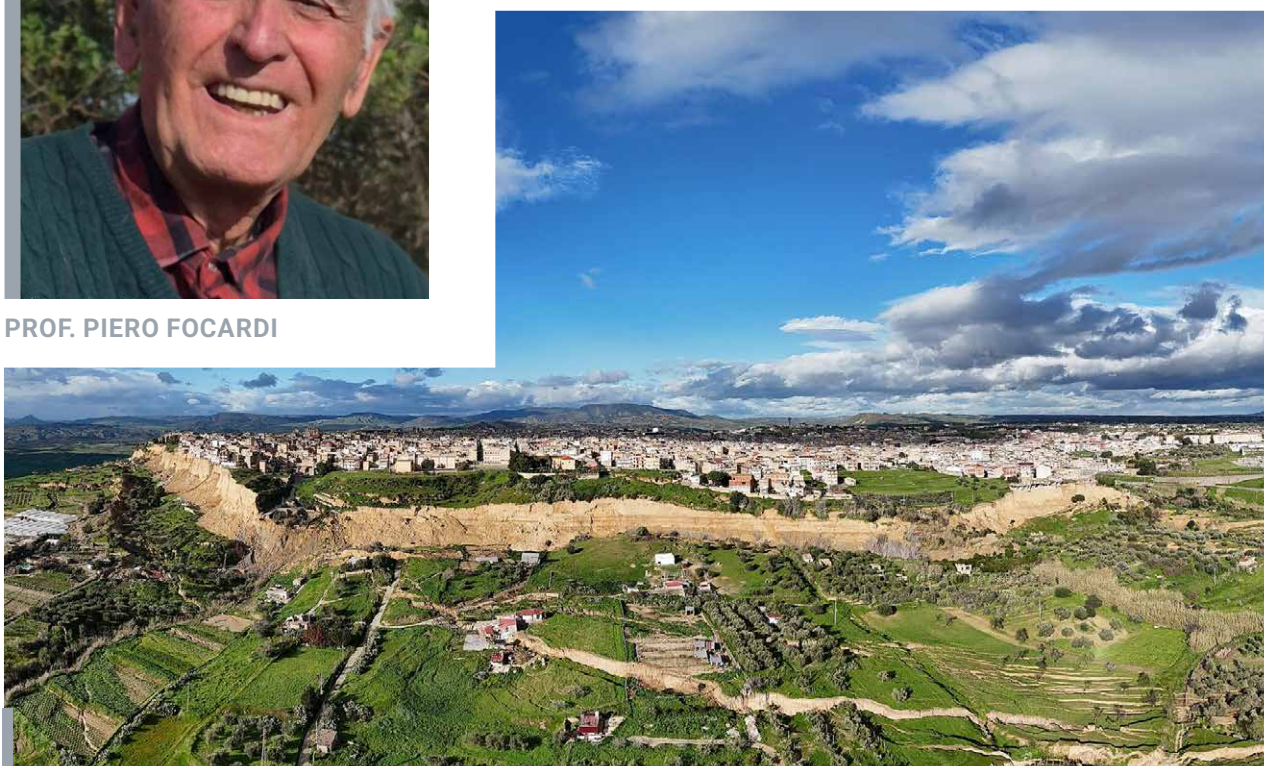




Foto di: Di Gianfrancodp - Opera propria, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=183776497>

L'abitato di Niscemi sorge su una collina costituita da terreni pliocenici formati da sabbie che appoggiano su argille. La frana è complessa in quanto è determinata dall'accoppiamento di 2 fenomeni e cioè da uno scivolamento delle argille basale al quale seguono fenomeni di crollo della rupe sabbiosa sovrastante.

Questi fenomeni sono molto frequenti in Italia. Un noto caso che richiama il fenomeno di Niscemi è quello di Civita di Bagnoregio che è situato su una collina di tufo che appoggia su argille marine plioceniche simili a quelle di Niscemi. L'abitato, che ha origini etrusche ed era un centro importante nel medioevo e rinascimento, si è progressivamente ridotto alle condizioni attuali di poche case praticamente isolate per un susseguirsi di fenomeni franosi progressivi dei quali siamo a conoscenza storica a partire dal 1450 e che sono avvenuti su tutti i lati dell'abitato con meccanismi analoghi a quelli di Niscemi e cioè con frane delle argille basali e successivi crolli della rupe sovrastante.

Tutti i terreni ma principalmente le argille presentano una resistenza iniziale allo stato integro che decresce progressivamente con la rottura e lo scorrimento fino ad un valore minimo corrispondente alla "resistenza residua".

Per questo motivo, come hanno giustamente detto i geologi consultati, è praticamente impossibile consolidare il fenomeno complessivo già in atto in considerazione oltre che per le vaste dimensioni territoriali, anche per la scarsa resistenza residua delle argille già compromesse dal fenomeno gravitativo.

È stato giustamente osservato che il fenomeno tenderà naturalmente nel futuro ad espandersi nel tempo verso l'abitato a seguito dell'interessamento di altre porzioni della base argillosa. Il nuovo movimento del substrato

coinvolgerà nuove porzioni delle sabbie sovrastanti con formazione di altre pareti subverticali instabili soggette a una ulteriore fase di crolli.

Le possibilità di intervento con soluzioni strutturali rimangono evidentemente limitate dall'oggettiva complessità di stabilizzare l'enorme massa in moto.

Le uniche azioni percorribili ritengo debbano essere orientate alla protezione della parte di argille ancora integra sottostante alla rupe, separandola dalla parte di argille in movimento con un diaframma spinto adeguatamente oltre alla ipotetica nuova superficie di scivolamento, dimensionato per il sovraccarico delle sabbie superiori. Assicurata la stabilità della parte di argilla ancora non coinvolta, si potrà intervenire sulla rupe sabbiosa sovrastante con la riprofilatura della scarpata in modo da garantire la completa sicurezza della parte di abitato situato a monte dell'intervento in area stabile.

La fattibilità è condizionata dai risultati di una accurata indagine geotecnica attraverso la quale può essere progettato il diaframma il cui costo è evidentemente condizionato dallo sviluppo del fronte di intervento.

Le ampie dimensioni del fenomeno suggeriscono di procedere inizialmente solo sul tratto di abitato più esposto, con un primo intervento pilota il cui esito potrà essere valutato attraverso la campagna di monitoraggio già suggerita dagli esperti che hanno visitato la frana.

In conclusione, mentre gli interventi di consolidamento della frana nel suo complesso sono praticamente impossibili per le ingenti dimensioni della massa in movimento, esiste invece la possibilità di impedire l'ulteriore arretramento della corona di frana proteggendo in questo modo l'abitato di Niscemi dal suo fatale declino.

DATALOGGER LEVELINE

La serie **Leveline di Aquaread**, di cui Smart Geo srl è distributore ufficiale per l'Italia, offre a tecnici e professionisti datalogger assoluti e compensati per il monitoraggio del livello, della temperatura e, in opzione della conducibilità, delle acque sotterranee e di superficie.

Sono quindi lo strumento ideale da utilizzare nei test di pompaggio, nelle barriere idrauliche, nei contesti di bonifica e nei monitoraggi in generale.

Caratteristiche formidabili:

Corpo in titanio, memoria da 500.000 dati, durata della batteria 10 anni, nessuna manutenzione, estremamente preciso (0.05% F.S.), garanzia 5 anni, possibilità di trasmissione dati in remoto.

Sempre in pronta consegna!



Servono altri parametri? Le sonde multiparametriche Aquaread consentono di misurare e monitorare anche pH, ossigeno disciolto, conducibilità, redox, TDS, resistività, salinità, SSG, e un'ampia gamma di parametri aggiuntivi (clorofilla, nitrati, torbidità etc...)



SMART GEO SRL offre anche un ampio catalogo di prodotti per il campionamento delle acque e del suolo e per la geotecnica (CASSETTE CATALOGATRICI PER TERRENI), POMPE SOMMERSE (Grundfos, Lowara, Franklin), TESTE POZZO, POZZETTI, STAZIONI METEO PER LA RICERCA E L'AGRICOLTURA, POMPE PER CAMPIONAMENTO 12V IN PLASTICA ED IN ACCIAIO (DISTRIBUTORE UNICO PER L'ITALIA DEL LEADER MONDIALE "PROACTIVE®").

I CAMPI GEOTERMICI TOSCANI:

eredità culturale ed energia



A CURA DI
PROF. ENRICO PANDELI

KEYWORDS
GEOTERMIA | TOSCANA | GEOLOGIA

Introduzione

I fluidi endogeni e le acque termominerali, presenti in varie parti della nostra regione, hanno conosciuto nel tempo vari tipi di utilizzazioni che hanno sempre profondamente inciso nello sviluppo economico e sociale della Toscana.

In particolare, le manifestazioni naturali dell'area di Larderello (Burgassi & Burgassi, 1981; Burgassi, 1983; Cataldi, 2005), conosciuta come "Valle del diavolo" per la presenza di "lagoni" (putizze, bulicami e pozze d'acqua e fango in ebollizione) e "soffioni" (getti di vapore ed acqua calda), erano già utilizzate dagli Etruschi (es. acido borico per l'invetriatura di vasi) e dai Romani (es. le aree termali delle Acquae Volterranae e Acquae Populoniae riconoscibili sulla Tavola Peutingeriana del III sec. d.C.). Nel periodo medioevale si estrasse zolfo e vetriolo verde (contro le malattie della pelle, come antiparassitario per gli animali, pesticida in agricoltura e per sbiancare la lana) e allume (per preparare vestiti e per la conservazione del cuoio, come mordente per tingere la lana, per imbalsamare animali e corpi umani e per rendere il legno ignifugo), mentre nel Rinascimento ritornò anche in auge l'attività termale (Il Magnifico Lorenzo dei Medici era un assiduo frequentatore). Inoltre, l'acqua calda dei "Lagoni" veniva utilizzata anche per piegare il legno (ad esempio per la costruzione di botti per il vino).

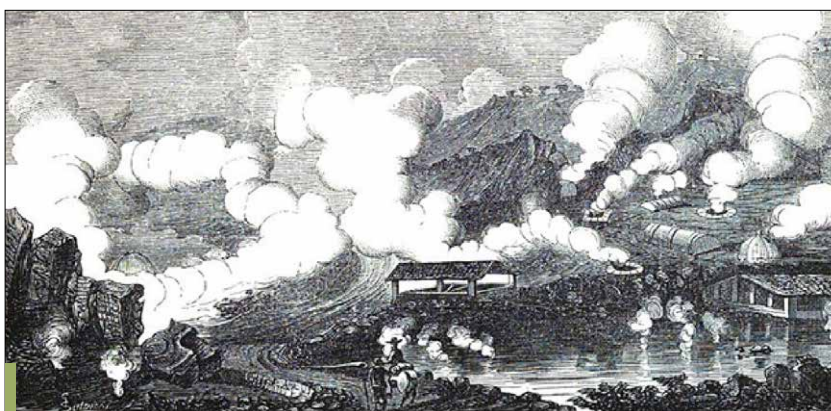


FIGURA 1

Veduta della "Valle del diavolo" con le caratteristiche manifestazioni (lagoni, soffioni ecc.) ed alcuni "Lagoni coperti" cupuliformi e "Caldaie Adriane" in una stampa ottocentesca.

Dal 1812 iniziò l'estrazione dell'acido borico (o "sale sedativo" di Homberg) dai fluidi dei "lagoni" nei quali vi era stato riconosciuto fin dal 1777 da Francesco Umberto Hoefer, il direttore delle farmacie del Granducato di Toscana, e confermato da Mascagni nel 1779 (Burgassi et al., 1995; Burgassi, 2005; Cataldi & Burgassi, 2005). Oggi i sali borici sono utilizzati principalmente come antisettici, decongestionanti, antimicrobici e antifungini e in cosmetica. L'arricchimento in acido borico delle pozze d'acqua era assicurato dal continuo gorgogliamento in esse dei fluidi endogeni. Nel 1818 il francese Francesco de Larderel (poi nominato Conte dal Granduca di Toscana) fu tra i fondatori di una delle prime società boracifere della

quale resterà poi l'unico proprietario (Durand Delga et al. 2001). Dapprima il processo di estrazione si basava sulla concentrazione delle soluzioni boriche dei lagoni in caldaie scaldate artificialmente bruciando legname e con successivo raffreddamento e cristallizzazione dell'acido borico in recipienti di legno. Nel 1827 Francesco de Larderel migliorò il processo di concentrazione utilizzando l'energia termica naturale dei "soffioni" e costruendo i cosiddetti "lagoni coperti" (Fig. 1): ebbe così inizio la produzione dell'acido su scala industriale. Un ulteriore balzo tecnologico fu quello del figlio Adriano che mise in opera nel 1842 le "caldaie adriane" dove il processo di concentrazione delle soluzioni ad opera del calore

naturale fu reso ancora efficace. Oltre all'acido borico si producevano anche altri sali, tra i quali il solfato ammonico utilizzato principalmente in agricoltura. Attorno al 1830 iniziarono anche le prime perforazioni che portarono ad incrementare ulteriormente la produzione. Nel 1847 entrò in vigore il "Regolamento generale dell'Industria Boracifera" con il quale, oltre a dettare le regole rivolte alla produzione industriale, fu stabilita una avanzatissima organizzazione assistenziale e sociale dei lavoratori (Bianchi et al., 1995).

Nel 1904 il Principe Piero Ginori Conti, di lì a poco Presidente della Società Boracifera di Larderello, iniziò, per la prima volta al mondo, la sperimentazione per la produzione di energia elettrica dai fluidi geotermici in pressione (Fig. 2) che nei decenni successivi si affiancherà all'industria chimica fino a superarla negli anni '30 (nel 1913 entrò in opera la prima centrale geotermoelettrica da 250kW). Comunque, da oltre cinquanta anni l'industria borica non usa più i fluidi endogeni, ma minerali di importazione (es. la colemanite della Turchia). L'attività geotermica ebbe poi una svolta negli anni '60, quando iniziò la ricerca di fluidi in serbatoi profondi al di sotto del classico serbatoio costituito dalle formazioni carbonatico-evaporitiche della Falda Toscana, ovvero all'interno delle successioni metamorfiche, fino ad allora ritenute del tutto impermeabili, e considerate, quindi, come il limite inferiore della esplorazione nel sottosuolo.

Attualmente sono presenti complessivamente 34 centrali geotermiche ad alta entalpia di Enel Green Power S.p.A. (con 36 gruppi di produzione) nei territori di Larderello-Travale e Monte Amiata con una potenza installata di oltre 900 MW e una produzione di più di 5500 GWh annui di energia elettrica che rappresenta attorno al 2% dell'energia elettrica prodotta in Italia e che copre circa il 31-34% del fabbisogno energetico regionale (rappresenta il 70% dell'energia rinnovabile prodotta in Toscana), sufficiente per una grande città e del suo comprensorio industriale (es. Firenze).

Anche i fluidi endogeni a media-bassa entalpia ($T < 150^{\circ}\text{C}$), ottenuti dalle fonti



FIGURA 2

Il Principe Ginori Conti con suo impianto sperimentale con cui testò l'uso del vapore geotermico come fonte di energia per la produzione di energia elettrica nel 1904 con l'accensione di cinque lampadine.

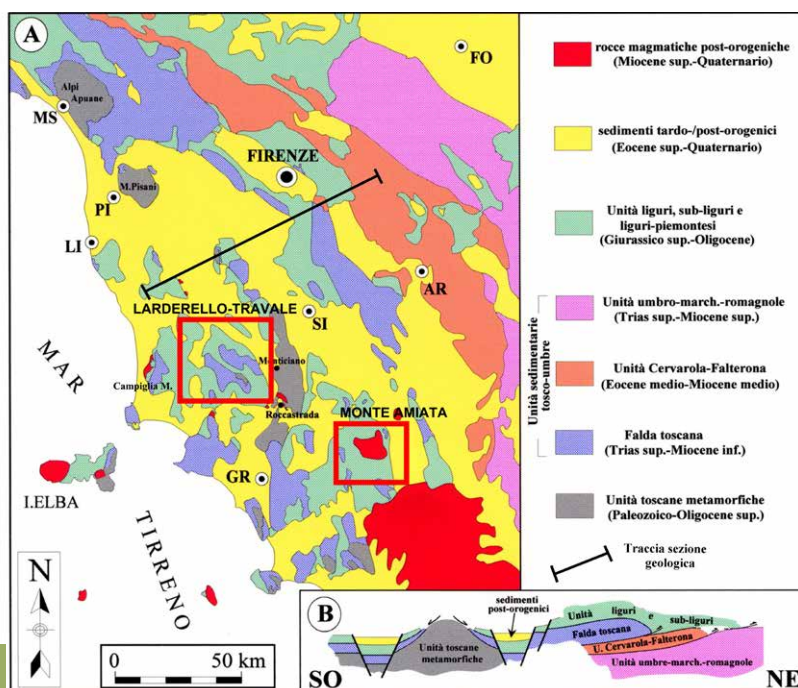


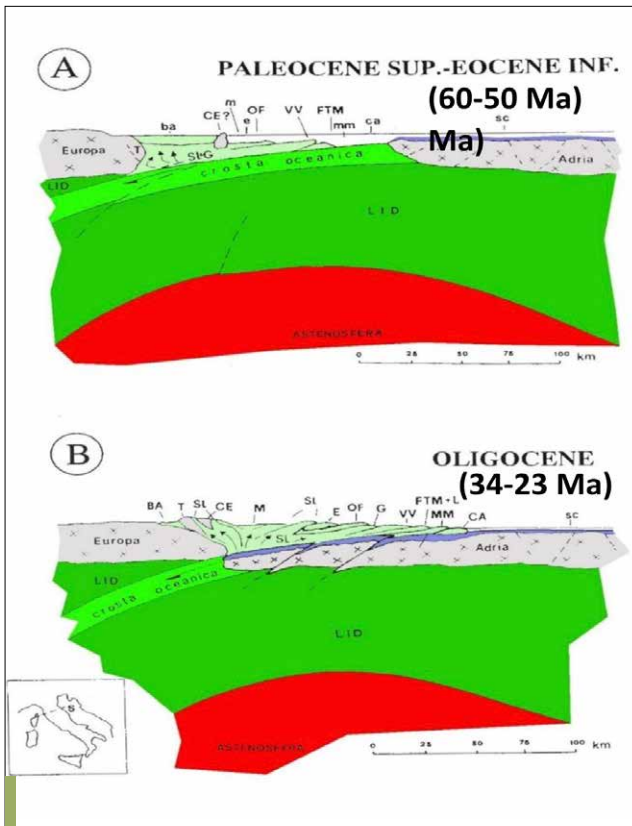
FIGURA 3

Schema della carta (A) e della sezione geologica trasversale (B) dell'Appennino settentrionale e ubicazione dei campi geotermici di Larderello-Travale e del Monte Amiata.

naturali oppure dai reflui delle centrali geotermoelettriche, possono trovare molte utilizzazioni a scala locale. Ad esempio, oltre ai classici usi termali, sono già sfruttati da molti anni per riscaldamento di abitazioni (es. a Larderello) o di serre (floricoltura nell'area di Castelnuovo V.C. e del M. Amiata), nonché per scopi zootecnici (es. itticoltura a Castelnuovo V.C.).

Evoluzione geologica dell'Appennino settentrionale

L'attuale configurazione geologica dell'Appennino settentrionale (Fig. 3) presenta la fase finale di complessi processi di trasformazione a cui hanno assistito diverse aree geologiche paleogeografiche e che hanno subito nel tempo lente e profonde modificazioni. L'Appennino settentrionale è una catena orogenica di recente formazione (ultimi 35 milioni di anni fa) e appartiene all'ampia fascia orogenetica alpino-himalayana che si estende dall'area del Mediterraneo occi-

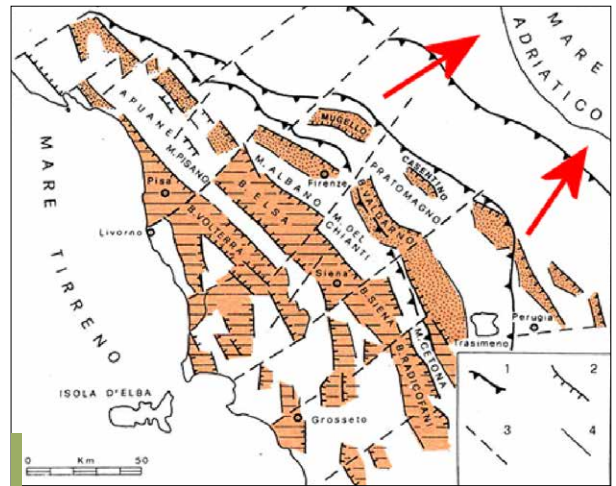
**FIGURA 4**

Evoluzione della catena appenninica settentrionale: A) chiusura della Tetide occidentale; B) collisione dei blocchi europeo e africano (microplacca adriatica).

dentale (Marocco-Spagna) all'Oceano Pacifico (Nuova Zelanda) passando per l'Himalaya. Ha avuto origine dalla collisione tra il margine continentale della placca africana (cioè la microplacca adriatica) e la placca europea durante il Terziario, collegata alla subduzione dell'interposto Oceano Ligure-Piemontese iniziata già nel Cretaceo superiore (Vai & Martini, 2001; Molli, 2008; Bortolotti et al., 2001; Dal Piaz et al., 2003; Elter et al., 2003; Marroni et al., 2010 con bibliografia) (Fig. 4).

L'architettura della costruzione delle falde dell'Appennino settentrionale è il risultato della sovrapposizione di unità tettoniche di origine sia oceanica (ad esempio le Liguridi) che continentale (ad esempio la Falda Toscana e le sottostanti Unità Metamorfiche Toscane). L'evoluzione deformativa dell'Appennino settentrionale iniziò nel tardo Mesozoico e interessò, dapprima il dominio oceanico ligure, per poi coinvolgere, a partire dall'Oligocene superiore - Miocene inferiore, i settori interno (Dominio Toscano) e poi quello esterno (Dominio Umbro) del margine continentale adriatico.

In particolare, la progressiva migrazione verso est del fronte orogenico (oggi localizzato nell'area marchigiano-adriatica) fu seguita, a partire dal Miocene medio-superiore, dai fenomeni estensionali e di delaminazione crostale nell'area retrostante (in Toscana meridionale lo spessore crostale è ridotto a 22-20 km) che produssero: a) l'esumazione delle Unità Metamorfiche Toscane in particolare lungo la cosiddetta Dorsale Metamorfica Toscana (ovvero l'allineamento delle finestre tettoniche Alpi Apuane-Monti Pisani-Iano-Monticiano-Dorso di Roccastrada-M.Leoni) (Carmignani & Kligfield, 1990; Carmignani et al., 1993) (vedi Fig. 3); b) la struttura regionale a horst e graben con la progressiva creazione di bacini sedimentari marini-continentali durante l'intervallo temporale dal Tortoniano superiore al Quaternario (Fig. 5); c) la risalita di geoisoterme nella Toscana meridionale e nell'area tirrenica settentrionale (Della Vedova et al.,

**FIGURA 5**

Struttura estensionale di horst e graben nell'Appennino settentrionale. Principali bacini sedimentari (rosa): linee orizzontali (bacini continentali e marini dal Tortoniano superiore al Pleistocene), punteggiate (bacini fluvio-lacustri dal Pliocene superiore al Quaternario). 1) localizzazione del fronte orogenico in tempi diversi, 2) e 4) localizzazione di faglie normali ad alto angolo, 3) lineamenti strutturali anti-appenninici (da Martini & Sagri, 1993).

2001; Baldi et al., 1995) (Fig. 6).

Quest'ultimo fenomeno è legato alla formazione e messa in posto di corpi magmatici anatettici dal Miocene superiore al Quaternario (vedi provincia magmatica toscana in Peccherillo, 2005; Conticelli et al., 2015; Serri et al., 1991, 1993) (Fig. 7) e alle successive attività idrotermali e geotermiche nell'Arcipelago Toscano e nella Toscana meridionale (ad esempio i giacimenti minerari in Tanelli, 1983; Tanelli et al., 2001; i campi geotermici ad alta entalpia di Larderello-Travale e M.Amiata in Batini et al., 2003).

Campo di Larderello

È uno dei quattro giacimenti al mondo a vapore secco dominante. L'area geotermica di Larderello, a cui si affianca ad oriente quello di Travale-Radicondoli-Chiusdino, è localmente caratterizzata da un flusso di calore molto elevato (da 120 a più di 1000 mW/m²) e un gradiente geotermico di circa 300°C/km (Baldi et al., 1995) (Fig. 6), ed è geologicamente caratterizzata da bacini tardo-post-orogonici (graben o semigraben secondo Bossio et al., 1993; Martini e Sagri, 1993; oppure bacini di "top thrust" secondo Bonini et al., 2001) riempiti con sedimenti neogenici, continentali

e marini e separati da dorsali dove affiora la pila tettonica appenninica (Bertini et al., 1994, 2006; Vai, 2001 e riferimenti ivi contenuti). La pila tettonica comprende le unità oceaniche giurassico-eoceniche (unità liguri e sub-liguri) sovrastanti le unità derivate dalla deformazione del paleomargine adriatico (Unità Metamorfiche Toscane, Falda toscana), di età compresa tra il Paleozoico e il Miocene inferiore.

L'assetto stratigrafico e tettonico del campo geotermico di Larderello è rappresentato nelle **Figg. 8 e 9** (Bertini et al., 2006). Al di sotto della copertura impermeabile ligure e subligure, il serbatoio geotermico superiore (UR) è generalmente costituito da formazioni mesozoiche variamente permeabili della Falda Toscana: diaspri e calcari selciferi pelagici giurassici, formazioni carbonatiche di mare sottile retico-hettangiane e parte delle sottostanti alternanze anidrite-dolomia spesso brecciate del Triassico superiore (Norico-Retico basale). La Falda Toscana è spesso tettonicamente laminata e in alcuni punti mostra uno spessore molto ridotto o è completamente assente a causa di processi estensionali post-collisionali (Bertini et al., 1994; Decandia et al., 2001). In profondità, l'UR continua in un Complesso di Scaglie Tettoniche (la parte superiore dell'Unità Monticiano-Roccastrada in Bertini et al., 1994), costituito principalmente da formazioni metasiliciclastiche (il "Verrucano") e carbonatico-evaporitiche del Triassico superiore, nonché da quarziti e filladi del Paleozoico (Gianelli et al., 1978; Pandeli et al., 1991). Le rocce carbonatico-evaporitiche dell'UR hanno subito più fasi di fratturazione partendo da fenomeni autoclastici diagenetici a quelli cataclastici legati alla tetto-genesi appenninica.

Il serbatoio geotermico inferiore (LR) è costituito da unità metamorfiche paleozoiche (**Fig. 9**), attraversate in un intervallo di profondità di circa 2000-4000 m (Gianelli et al., 1978;

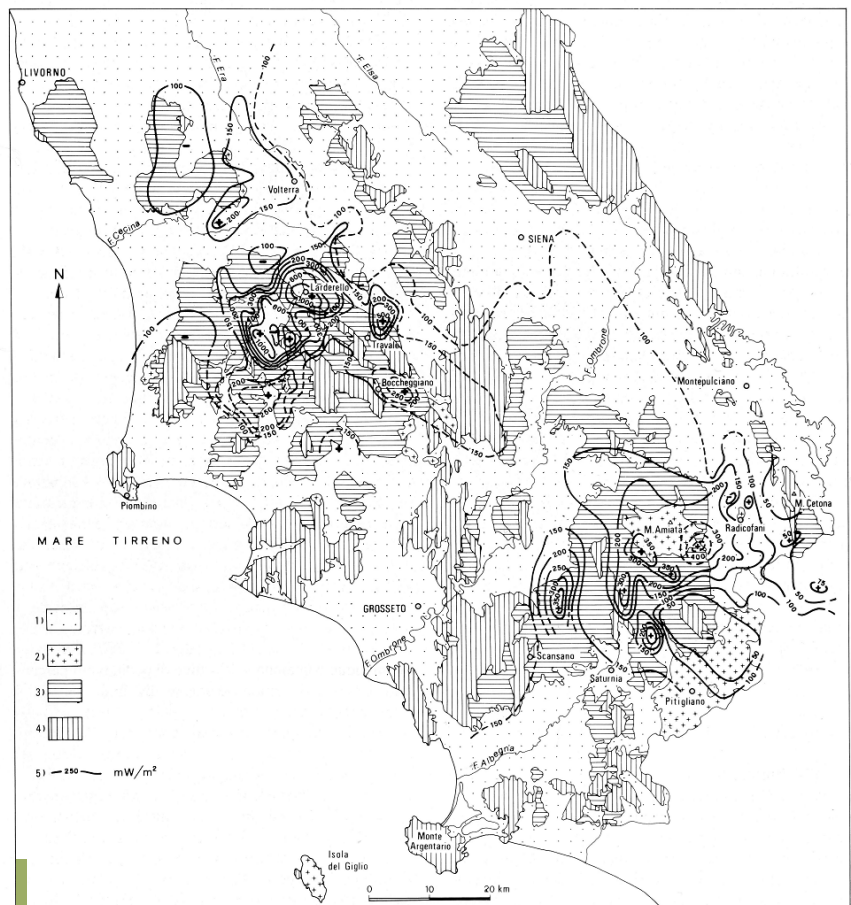


FIGURA 6

Flusso di calore nell'Appennino settentrionale (da Baldi et al., 1995).

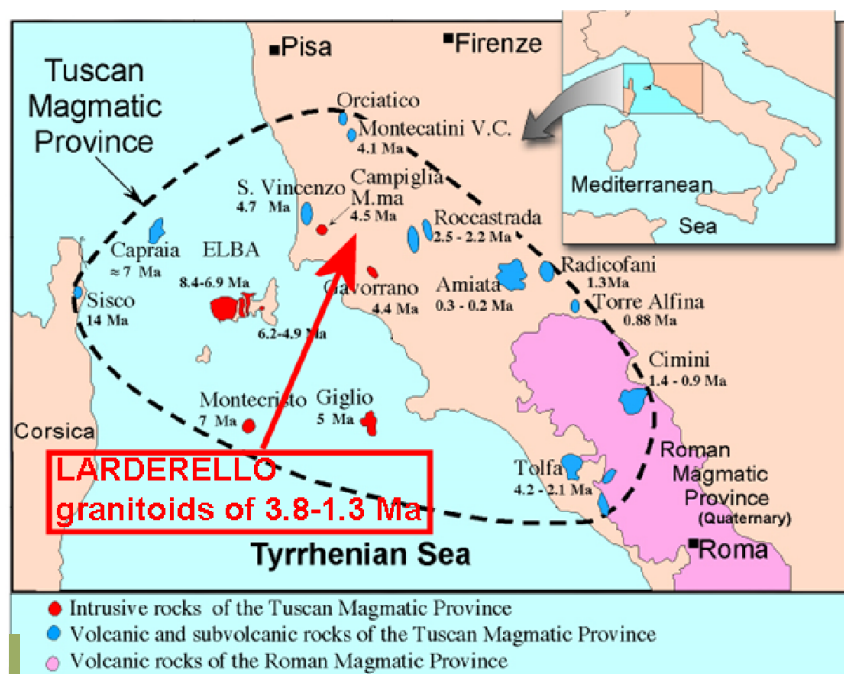
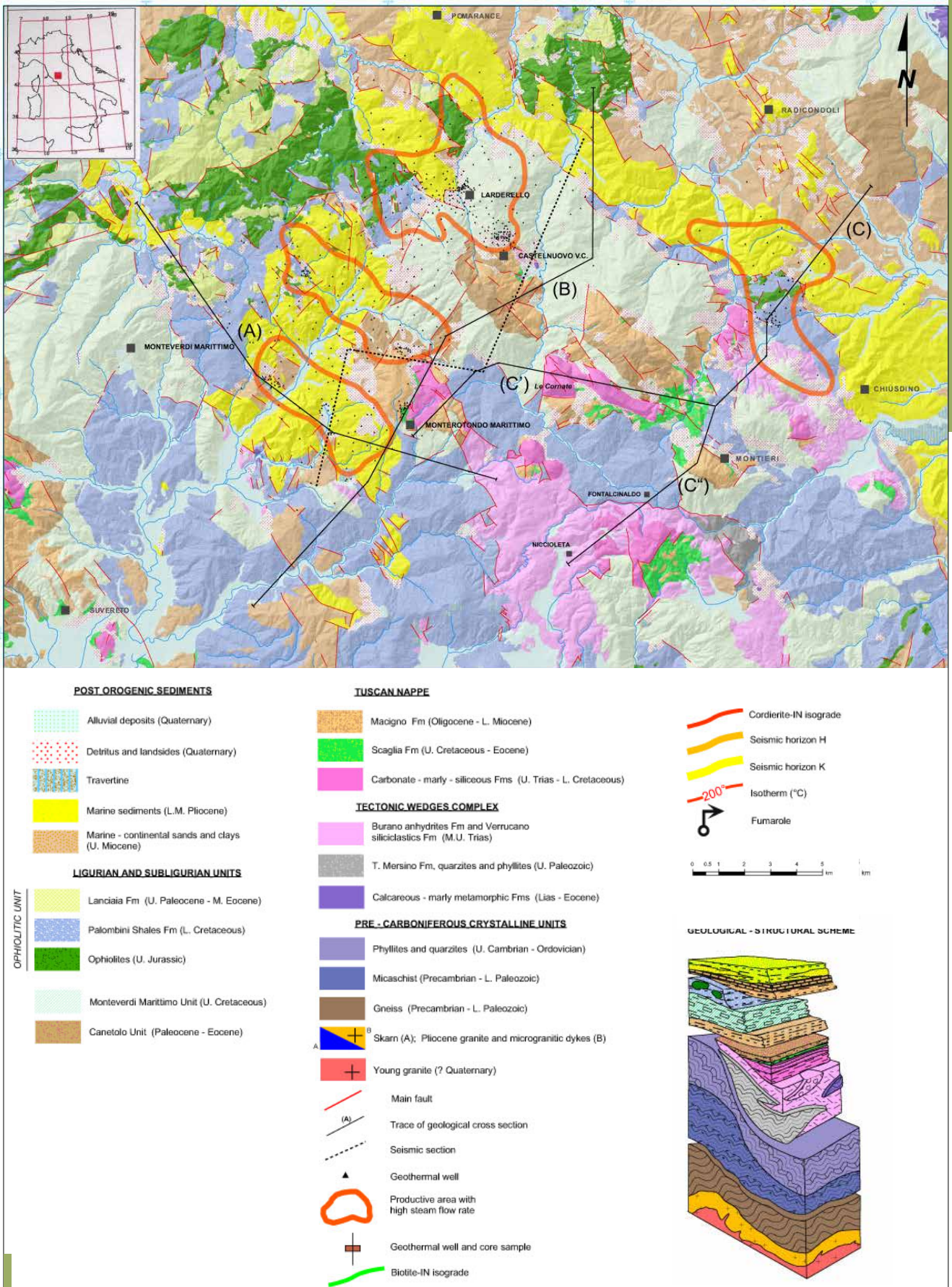
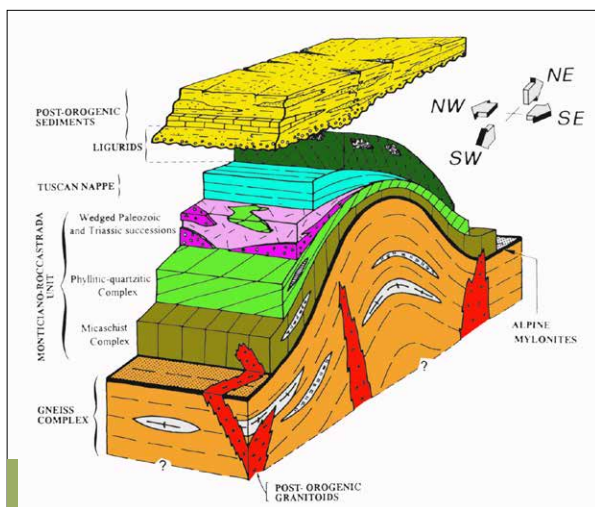


FIGURA 7

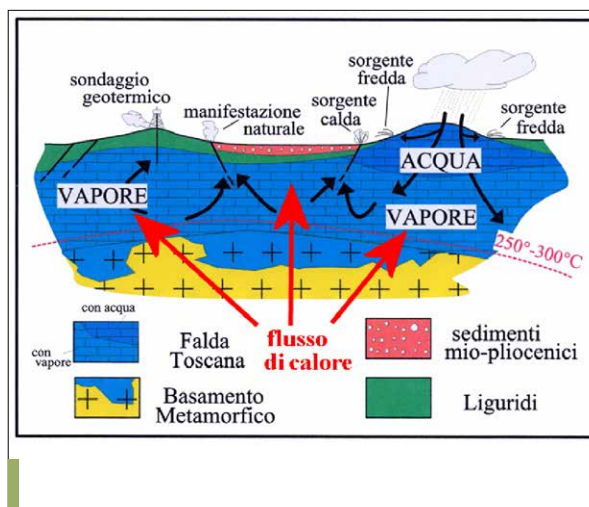
Carta di localizzazione dei corpi di rocce intrusive-subvulcaniche e vulcaniche della Provincia Magmatica Toscana e di quella Romana (da Dini et al., 2006, modificato).

**FIGURA 8**

Carta geologica delle aree geotermiche di Larderello e Travale-Radicondoli e schema tettonico (da Bertini et al., 2006).

**FIGURA 9**

Schema tettono-stratigrafico del campo di Larderello (da Bertini et al., 2006 modificato).

**FIGURA 10**

Schema generale del campo geotermico idrotermale di Larderello.

Elter e Pandeli, 1990; Pandeli et al., 1994, 2005): (1) Complesso filladico-quarzitico rappresentato da metagrovacche con minori livelli di metabasiti di probabile età tardo Cambriana-Ordoviciano (2) Complesso dei Micascisti, costituito da micascisti albitici contenenti granato almandino e con locali intercalazioni di anfiboliti (Precambriano?-Paleozoico inferiore?). Una singola età Rb-Sr (285 ± 11 Ma) è stata correlata all'evento di alta temperatura-bassa pressione (HT-LP) del Varisco superiore da Del Moro et al. (1982).

Le suddette unità appartengono all'Unità Monticiano-Roccastrada che sovrasta tettonicamente il Complesso degli Gneiss (Fig. 9). Questo comprende gneiss con livelli di anfibolite e gneiss anfibolitici (Precambriano?-Paleozoico inferiore?) e rare rocce calc-silicatiche.

Tutte le unità cristalline pre-carbonifere mostrano evidenze di tettono-metamorfismo varisco, ma solo quelle dell'Unità Monticiano-Roccastrada sono state fortemente influenzate dall'orogenesi alpina (Elter e Pandeli, 1990). La pila tettonica è stata dislocata da sistemi di faglie estensionali a basso e alto angolo a partire dal Miocene medio (Decandia et al., 2001); in particolare tra quelle ad alto angolo sono presenti faglie normali con classica direzione NO-SE, listriche in profondità, e faglie coeve sub-ver-

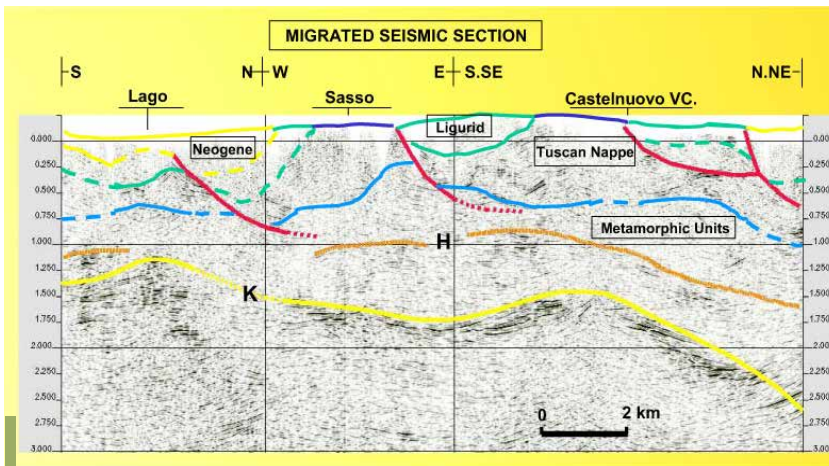
ticali legate allo sviluppo del Bacino di Lago miocenico superiore-pleiocenico, orientato NE-SO ed interpretato come una "transfer zone" (Liotta et al., 2024). Nel Pliocene-Quaternario tutte le unità cristalline subiscono anche metamorfismo di contatto (Gianelli e Ruggieri, 2002; Musumeci et al., 2002; Pandeli et al., 2005), da basso ad alto grado, originato dalle intrusioni di graniti di 3,8-1,3 Ma (Fig. 7) (Villa e Puxeddu, 1994; Villa et al., 2001; Dini et al., 2004), e processi idrotermali correlati (Cavarretta et al., 1982).

Rocce metamorfiche di contatto a sillimanite e a corindone-sanidino (Batini et al., 1983) e con vene pneumatolitiche a quarzo-tormalina sono state campionate durante l'eruzione del pozzo San Pompeo 2 nell'area di Lago (area meridionale del campo geotermico) quando ha intercettato il cosiddetto orizzonte K (vedi più avanti) a circa 3000 m di profondità in prossimità della sommità del granito quaternario (definita a circa 4000 m); inoltre, in quest'area sono state misurate le temperature più elevate in campo (438 °C) e sono stati campionati fluidi con pressioni di circa 300 bar. Questi ultimi sono fluidi non geotermici, ma ricchi in CH₄ e H₂ e con firma isotopica dell'ossigeno fortemente positiva, riconducibile a fluidi magmatici-pneumatolitici in regime supercritico. Studi sulle inclusioni fluide (Valori et al., 1992; Cathelineau et al., 1994) presenti nei mine-

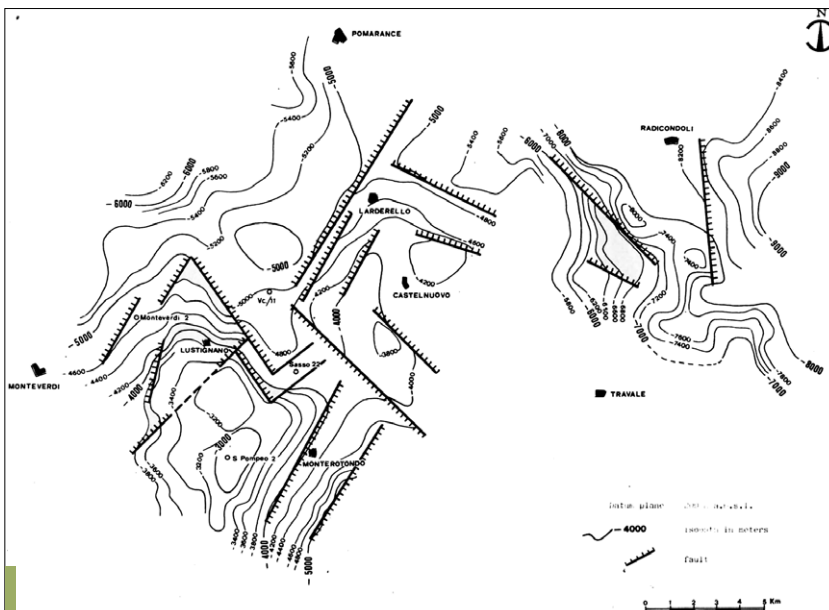
rali hanno rivelato paleopressioni di 100 ± 10 MPa e paleotemperature di 670 ± 25 °C, e un contributo da fluidi magmatici profondi.

Coltivazione del Campo di Larderello

Fino agli anni '70, la produzione era essenzialmente legata alle rocce triassiche carbonatiche e carbonatico-evaporitiche di UR (Fig. 10) nel classico serbatoio con fluidi caratterizzati da una concentrazione di vapore surriscaldato mediamente compresa tra il 92% e il 98% (in peso del fluido estratto), con temperature comprese tra 150 °C e 220-260 °C e con pressioni generalmente comprese tra 10 e 18-20 bar, ma localmente fino a 32 bar (Bertani et al., 2005; Bertini et al., 2005; Romagnoli et al., 2010) (generalmente $P=2-7$ bar e T attorno a 150-210 °C a boccapozzo). Successivamente, però, si è manifestata una forte depressurizzazione di UR. In questo contesto, la reiniezione dei fluidi geotermici reflui nel giacimento e il ritrovamento di un nuovo serbatoio di tipo idrotermale (LR) nelle rocce metamorfiche dell'Unità Monticiano-Roccastrada, attraverso perforazioni profonde tra 2000 e oltre 3500 m, hanno rinnovato il campo. In LR il vapore surriscaldato ha una pressione di 40-70 bar e una temperatura di 300-350 °C (Barelli

**FIGURA 11**

Localizzazione dei principali orizzonti sismici riflettenti nel campo di Larderello (da Bertini et al., 2006).

**FIGURA 12**

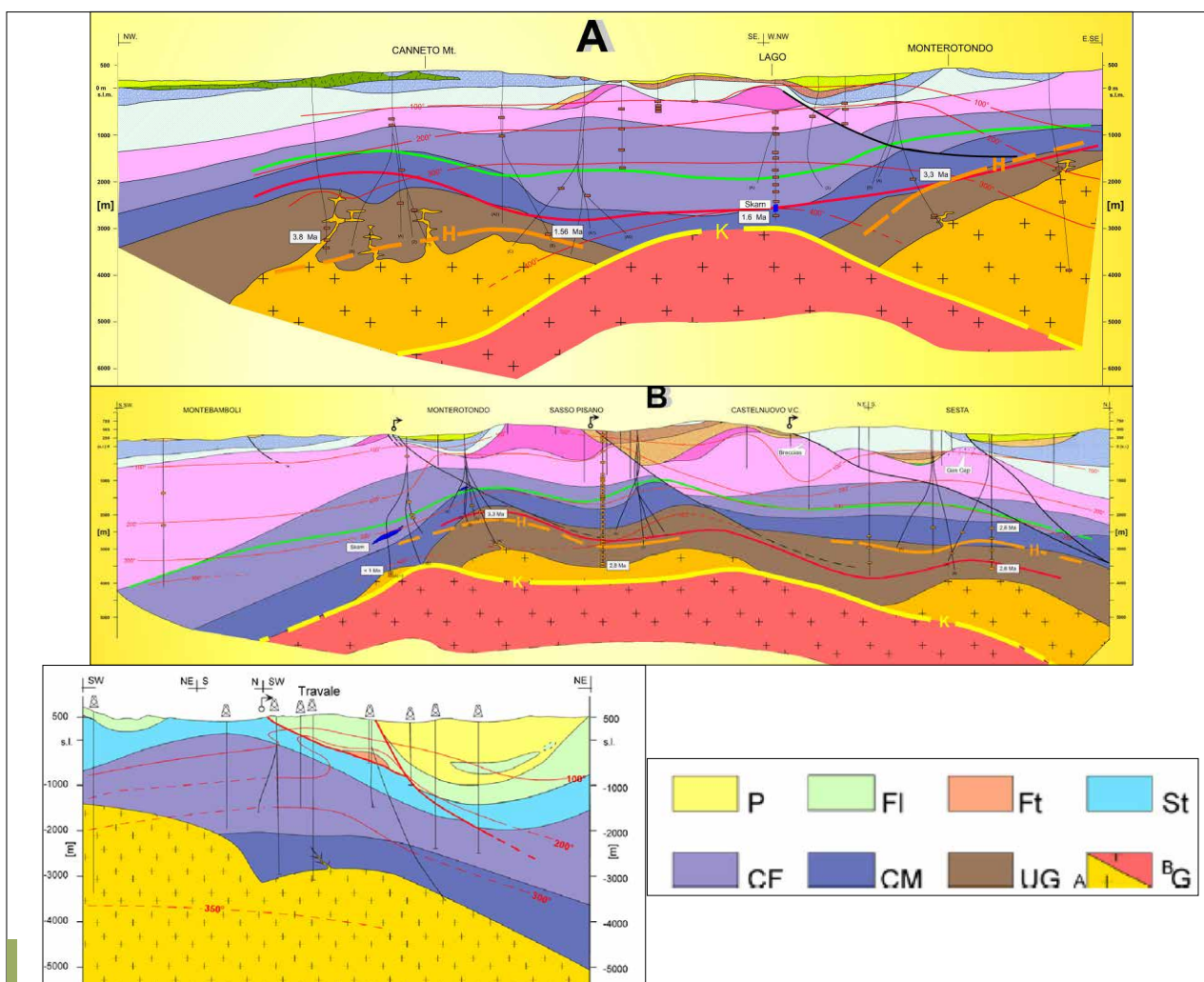
Profondità dell'orizzonte sismico K nel campo di Larderello-Travale (da Batini et al., 1983).

et al., 1995; Romagnoli et al., 2010) (alla testa del pozzo la pressione è di 5-15 bar e la temperatura di 150-260 °C). Pertanto, LR è diventato l'attuale serbatoio in sfruttamento con una portata di oltre 3700 t/h (Romagnoli et al., 2010). LR ha un'evidenza sismica nei cosiddetti orizzonti H (Fig. 11). A partire dagli anni '70, le indagini geofisiche profonde hanno evidenziato un forte orizzonte riflettente nel basamento metamorfico praticamente trasparente a maggiori profondità del reservoir LR. Questo orizzonte è stato denominato K-horizon (Fig. 11) ed è caratterizzato da un segnale a forte

contrasto di impedenza acustica a forte ampiezza di tipo "bright-spot", suggerendo la presenza di una fascia fratturata contenente una fase fluida (Batini et al., 1983; Gianelli et al., 1997). Come precedentemente detto, il pozzo San Pompeo ha intersecato la culminazione dell'orizzonte K a circa 3000 m in un intervallo di temperatura di 400-450 °C (oltre 500 °C nel progetto DESCramble, vedi Bertani et al., 2018) e ha prodotto fluidi non idrotermali, bensì supercritici con caratteristiche pneumatolico-magmatiche. L'orizzonte K varia in profondità da 3 a 8 km (Batini et al., 1983; Cameli et al.,

1998 con bibliografia) sia nei campi di Larderello-Travale (Fig. 12) che del Monte Amiata (vedi oltre).

Le sezioni trasversali del campo sono riportate nella Fig. 13. In queste si nota che sia le rocce di copertura che quelle di UR mostrano variazioni di spessore e boudinage, spesso associate a faglie normali listriche a basso-medio angolo con direzione NO-SE e inclinazione verso est. I dati sismici consentono l'identificazione di queste faglie fino a una profondità di circa 2400 m. Al di sotto di questa profondità il segnale è debole o assente; quindi, l'estrapolazione di queste strutture a profondità maggiori è in gran parte speculativa. Le aree più produttive (ovvero con elevata concentrazione di pozzi produttivi e portate elevate) sono correlate a queste faglie, che si trovano sul lato orientale degli alti strutturali (vedi Figg. 8 e 13). È inoltre interessante notare che queste faglie listriche sono correlate alla culminazione dei corpi granitici più vecchi e raggiungono una profondità non superiore all'orizzonte H. La localizzazione delle emissioni naturali superficiali di vapore e gas è correlata a queste strutture tettoniche. In particolare, i livelli produttivi della LR si verificano in corrispondenza dell'orizzonte H, situato al vertice dei graniti pre-quaternari e all'interno delle aureole metamorfiche di contatto circostanti. Il fluido prodotto ha una firma isotopica meteorica complessiva ed è sempre vapore surriscaldato. L'orizzonte K taglia trasversalmente i graniti più vecchi di 1,3 milioni di anni fa e si colloca a tetto intrusione magmatica più giovane, in corrispondenza del carapace granitico e delle relative rocce metamorfiche di contatto permeate da un fluido supercritico. L'orizzonte H può essere interpretato come un orizzonte K fossile, corrispondente alla sommità delle intrusioni granitiche più antiche. Successivamente, le fratture sono state riempite con fluidi di origine meteorica. Pertanto, l'orizzonte H rappresenta verosimilmente il serbatoio di vapore all'interno della LR geotermica, mentre l'orizzonte K è un potenziale serbatoio profondo che ospita un fluido nel suo stato supercritico.

**FIGURA 13**

Sezioni geologiche del campo di Larderello-Travale con profili dei pozzi profondi e localizzazione degli orizzonti sismici H e K. P: Depositi terrigeni neautoctoni (Pliocene inferiore-Miocene superiore); FI: Complesso Flysch ligure e subligure (Giurassico-Eocene); Ft: Formazioni terrigene delle Unità Toscane (Cretaceo superiore-Miocene inferiore); St: Formazioni prevalentemente carbonatiche delle Unità Toscane (Trias superiore-Malm); CF: Complesso di Fillidi e Quarziti (Cambriano superiore-Ordoviciano); CM: Complesso Micascisto (Precambriano-Paleozoico inferiore); UG: Unità Gneiss (Precambriano-Paleozoico inferiore); G: Granito A. Pliocene; B. Quaternario (da Bertini et al., 2006; Romagnoli et al., 2010).

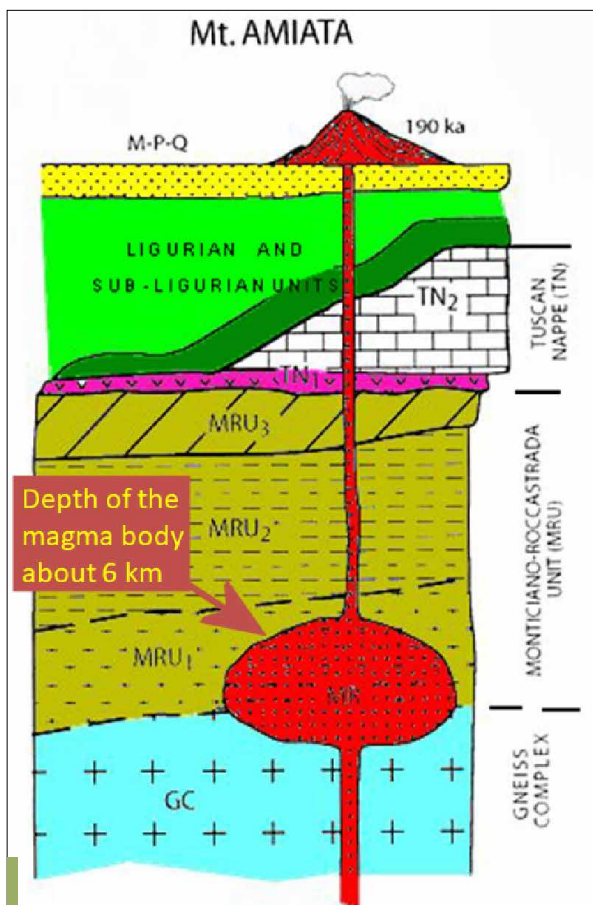
Articoli precedenti hanno proposto altri modelli in cui le faglie a basso angolo a Larderello raggiungono l'orizzonte K, interpretato come una zona di taglio estensionale cinematicamente attiva nella crosta alla transizione fragile-duttile anche se localmente coincide con il tetto di un corpo magmatico. (Cameli et al., 1993; Liotta e Ranalli, 1999; Brogi et al., 2003, 2004; Bellani et al., 2004).

Altre indagini geofisiche (tomografia sismica, magnetellurica, ecc.) hanno rivelato la possibile presenza di un corpo magmatico ancora parzialmente fuso a una profondità di 8 km sotto l'orizzonte K nell'area di Lago (Foley et al., 1992; Manzella et al., 1998).

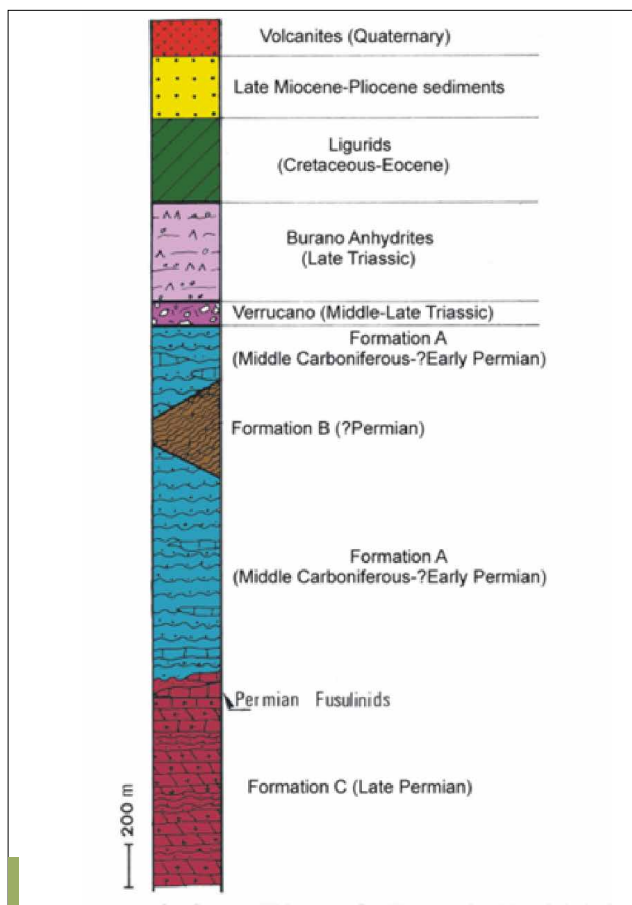
Area geotermica del Monte Amiata

Nell'area del Monte Amiata sono presenti due campi geotermici ad acqua dominante (campo di Bagnore, a SO, e campo di Piancastagnaio, a SE). L'assetto geologico del Monte Amiata (Batini et al., 2003; Pandeli et al., 2005) è caratterizzato dal vulcano trachitico-latitico del Monte Amiata (0,3–0,2 Ma: Ferrari et al., 1996 con bibliografia) (Fig. 14). Le unità affioranti appartengono alle già menzionate unità liguri e subliguri e alla Falda Toscana (TN in Fig. 15), simili a quelle dell'area di Larderello. L'Unità di Monticiano-Roccastrada non affiora nell'area del Monte Amiata, ma è stata incontrata dai pozzi geotermici profondi.

Questa unità è composta da sequenze metamorfiche di grado molto basso (Elter & Pandeli, 1991 con bibliografia) con, dall'alto (Figg. 15 e 16): Gruppo del Verrucano Triassico (MRU3 in Fig. 15); filladi grafitiche e meta-arenarie di probabile età carbonifera-permiana (Formazione a); filladi cloritiche spesso ricche in pigmento ematitico e con livelli di anidrite, metarenarie e dolomie (Formazione b, Devoniano?); calcari cristallini e dolomie con intercalazioni di filladi grafitiche del Permiano superiore (Formazione c) (MRU2 in Fig. 15). Inclusi di micascisti e gneiss sono stati scoperti come xenoliti nelle lave del Monte Amiata (Van Bergen, 1983), suggerendo la loro presenza in profon-

**FIGURA 15**

Schema tettono-stratigrafico dell'area del Monte Amiata (da Batini et al., 2003).

**FIGURA 16**

Colonna stratigrafico-strutturale del sottosuolo del campo di Piancastagnaio (da Elter & Pandeli, 1991).

dità (MRU1-GC in Fig. 15). Anche le rocce metamorfiche dell'area geotermica del Monte Amiata sono interessate dal termometamorfismo e dall'idrotermalismo legati al magmatismo recente (Gianelli et al., 1988).

Il tetto della camera magmatica è stato stimato su basi geofisiche a 5-7 km di profondità (Gianelli et al., 1988) (Fig. 15).

Coltivazione dei campi del Monte Amiata

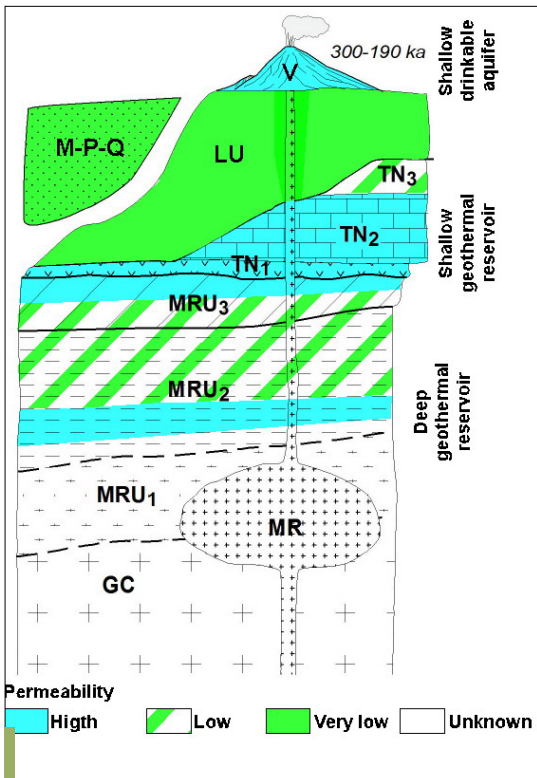
Analogamente a Larderello, la coltivazione dei fluidi geotermici dei campi ad acqua dominante del Monte Amiata è iniziato con il serbatoio classico in TN, prima nel campo di Bagnore (1958) e poi nel campo di Piancastagnaio (1961) (Calamai et al., 1970; Barelli et al., 2010). Il serbatoio geotermico classico nelle due aree ha una forma a domo che include una cappa di vapore e gas al di sopra della tavola d'acqua (vedi Figg. 17 e 18). Le temperature

e pressioni registrate durante la fase esplorativa alla sommità del serbatoio superficiale nei campi di Bagnore e Piancastagnaio sono inferiori rispetto alla regione boracifera. All'inizio della coltivazione variavano tra valori di $T=150-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ e una pressione di 23 bar per il campo di Bagnore, e $T=220-230\text{ }^{\circ}\text{C}$ e 40 bar per quello di Piancastagnaio, dopo 40 anni di coltivazione le pressioni erano scese a 4 bar a Bagnore e 22 bar a Piancastagnaio; ma, nel 2008 dopo l'inizio della coltivazione del serbatoio profondo (vedi oltre), le pressioni erano risalite a 12 bar a Bagnore e 24 bar a Piancastagnaio (Barelli et al., 2010) (Fig. 18). Il fluido prodotto dal serbatoio più superficiale è una miscela binaria (vapore saturo+CO₂ nella parte superiore dei serbatoi) con $T=150-220\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A partire dagli anni '70, sono stati perforati pozzi profondi anche nei campi di Bagnore e Piancastagnaio, evidenziando la presenza a profondità superiori a 2000 m di un serbatoio profondo nelle rocce metamorfiche del basamento cristallino (Figg. 17 e 19) che è quello attualmente in sfruttamento. Questo è caratterizzato da acqua pressurizzata a P (idrostatica) = 190-250 bar e $T=300-360\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Barelli et al., 2010) e fluidi con un contenuto di TDS (ricalcolato dai fluidi prelevati a testa pozzo) compreso tra 3 e 21 g/l (generalmente inferiore a 8 g/l), di composizione essenzialmente clorurato-sodica. Il fluido, risalendo in superficie, vaporizza parzialmente per effetto della depressurizzazione (fenomeno di "flashing") e quindi a testa pozzo viene erogata una miscela binaria (acqua/vapore).

I serbatoi superficiali e profondi sono in equilibrio piezometrico, come mostrato dalla distribuzione della pressione idrostatica nella Fig. 20.

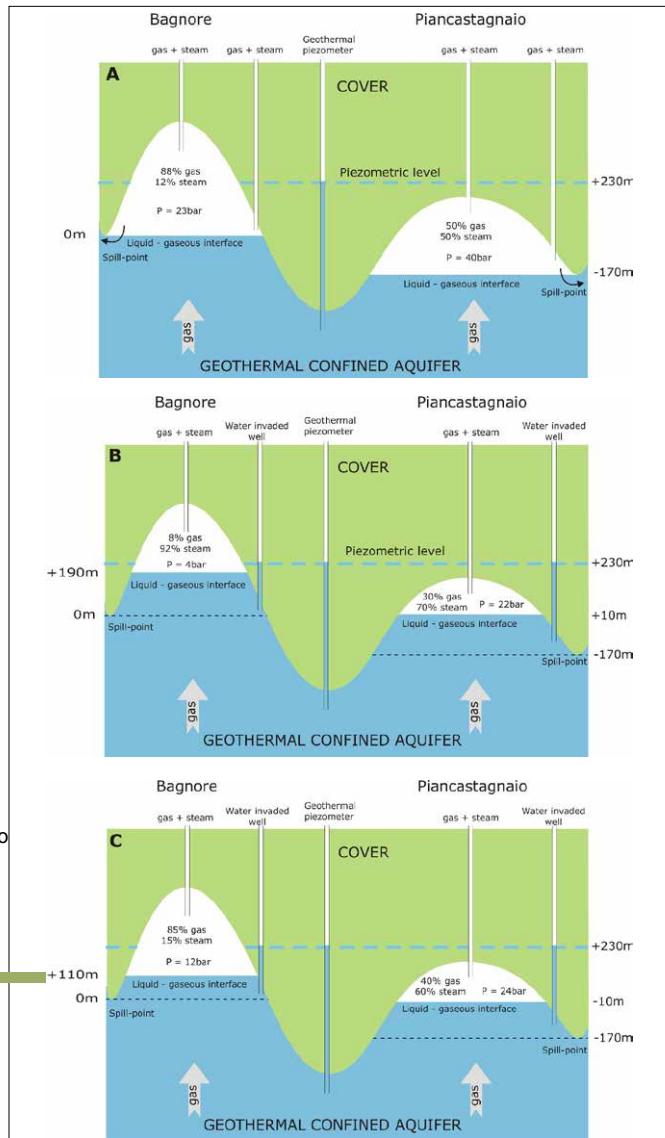
L'orizzonte K è presente anche nell'area del Monte Amiata (Fig. 21) con il culmine a circa 4000 m al di sotto della struttura vulcanica (Gianelli et al., 1988; Batini et al., 1983; Brogi, 2008).

**FIGURA 17**

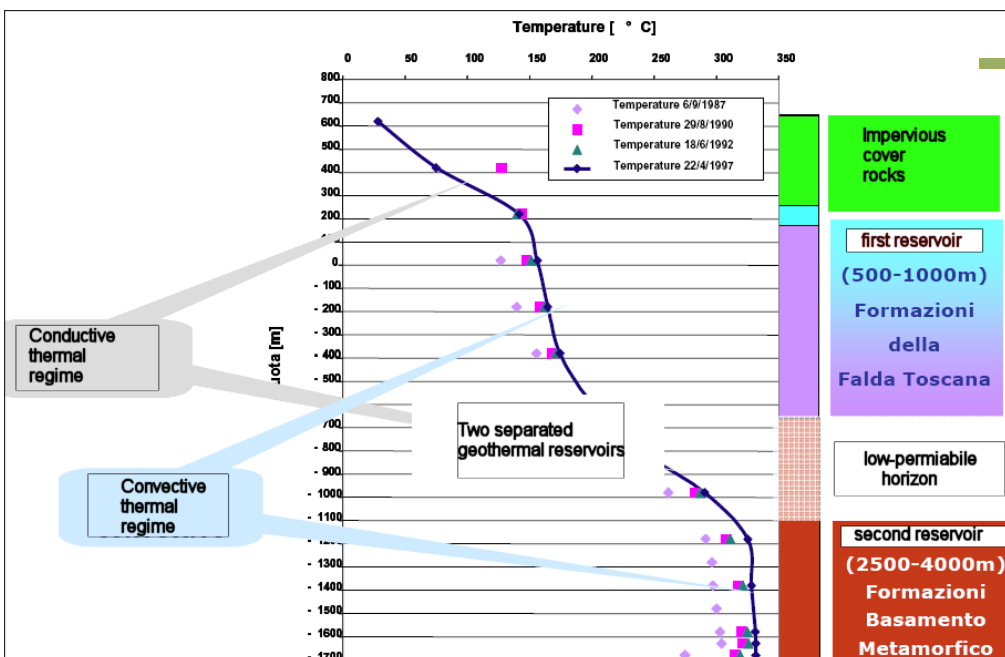
Localizzazione del serbatoio superficiale (UR) e del serbatoio profondo (LR) nei campi del Monte Amiata (da Barelli et al., 2010).

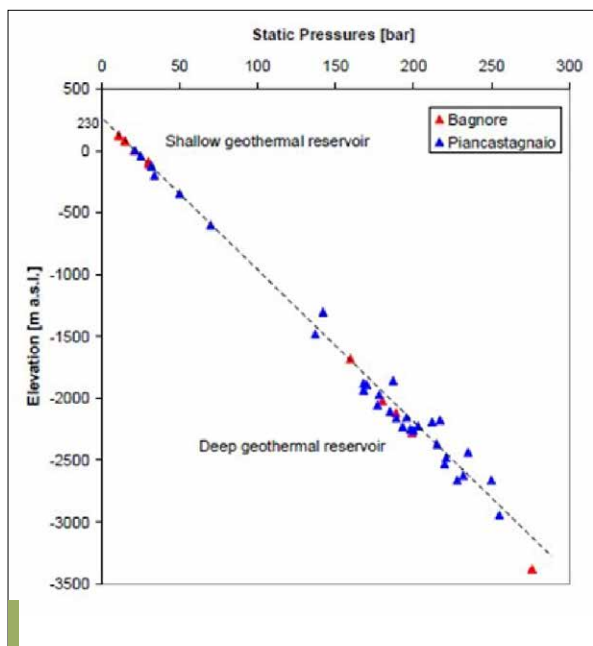
FIGURA 18

Stato dei serbatoi geotermici superficiali a Bagnore e Piancastagnaio: A) prima dello sfruttamento; B) dopo circa 40 anni di sfruttamento; C) stato del 2008 (conseguente all'interruzione della produzione a Bagnore e alla sua riduzione a Piancastagnaio). (dopo Barelli et al., 2010).

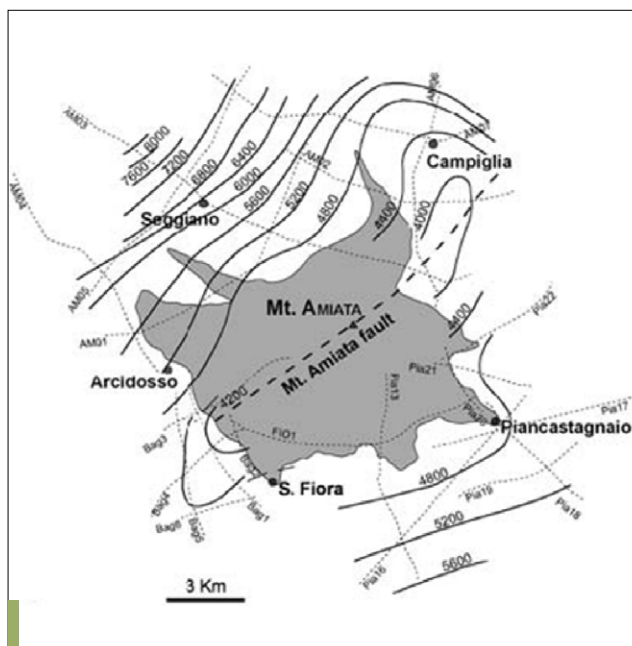
**FIGURA 19**

Tipico profilo temperatura-altitudine in un pozzo geotermico del sistema del Monte Amiata (da Barelli et al., 2010).



**FIGURA 20**

Pressioni statiche vs. elevazione nei sistemi geotermici del Monte Amiata (da Barelli et al., 2010).

**FIGURA 21**

Profondità dell'orizzonte K nell'area del Monte Amiata (da Brogi, 2008).

BIBLIOGRAFIA

Baldi P., Bellani S., Ceccarelli A., Fiordelisi A., Squarci P. & Taffi L. (1994). *Correlazioni tra le anomalie termiche ed altri elementi geofisici e strutturali della Toscana meridionale*. Studi Geologici Camerti 1, 139-149.

Barelli A., Cappetti G. & Stefani G. (1995). *Results of deep drilling in the Larderello-Travale/Radicondoli geothermal area*. In: Proceedings World Geothermal Congress 1995, Florence, Italy, pp. 1275-1278.

Barelli A., Ceccarelli A., Dini I., Fiordelisi A., Giorgi N., Lovari F. & Romagnoli P. (2010). *A review of the Mt. Amiata geothermal system (Italy)*. In Proceedings world geothermal congress, Vol. 2010: 1-4.

Batini F., Bertini G., Gianelli G., Pandeli E. & Puxeddu M. (1983). *Deep structure of the Larderello field: contribution from recent geophysical and geological data*. Soc. Geol. Ital. Mem., 25, 219-235.

Batini F., Brogi A., Lazzarotto A., Liotta D. & Pandeli E. (2003). *Geological features of Larderello-Travale and Mt Amiata geothermal areas (southern Tuscany Italy)*. Episodes 26: 239-244.

Bertani R., Büsing, H., Buske S., A. Dini, S., Hjelstuen M., Luchini M., Manzella A., Nybo R., Rabbel W., Serniotti L., DESCRAMBLE Science and Technology Team (2018). *The First Results of the DESCRAMBLE Project*. Proceed, 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, February 12-14, 2018 SGP-TR-2131.



**Geognostica e
consolidamento terreni**

www.mappogeognostica.it

Mappo Geognostica srl

Loc. Biagioni 60 • 55010 Spianate LU • Tel. 0583 20799 • Fax 0572 930069

email: mappogeognostica@virgilio.it



Bertini G., Cameli G.M., Costantini A., Decandia F.A., Dini I., Elter F.M., Lazzarotto A., Lotta D., Pandeli E. & Sandrelli F. (1994). *Structural features of southern Tuscany along the Monti di Campiglia-Rapolano Terme cross-section.* Soc. Geol. Ital. Mem., 48, 51–59.

Bertini G., Casini M., Gianelli G. & Pandeli E. (2006). *Geological structure of a long-living geothermal system, Larderello, Italy.* Terra Nova, 18, 163–169.

Bortolotti V., Fazzuoli M., Pandeli E., Principi G., Babbini A. & Corti S. (2001). *Geology of the central and eastern Elba Island, Italy.* Ofioliti 26, 97–150.

Brogi A., Lazzarotto A., Liotta D. & Ranalli G. (2004). *Crustal structures in the geothermal areas of southern Tuscany (Italy): insights from the CROP18 Working Group.* J. Volcanol. Geoth. Res., 148, 60–80.

Burgassi P. D. (1983). *Energia geotermica nelle Colline Metallifere.* Mem. Soc. Geol. It., 25, 135–140.

Calamai A., Cataldi R., Squarci P. & Taffi L. (1970). *Geology, Geophysics and Hydrogeology of the Monte Amiata Geothermal Fields.* Geothermics, Special Issue, 1–9.

Carmignani L., Decandia F.A., Disperati L., Fantozzi P.L., Lazzarotto A., Liotta D. & Meccheri M. (1994). *Tertiary extensional tectonics in Tuscany (Northern Apennines, Italy).* Tectonophysics 238, 295–315.

Conticelli S., Marroni M. & Moratti G. (eds. 2015). *The geology of the Monte Amiata.* Italian J. Geosci. 134, Roma, pp. 382.

Decandia F.A., Lazzarotto A. & Liotta D. (2001). *Structural features of southern Tuscany, Italy.* Ofioliti, 26, 287–300.

Della Vedova B., Bellani S., Pellis G. & Squarci P. (2001). *Deep temperatures and surface heatflow distribution.* In: Vai G.B., Martini, I.P. (Eds.), *Anatomy of an Orogen: The Apennines and Adjacent Mediterranean Basins.* Kluwer Academic Publishers, Amsterdam, pp. 65–76.

Dini A., Gianelli G., Puxeddu M. & Ruggieri G. (2004). *Origin and evolution of Pliocene–Pleistocene granites from the Larderello geothermal field (Tuscan Magmatic Province, Italy).* *Lithos*, 81, 1–31.

Durand-Delga M., Pandeli E., Bertini G. (2001) – *Le champ géothermique de Larderello (Toscane, Italie): situation géologique, utilisations industrielles, rôle de la famille de Larderello.* Géologie Alpine, 77: 9–21.

Elter F.M., Pandeli E. (1990). *Alpine and Hercynian orogenic phases in the basement rocks of the northern Apennines (Larderello geothermal field, southern Tuscany, Italy).* Eclogae Geol. Helv. 83, 241–264.

Elter F.M., Pandeli E. (1991) – *Structural features of the metamorphic Palaeozoic–Triassic sequences in deep geothermal drillings in the Monte Amiata area (SE Tuscany, Italy).* Boll. Soc. Geol. Ital., 110, 511–522.

Foley J.E., Toksoz M.N. & Batini F. (1992). *Inversion of teleseismic travel time residuals for velocity structure in the Larderello geothermal system, Italy.* Geophys. Res. Lett. 19, 5–8.

Gianelli G., Manzella A. & Puxeddu M. (1997). *Crustal models of the geothermal areas of southern Tuscany (Italy).* Tectonophysics, 281, 221–239.

Gianelli G., Puxeddu M., Batini F., Bertini G., Dini I., Pandeli E., Nicolich R. (1988). *Geological model of a young volcano-plutonic system: The geothermal region of Monte Amiata (Tuscany, Italy).* Geothermics 17, 719–734.

Liotta D., Bellani S., Brogi A., Manzella A., Ruggieri G. & Zucchi M. (2024). *The progress of geothermal knowledge at Larderello, Italy.* Ital. J. Geosci., 144(2), XX–XX, <https://doi.org/10.3301/IJG.2025.05>

Manzella A., Ruggieri G., Gianelli G. & Puxeddu M., (1998). *Plutonic-geothermal systems of southern Tuscany: a review of the crustal models.* Mem. Soc. Geol. It. 52, 283–294.

Martini I.P. & Sagri M. (1993). *Tectono-sedimentary characteristics of late Miocene–Quaternary extensional basins of the Northern Apennines, Italy.* Earth-Sci. Rev. 34, 197–233.

Molli G. (2008). *Northern Apennine–Corsica orogenic system: an updated overview.* Geological Society, London, Special Publications 298, 413–442.

Pandeli E., Bertini G. & Castellucci P. (1991). *The tectonic wedges complex of the Larderello area (southern Tuscany, Italy).* Boll. Soc. Geol. Ital. 110, 621–629.

Pandeli E., Gianelli G. & Morelli M. (2005). *The crystalline units of the middle-upper crust of the Larderello geothermal region (southern Tuscany, Italy): new data for their classification and tectono-metamorphic evolution.* Boll. Soc. Geol. Ital. (Special Issue) 3, 139–155.

Pandeli E., G. Gianelli M. Puxeddu F. & Elter M. (1994). *The Paleozoic basement of the northern Apennines: Stratigraphy, tectono-metamorphic evolution and alpine hydrothermal processes.* Mem. Soc. Geol. Ital. 48, 627–654.

Pandeli E., Bertini G., Castellucci P., Morelli M. & Monechi S. (2005). *The sub-Ligurian and Ligurian units of the Mt. Amiata geothermal region (south-eastern Tuscany): new stratigraphic and tectonic data and insights into their relationships with the Tuscan Nappe.* Boll. Soc. Geol. It. 3, 55–71.

Pandeli E., Bertini G., Orti I. & Magi F. (2017) – *1. Inquadramento geologico regionale dell'area del Monte Amiata.* In: C. Principe, G. Lavorini & L.M. Vezzoli C Eds. – *Il vulcano di Monte Amiata.* Vol. Spec. Regione Toscana – Tipografia E.S.A. (Edizioni Scientifiche Artistiche), Torre del Greco (NA): 21–54.

Romagnoli P., Arias A., Barelli A., Cei M. & Casini M. (2010). *An updated numerical model of the Larderello–Travale geothermal system, Italy.* Geothermics 39, 292–313.

Serri G., Innocenti F., Manetti P., Tonarini S. & Ferrara G. (1991). *Il magmatismo neogenico-quaternario dell'area toscano-laziale-umbra: implicazioni sui modelli di evoluzione geodinamica dell'Appennino settentrionale.* Studi Geologici Camerti 1, 429–463.

Tanelli G. (1983). *Mineralizzazioni metallifere e minerogenesi della Toscana.* Mem. Soc. Geol. Ital. 25, 91–109.

Tanelli G., Benvenuti M., Costagliola P., Dini A., Lattanzi P., Maineri C., Mascaro I. & Ruggieri G. (2001). *The iron mineral deposits of Elba Island: state of the art.* Ofioliti 26, 239–248 239.

Vai G.B. & Martini I.P. (2001). *Anatomy of an Orogen: The Apennines and Adjacent Mediterranean Basins.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, p. 632.

NON BUTTARLO VIA. NON È UN RIFIUTO.

Lo hai abbandonato
come un rifiuto.
Ma non è un oggetto:
ha paura, soffre e
cerca amore.

Abbandonarlo è un
crimine.
Adottarlo è una
responsabilità.

Aiutaci a fermare tutto questo.
Agisci con ENPA.



Ente
Nazionale
Protezione
Animali
Ente morale • ODV



GEOLOGIA SOTTERRANEA

IL BOSS, una città di rovine ed il terremoto dell'Aquila



“Geologia sotterranea” è la rubrica del Geologo dove si scrive di cose strane, sottotraccia, che tuttavia hanno connessioni con il nostro mondo “materiale” e quindi forniscono il pretesto per narrare storie parallele o apparentemente divergenti, ma che mantengono in qualche modo un legame con quello che è o vorrebbe essere la nostra cultura professionale...o sub cultura che dir si voglia...! È la volta del Boss, di Bruce Springsteen e del suo intreccio con i terremoti italiani e le città in rovina...alla prossima!

A CURA DI MARCELLO BRUGIONI

Alle 3.32 del 6 aprile del 2009, al culmine di una sequenza sismica iniziata mesi prima, L'Aquila viene colpita da una scossa di magnitudo 6,3 Richter: la città è un cumulo di rovine e le perdite assommeranno, dopo giorni e giorni di instancabili scavi tra le macerie, a ben 309, con più di 1500 feriti e quasi 100.000 sfollati. A questa scossa ne seguirono molte altre, ben 150 superiori a magnitudo 3 nei trenta giorni successivi e di queste, il 7 ed il 9 aprile, ben due di magnitudo 5. L'Aquila e molti borghi circostanti sono in ginocchio: è il terremoto più devastante per una città italiana dopo quello di Messina del 1908. Come quasi sempre succede, nei giorni successivi si scatenò la corsa a cercare cause e colpevoli, e le questioni principali furono: *perché nessuno ci ha avvertito...? ...come è possibile che non si possa prevedere un terremoto...?* Tralasciando tutta la sequela di dissertazioni più o meno dotte che seguirono, andando nel concreto, ed in parte contraddicendo il pensiero di molti di noi, il risultato fu che alcuni dei componenti della Commissione Grandi Rischi dell'epoca furono rinviati a giudizio ed anche condannati per non aver, in un certo qual modo, considerato attentamente la situazione e non aver comunicato con la dovuta accuratezza la possibile (probabile...?) situazione. Per molti aspetti la sentenza, che coinvolse alcuni cari amici di cui conosco correttezza e preparazione, fu una svolta importante e segnò un confine nel nostro modo di confrontarsi con certi fenomeni che non riguardano solo i terremoti...ed è una questione che ha indirizzato molti comportamenti negli anni a seguire. Per chi volesse approfondire, nel link seguente si possono trovare diverse cose interessanti.

<https://archiviodpc.dirittopenaleuomo.org/d/2120-la-sentenza-sul-terremoto-dell-aquila-una-guida-alla-lettura>

Ma torniamo a noi: che ci incastra Bruce Springsteen, il Boss, con il terremoto de L'Aquila? Ebbene nell'estate del 2009 Bruce è in Italia in tour con la E Street Band, il 19 di luglio suona all'Olimpico a Roma (da non confondersi con San Siro come capitato di recente in una nota TV di Stato...) ed in risposta ad una lettera scritta da alcuni fan abruzzesi, dedica *“My city of ruins”* a tutte le persone colpite dal terremoto. Benché il titolo si associ perfettamente a quanto successo, il testo non parla di catastrofi naturali ma è dedicato ad *Asbury Park*, la cittadina del *New Jersey* dove Bruce suonò i primi accordi della sua straordinaria carriera. Scritta nel 2000, le sue strofe sono centrate sul declino

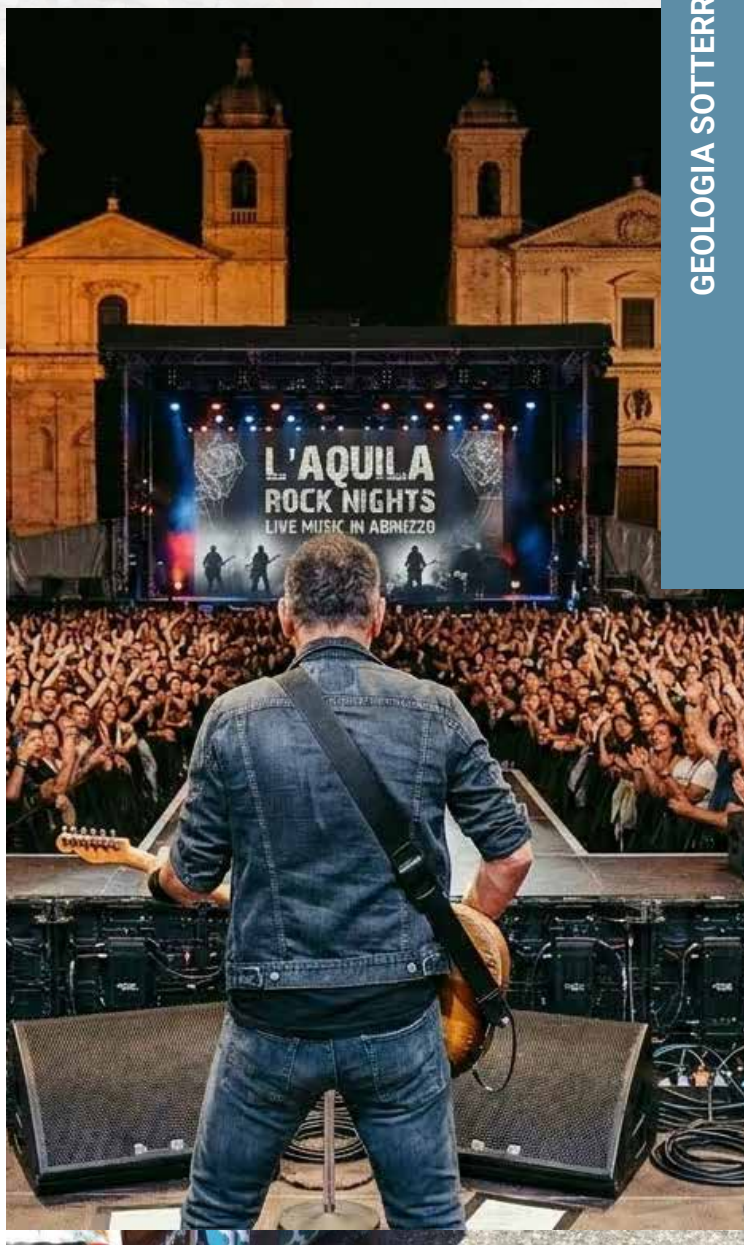
della cittadina: si parla del tramonto culturale e sociale di Asbury ed è una esortazione a risollevarsi e al riscatto, con parole venate di malinconia e amore, ma anche intrise di rabbia mal celata

“

“... there's a blood red circle on the cold dark ground and the rain is falling down... and you took my heart when you left without your sweet kiss my soul is lost...come on rise up! ...”.

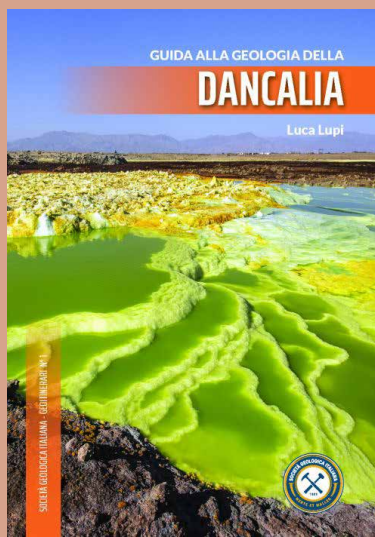
Il pezzo dopo gli attacchi alle torri dell' 11 settembre assume anche un'altra valenza, diventando il messaggio di speranza e di rinascita di una nazione tremendamente colpita dagli attentati proprio nella sua città simbolo, New York.

Il Boss è sempre stato molto sensibile ed attento ai fatti del mondo ed il suo gesto di Roma ne è una ulteriore dimostrazione. Gesto che ha voluto rinnovare nel 2016 dopo l'altro disastroso sisma che aveva colpito la nostra nazione ed in particolare Amatrice, causando più di 300 vittime: in un concerto nel New Jersey, nell'usuale momento in cui Bruce chiede ai fan di esortarlo a fare qualche pezzo, un ragazzo italiano espone un cartello chiedendogli ancora “My city of ruins” per il terremoto di Amatrice e lui non si tira indietro, cantandola sommessamente. Devo dire che la canzone non rientra tra le mie preferite, anche se ha un gran fascino ed emotivamente è estremamente coinvolgente, una *ballad* in cui il nostro è maestro. In ogni caso le parole e la musica del Boss sono una volta di più testimoni e simbolo di un mondo assai complicato e il suo pensiero, che piaccia o no, si pone in prima persona contro le angherie ed i misfatti che vi si ripetono, che siano disastri naturali come quelli de L'Aquila o Amatrice, o artificiali, come l'11 settembre o i recenti soprusi “governativi” di Minneapolis compiuti da quella patria in ogni caso amata da Springsteen e che viene considerata da molti, con qualche perplessità da parte mia, la più grande democrazia del mondo. E la musica, che sia rock o jazz o blues o quant'altro, è una volta ancora lo strumento più affilato per dare la parola a chi non ce l'ha... alla prossima!



Recensione del libro GUIDA ALLA GEOLOGIA DELLA DANCALIA

DI LUCA LUPI



A CURA DI VALENTINA GAMBICORTI

Hugo Pratt in una sua celeberrima serie di fumetti “Le Etiopiche” ambienta le storie in questa leggendaria terra arsa dal sole, seguendo le avventure di Corto Maltese e dell’amico guerriero dancalo di nome Cush verso il suo villaggio natio, Beni-Amer.

Mi accingo ad iniziare questa recensione con la stessa intensa emozione che mi travolse il giorno della partenza per la mia esplorazione della Dancalia, oramai nel gennaio 2012. Allora ero poco più che neolaureata e ad accompagnarci in quel favoloso viaggio fu Luca Lupi, autore della Guida.

Ma che cos’è la Dancalia? E dove si trova?

Dancalia deriva dall’arabo Dànkāl (Danàchil al plurale), termine con cui gli europei ai tempi delle colonizzazioni chiamavano tutte le popolazioni di etnia Afar della zona. Geologicamente la distinzione è diversa: la depressione dell’Afar è una fossa tettonica di forma triangolare delimitata a ovest dall’altopiano etiopico, a est dal Mar Rosso, a sud dall’altopiano dell’Harar. E’ abitata dall’omonima popolazione e si trova esattamente nel punto di congiunzione tra tre grandi sistemi di fratture della crosta terrestre: il Mar Rosso, il Golfo di Aden e la Great Rift Valley, nonché area di confine tra quattro stati africani (Etiopia, Eritrea, Gibuti, Somalia). Con Dancalia in particolare si intende la parte settentrionale del triangolo dell’Afar, vulcanicamente attiva,

Luca Lupi (classe 1966) pontederese, esploratore, divulgatore scientifico, ricercatore storico-geografico, è considerato il massimo esperto della regione della Dancalia, Etiopia. L’idea di fare l’esploratore lo ha affascinato fin da ragazzo e la passione per le Scienze della Terra gli ha fatto intraprendere gli studi universitari del corso di laurea di Scienze Geologiche dell’Università di Pisa, scegliendo l’indirizzo vulcanologico. Durante gli studi universitari ha fondato la Vulcano Esplorazioni e, avvalendosi della collaborazione di vulcanologi italiani e stranieri, ha studiato e organizzato numerose spedizioni scientifiche e naturalistiche sui vulcani in Italia, in Islanda, Africa Orientale, Centro e Sud America.

E’ autore di articoli legati alla geologia, alla storia delle esplorazioni e alle popolazioni africane della Dancalia; protagonista in vari documentari girati per la trasmissione GEO in RAI. Nel 2012 viene premiato con la medaglia d’argento della Società Geografica Italiana, (della quale è anche “Socio Corrispondente”) il riconoscimento più significativo per il miglior lavoro di ricerca e divulgazione scientifica. Nel 2023 è stato nominato Accademico Ordinario dell’Accademia delle Scienze di Siena e Socio ordinario della Società Toscana di Scienze Naturali. L’ultima sua spedizione scientifica in Dancalia risale al gennaio 2026 per investigare sulle dinamiche eruttive della recente ed “anomala” eruzione esplosiva del vulcano Hayli Gubbi.

Dello stesso autore si consigliano: Dancalia. Diario di una spedizione sul Vulcano Erta Ale (1997); Vulcani (1999); Dancalia, l’esplorazione dell’Afar, un’avventura italiana (2009). Per restare aggiornati: <https://www.dancalia.it/>

caratterizzata da temperature estreme e da un enorme strato di rocce evaporitiche conosciuto come la Piana del Sale.

Il nostro viaggio partì da Macallè, città sull’altopiano etiopico, e da lì, come un viaggio iniziatico nei gironi infernali di Dante, si “scende” progressivamente fino a 120 metri sotto il livello del mare. Gli spostamenti richiedono ore di viaggio in fuoristrada attraverso deserti di lava che si alternano ad aree più sabbiose. I villaggi attraversati sono per lo più agglomerati di capanne, i bambini corrono incontro chiedendo caramelle o di poter vedere le immagini sulle macchine fotografiche; gli adulti sono più diffidenti, poiché spesso la presenza di stranieri significa interessi economici nello sfruttamento delle risorse della loro terra. Quasi assente la vegetazione, pochissima l’acqua disponibile: gli abitanti sono costretti a fare chilometri sotto il sole per raggiungere il pozzo più vicino con contenitori di fortuna, o bottiglie lasciate dai turisti.

La Piana del Sale domina la depressione dancala: una distesa sconfinata di bianco abbagliante creata nel corso delle ere geologiche, quando la regione Afar è stata ripetutamente invasa dalle acque del Mar Rosso che, ritirandosi hanno lasciato uno spesso deposito di evaporiti (si stimano circa 3 km di spessore nella sua parte centrale). Imperdibile la partenza della carovana di dromedari e uomini al mattino presto, per la lavorazione e l’estrazione quotidiana dei bloc-



chi di sale, pratica sempre più in disuso con la costruzione delle strade asfaltate.

E poi si arriva a Dallol (letteralmente “Monte del Diavolo”), luogo unico al mondo per le manifestazioni geologiche: le evaporiti quaternarie arricchite da potassio, ferro, manganese, zinco, interagiscono con il sistema vulcanico sottostante, dando luogo a salamoie superficiali dai colori unici (dal giallo fosforescente, al rosso intenso, alle sfumature del blu e del verde) e dalle caratteristiche particolari, come le altissime temperature, l'elevata salinità, l'iperacidità (tanto da consumarci letteralmente la suola delle scarpe!). Il nostro gruppo riuscì anche a campionare le acque (in collaborazione con l'Università di Firenze) analizzate solo poche altre volte in assoluto. Storicamente l'area è stata sfruttata proprio dagli italiani per l'estrazione dei sali potassici, come testimonia un villaggio vicino oramai abbandonato.

Più a sud domina invece il complesso vulcanico dell'Ertale Ale (in Afar “montagna che fuma”): il centro eruttivo prin-

cipale ha laghi di lava basaltica in costante attività sin dal 1906, anno in cui Tullio Pastori ne documentò per la prima volta il fenomeno. In una delle ultime osservazioni dirette risalenti al 2025, il livello della lava era salito così tanto da lambire il bordo superiore della caldera.

Tutto questo e molto ancora ci racconta Luca Lupi nella sua “Guida alla geologia della Dancalia”, accompagnandoci nella varietà di ambienti geologici in questo luogo unico al mondo, con una scrittura chiara e semplice, impreziosita da informazioni sulla tettonica, sulle esplorazioni, sugli usi e costumi delle popolazioni locali e da bellissime fotografie tratte dai suoi numerosi viaggi. Per noi del mestiere potrebbe già bastare; tuttavia la Dancalia non è solo geologia: qui affondano le nostre stesse radici (il ritrovamento dell'ominide Lucy nel 1974 testimonia la presenza di uomini qui prima che altrove), è storia di grandi esploratori italiani e pionieri della scienza, è terra di tradizioni, di artigianato, di crocevia di popoli e usanze tramandate sin dalla notte dei tempi.



ogt
ORDINE del
GEOLOGI della
TOSCANA



ANNO XXXVI N°128 • GIUGNO 2026

Periodico d'informazione dell'Ordine dei Geologi della Toscana

DIRETTORE RESPONSABILE

Marcello Brugioni

COORDINAMENTO EDITORIALE

Alessandro Danesi

Supporto esterno al CdR: Lisa Ciardi

CONSIGLIO DELL'ORDINE

Marcello Brugioni, Gabriele Grandini, Roberta Giorgi, Mirco Bernardoni, Luca Angeli, Bruno Bagnulo, Josè Gerardo Calò, David Daini, Luca Gardone, Stefano Gentili, Vania Pellegrineschi

COMMISSIONE SCIENTIFICA

Dario Albarello, Massimo Baglione, Antonella Bucciante, Elvezio Galanti, Roberto Giannecchini, Enrico Pandeli, Claudia Principe, Veronica Tofani

COMITATO DI REDAZIONE

Marcello Brugioni, Alessandro Danesi, Luca Gardone, Valentina Gambicorti, Manuela Germani, Giancarlo Lari, Thalita Sodi

EDITORE

Ordine dei Geologi della Toscana,
Via Vittorio Fossombroni, 11 - 50136 Firenze

DIREZIONE E REDAZIONE CENTRALE

Via Vittorio Fossombroni, 11 - 50136 Firenze
Tel. 055 234 0878 - fax 055 226 9589
email: il_geologo@geologitoscana.it
www.geologitoscana.it

PUBBLICITÀ

Agicom srl
Viale Caduti in Guerra, 28 - 00060 Castelnuovo di Porto (RM)
Tel. 06 907 8285 - fax 06 907 9256
agicom@agicom.it
www.agicom.it

CREATIVITÀ E GRAFICA

Agicom Graphic Ideas

STAMPA

Spadamedia Srl

POSTE ITALIANE SPA - Spedizione in Abbonamento Postale 70% - DCB FI
Autorizzazione Tribunale di Lucca N. 531 del 17/09/90

Fatti salvo gli obblighi di legge, la redazione declina ogni responsabilità riguardo ai contenuti degli spazi pubblicitari, che non possono in alcun modo essere considerati rappresentativi, prossimi o indicativi della politica dell'ordine di cui la rivista è organo. Tutte le inserzioni pubblicitarie sono gestite dalla Agicom srl. È espressamente vietata la riproduzione di testi e foto ai sensi e per gli effetti dell'art. 65 della legge n. 633-22.4.1941.





KELLER

KELLER PRESSURE UNPLUGGED!

LEVEL & GROUNDWATER MONITORING


PRESSURESUITE
DESKTOP



KELLER PRESSURE ADT1-TUBE

- Remote data transmission unit with logger function
- Measured values: barometer, temperature and moisture sensor, real-time clock (RTC), battery capacity / voltage
- For installation in 2" tubes
- Robust stainless steel metal housing
- Long-life battery enables autonomous operation for up to 5 years
- Software PressureSuite Desktop included
- ADT1-Box available for wall installation



keller-pressure.com

