



NUMERO **115**

IL GEOLOGO

PERIODICO UFFICIALE



**ORDINE DEI GEOLOGI
DELLA TOSCANA**

Il Punto - Editoriale

Nota a cura del coordinatore di redazione

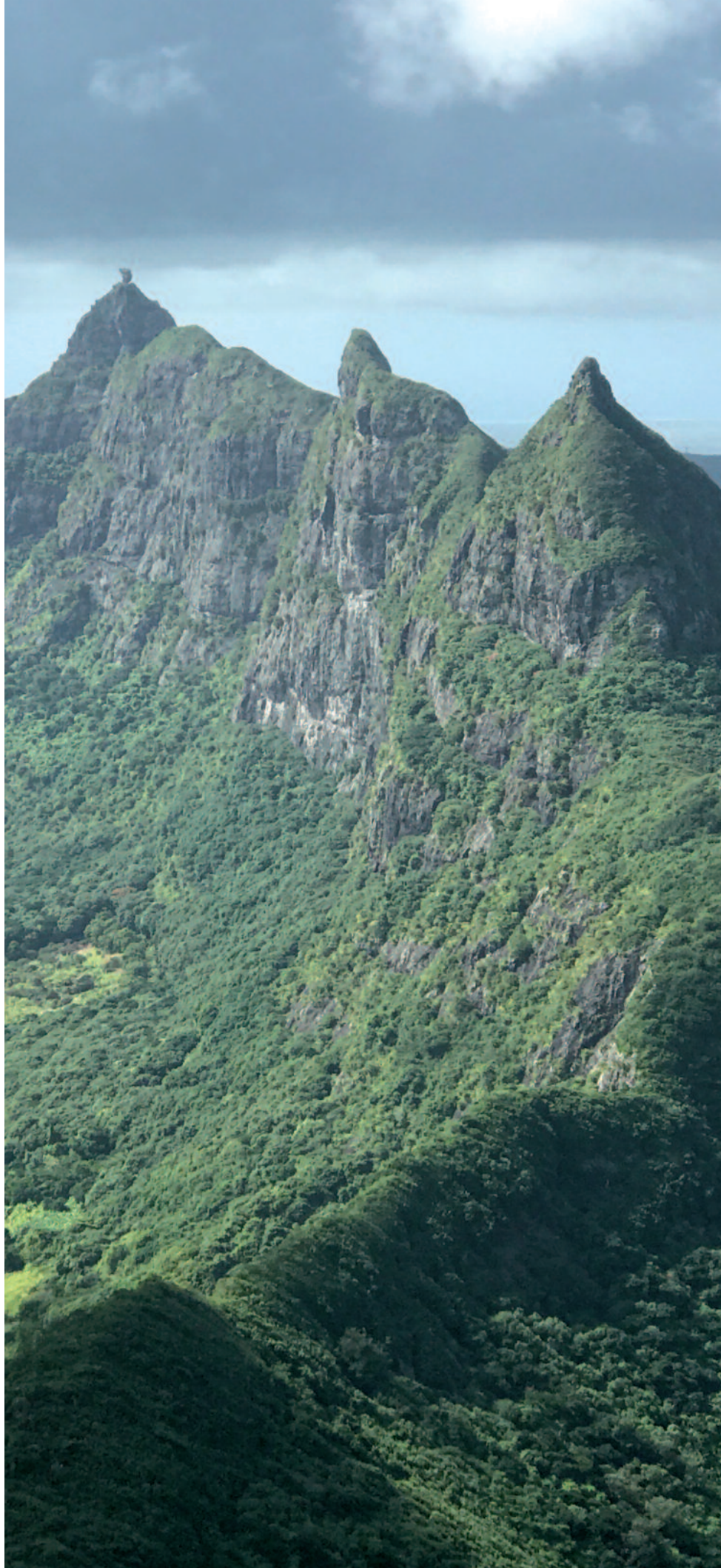
Geoturismo all'Isola di Mauritius

APPROFONDIMENTI NEL TERRITORIO

I luoghi della geologia - Il Geosito di Sassetta (LI)

Caratterizzazione petrochimica delle unità geologiche del campo geotermico di Larderello (Italia centrale): un possibile approccio per una modellazione geotermica

Normativa



Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare



Strumenti ad alta tecnologia anche a noleggio per:

Studio dei fondali e delle coste

Multibeam, SSS, SBP, sismica marina ...

Ingegneria civile

Georadar 3D, laser scanner, inclinometri ...

Monitoraggio sismico

Sismometri, strong motion, reti early warning ...

Monitoraggio ambientale

Magnetometri, elettromagnetismo,
sonde oceanografiche ...

Dissesto idrogeologico

Georadar, sismica, geoelettrica ...



CODEVINTEC

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

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



CTD Logger multiparametrico (conducibilità, temperatura, pressione)

- Precisione / scala di conducibilità del sensore:
± 1% max. / 0,2...200 mS/cm
- Precisione / sensore Pt1000 per monitorare la temperatura:
± 0,1 °C / -10...40 °C
- Precisione / campo di pressione (profondità):
± 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



Competenze e professionalità al servizio dei geologi

Attività analitiche
rifiuti

terre e rocce

fibre di amianto

(aerodisperse e manufatti)

emissioni

diffuse

analisi odorigene

Acque e percolati

piezometri

acque sotterranee

acque reflue

CONTATTI

laboratorio@aamps.livorno.it
tel. 0586/416 241 - 347 98 96 317



Azienda Ambientale di Pubblico Servizio S.p.A.

Società soggetta a direzione e coordinamento del Comune di Livorno



LABORATORIO DI ANALISI

Accreditato dal Ministero della Salute per le analisi su fibre di amianto (MOCF, FT-IR)

Isola di Mauritius
(Foto di Emilio Poggetti)

SOMMARIO



ORDINE DEI GEOLOGI
DELLA TOSCANA

ANNO XXXII • SETTEMBRE 2021 • N. 115

EDITORIALE

Il Punto 5
Riccardo Martelli

DALLA REDAZIONE 6

Nota a cura del coordinatore di redazione
Alessandro Danesi

SCIENZA E RICERCA 7

Geoturismo all'Isola di Mauritius
Dott. Geol. Emilio Poggetti

APPROFONDIMENTI NEL TERRITORIO 11

I luoghi della geologia
Il Geosito di Sassetta (LI)

Dott. Geol. Antonio Muti

SCIENZA E RICERCA 23

**Caratterizzazione petrochimica delle unità geologiche
del campo geotermico di Larderello (Italia centrale):
un possibile approccio per una modellazione geotermica**
Dott.ssa Marina Agostini

IN MEMORIA 29

Ricordo di Vincenzo Buchignani

ISCRITTI ALL'ELENCO SPECIALE 30

Segui le attività e iniziative dell'Ordine su:

Facebook: @OGTOSCANA <https://www.facebook.com/OGTOSCANA/>

Twitter: @Geologi_Toscana https://twitter.com/Geologi_Toscana

Sito: www.geologitoscana.it

**Per proporre alla redazione articoli, contenuti testuali e fotografici
si prega di inoltrare una mail a:**

il_geologo@geologitoscana.it

COMUNICATO STAMPA – II°/2021

LABORATORI GEOTECNICI AUTORIZZATI DELLA TOSCANA

Le responsabilità del laboratorio nella parametrizzazione e progettazione geotecnica

La progettazione di un'opera avviene in varie fasi che vanno dalla conoscenza del terreno fino ai calcoli strutturali. Per la parte relativa alla progettazione geotecnica possono essere individuati 3 momenti: il primo riguarda lo studio geologico e geomorfologico in base ai quali e in relazione alla tipologia dell'opera viene stabilito il programma di indagine consistente in prove in sito e di laboratorio.

In base poi ai risultati delle indagini, secondo momento, si procederà alla modellazione del terreno suddividendolo in unità entro le quali le differenze dei valori dei parametri geotecnici richiesti dal progetto sono ritenuti accettabili. Vengono quindi attribuiti ai parametri geotecnici valori caratteristici di sicurezza in relazione alla qualità e quantità dei dati disponibili.

Infine (terzo momento) sulla base dei valori dei parametri geotecnici di progetto ottenuti applicando coefficienti di sicurezza sui valori caratteristici e delle sollecitazioni trasmesse dalla struttura, si eseguono le verifiche geotecniche e strutturali.

In tutto questo processo il compito dei laboratori geotecnici è limitato ad eseguire prove di laboratorio o in sito finalizzate alla ricerca dei valori dei parametri caratteristici operando secondo un programma definito dal consulente geotecnico, senza intervenire sulla scelta e modalità di prova né tantomeno sull'elaborazione dei risultati necessari alla determinazione dei parametri richiesti per la progettazione geotecnica.

All'esecuzione delle prove seguirà l'emissione dei certificati all'interno dei quali si possono individuare due figure, il Committente ed il Responsabile Tecnico (geologo, ingegnere o architetto); il primo è la figura giuridica che commissiona le prove, il secondo, colui che stabilisce le analisi da eseguire per la parametrizzazione geotecnica. Il Responsabile Tecnico è inoltre la figura di riferimento per le eventuali problematiche che possono presentarsi nelle fasi di apertura dei campioni o nell'esecuzione delle prove stesse; ad esempio insufficienza di materiale per le analisi richieste oppure presenza di materiale diverso da quello prospettato (es. materiale incoerente anziché coesivo); evenienze che, in entrambi i casi, non consentono di procedere secondo il programma previsto e necessitano di riprogrammare quanto stabilito.

Il Responsabile Tecnico rappresenta la figura professionale con il quale il laboratorio colloquia, può partecipare ad alcune operazioni quale l'apertura dei campioni ed in particolari situazioni (esempio consulenze di tribunale) può assistere anche alla esecuzione delle prove di laboratorio.

L'interpretazione dei risultati delle prove e l'individuazione dei valori dei parametri caratteristici non rientrano nei compiti del laboratorio geotecnico; laboratorio che ha unicamente responsabilità riguardo alla corretta esecuzione delle prove secondo quanto previsto dalle procedure indicate nel certificato di prova.

Nel caso in cui la Committenza richieda di eseguire prove particolari o con procedure diverse dalle normative o se il laboratorio non fosse autorizzato per la esecuzione delle stesse, non potrà essere emesso un *Certificato Ufficiale*. In questi casi i risultati saranno presentati in un documento definito *Rapporto di prova*.

La corrispondenza tra i valori certificati e le caratteristiche del campione analizzato può essere verificata esaminando i provini sottoposti a prova che il laboratorio è tenuto a conservare per "almeno 60 giorni" oppure controllando i resti del campione non utilizzati per le prove che devono essere mantenuti in laboratorio "per almeno sei mesi". Le minute di prova sono invece conservate dal laboratorio un periodo di 10 anni unitamente alle copie del certificato e della fattura rilasciati al Committente.

Il laboratorio geotecnico fornisce risultati di tipo puntuale relativi al campione analizzato e non può avere nessuna responsabilità sulla scelta dei valori dei parametri geotecnici di progetto che devono essere ottenuti da una oculata analisi dell'insieme di informazioni provenienti da un congruo numero di prove.



Ordine dei Geologi della Toscana

Il Punto

EDITORIALE

Care colleghe e cari colleghi, terminata ormai da tempo l'ultima tornata elettorale e insediato il nuovo Consiglio, è il tempo di fare alcune considerazioni sull'esito e su ciò che è avvenuto nei mesi successivi. Il risultato della tornata elettorale del maggio scorso ha detto in modo chiaro ed inequivocabile tre cose. Ha detto che nella nostra regione l'elezione del Consiglio dell'Ordine è una cosa sentita, tanto che siamo riusciti a raggiungere il quorum richiesto già al primo turno, dal che se ne deduce che la nostra comunità è vivace e gode di ottima salute; ha detto che il voto elettronico, vera novità di queste elezioni, ha concorso nel portare al voto oltre 500 iscritte ed iscritti in appena due giorni; ha detto infine che il valore del lavoro del vecchio Consiglio è stato riconosciuto ed apprezzato.

Nel ringraziarvi per l'impegno e per la fiducia che ci avete accordato, sento e sentiamo tutta la responsabilità che deriva dal ruolo che rivestiamo e ci spingerà a portare avanti il nostro impegno con maggiore dedizione, supportati anche all'entusiasmo e l'energia di chi si affaccia a questa esperienza per la prima volta e che avrete modo di apprezzare nel tempo. Va detto che non c'è stato neppure il tempo per vivere la netta vittoria con la giusta soddisfazione, che il raggruppamento uscito sconfitto dalle elezioni ha tentato, legittimamente, di rovesciare la volontà dell'ampia maggioranza delle iscritte e degli iscritti con una serie di ricorsi a dir poco temerari per l'inconsistenza delle motivazioni e per il fatto di essere tardivi rispetto ai termini fissati dalle norme. Una maggiore attenzione e perizia da parte dei promotori dei ricorsi avrebbe evitato di far perdere tempo a tante persone nonché soldi di tutti i colleghi. Quello che conta è che l'attività ordinistica è ripresa da subito ancor più vigorosamente, partendo da un tema molto sentito come quello dei bandi di gara. Più volte in questi anni abbiamo evidenziato come il quadro normativo nazionale, di fatto, leghi le mani agli



RICCARDO MARTELLI
PRESIDENTE DELL'ORDINE
DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA

Ordini e Collegi nel contrasto alle aberrazioni del mercato libero. Più volte abbiamo sottolineato le difficoltà oggettive che riscontriamo nel contrastare bandi scritti in violazione delle norme nazionali o secondo interpretazioni molto estensive di queste ultime. Per contrastare queste difficoltà abbiamo cercato con un impegno programmatico il dialogo con la Pubblica Amministrazione, proprio per evitare di arrivare alla diffida contro la partecipazione ai bandi, che comporta il dispendio di energie da parte di tutti i soggetti coinvolti e che spesso non porta a risultati. Ci vuole tempo per mettere in atto tutti i passaggi necessari, per avviare il dialogo con la Pubblica Amministrazione e per arrivare ad ottenere una modifica dei termini di assegnazione o degli importi messi a base d'asta. Capita troppo spesso che la segnalazione da parte degli scritti arrivi a ridosso della scadenza del bando o che, nell'ambito delle interlocuzioni con la PA, si arrivi rapidamente alla data di scadenza senza che venga apportata alcuna modifica al bando, con la conseguenza che la diffida può essere pubblicata solo a pochi giorni dalla scadenza stessa. E proprio questo è accaduto per un bando che è uscito nel corso del 2021, bando che la PA non ha voluto modificare e che l'Ordine ha potuto diffidare solo a pochi giorni dalla sua scadenza. Questa particolare condizione ha posto un problema di

valutazione da parte della Commissione Disciplinare Territoriale, che nei mesi successivi alla scadenza è stata chiamata a valutare la posizione di alcuni iscritti che avevano aderito a quel bando. Questo episodio ha richiesto una profonda riflessione da parte del Consiglio dell'Ordine su tutto il meccanismo che regola l'analisi dei bandi, le attività di contrasto e le successive implicazioni disciplinari per gli iscritti. All'esito di questa riflessione è stata individuata la necessità di porre in essere un correttivo, che fa salvo il rispetto delle regole da parte di tutti, che agevola l'operatività della Commissione Disciplinare Territoriale e che nel contempo tutela le iscritte e gli iscritti al nostro Ordine.

Per questo è di prossima pubblicazione un regolamento interno che definirà le regole di segnalazione dei bandi da parte degli iscritti ed i meccanismi di analisi e verifica di questi da parte dell'Ordine. Quello dei bandi pubblici è un problema destinato a restare aperto, anche perché purtroppo non vi è convergenza di strategie con gli altri Ordini e Collegi dell'area tecnica e pertanto non è possibile mettere in atto azioni coordinate rivolte alla Pubblica Amministrazione. Da parte nostra continueremo ad impegnarci e chiedendo alle iscritte ed agli iscritti di dare il proprio contributo, partendo dal seguire regole chiare che hanno l'obiettivo di impedire che il lavoro svolto da alcuni possa rivelarsi inutile.

NOTA A CURA DEL COORDINATORE DI REDAZIONE

Care colleghe, Cari colleghi,

con soddisfazione comunico che il Consiglio dell'Ordine dei Geologi della Toscana mi ha affidato nuovamente l'incarico di Segretario di Redazione che per me è fonte di grande responsabilità.

Stiamo provvedendo al rinnovamento della commissione editoriale, ampliandola, per rendere questa nostra rivista ancora più interessante, utile per gli iscritti e con un occhio alla divulgazione.

In quest'ottica rinnovo a tutti coloro che hanno qualcosa da raccontare, descrivere e divulgare di contattarci per fare diventare "Il Geologo" una nuova prospettiva di incontro e condivisione di idee.

Mi preme fare una nota rispetto alla discussione in merito al nome della nostra rivista, che alla luce dei confronti interni e delle dinamiche culturali, rispetto ai temi delle Pari Opportunità, sembra una questione da affrontare e risolvere. E' un fatto innegabile che il nome della nostra rivista sia consolidato e quasi affettivo ma riteniamo che sia quantomeno auspicabile confrontarci su un tema così attuale e



 Ordine dei
Geologi della Toscana

ALESSANDRO DANESI
COORDINATORE
DI REDAZIONE

delicato per raggiungere una decisione collegiale e condivisa.

Passando ai temi più prettamente editoriali, in questo numero abbiamo rinnovato l'idea di un inserto con un tema di grande attualità, per il quale il Consiglio si sta confrontando con la Regione, quello dei Geositi e della loro tutela che pensiamo possa svolgere una funzione di cerniera tra la nostra professione e la cittadinanza.

Continua anche la pubblicazione delle tesi del Premio Giuntini e la rubrica sugli appunti di viaggio.

Mi auguro di riuscire in questo difficile compito di coordinamento editoriale e sono certo di poter contare nella collaborazione di tutti.

Vi auguro una Buona lettura.

News dalla Fondazione

A partire da **Gennaio 2021** si avvierà un percorso formativo in materia ambientale, complesso e molto articolato, dal titolo **"I siti contaminati: dalla caratterizzazione ambientale alla bonifica"**, che si svilupperà in sei moduli distinti ciascuno dedicato ad un argomento specifico.

Il percorso formativo vedrà il coinvolgimento come Docenti di importanti professionalità del mondo delle bonifiche provenienti sia dalla libera professione che da Istituti pubblici quali ISPRA, ARPAT ed Enti di ricerca, oltre alle Università toscane.

Le giornate di studio, che si terranno in modalità webinar, partiranno dall'inquadramento normativo in materia di siti contaminati, per poi passare alle tematiche di caratterizzazione ambientale, all'analisi di rischio sanitario-ambientale, alle tecniche di bonifica e monitoraggio ambientale, con focus di approfondimento sul tema dei valori di fondo, della geochimica isotopica e sull'utilizzo della geostatistica in campo ambientale.

Il percorso si rivolge, pertanto, a tutti i professionisti che operano in maniera trasversale nel campo ambientale dei siti contaminati e vuole dare in maniera specialistica ed approfondita gli strumenti per affrontare gli argomenti trattati.

Nel mese di Dicembre verranno aperte le iscrizioni.



DOTT. GEOL. EMILIO POGGETTI

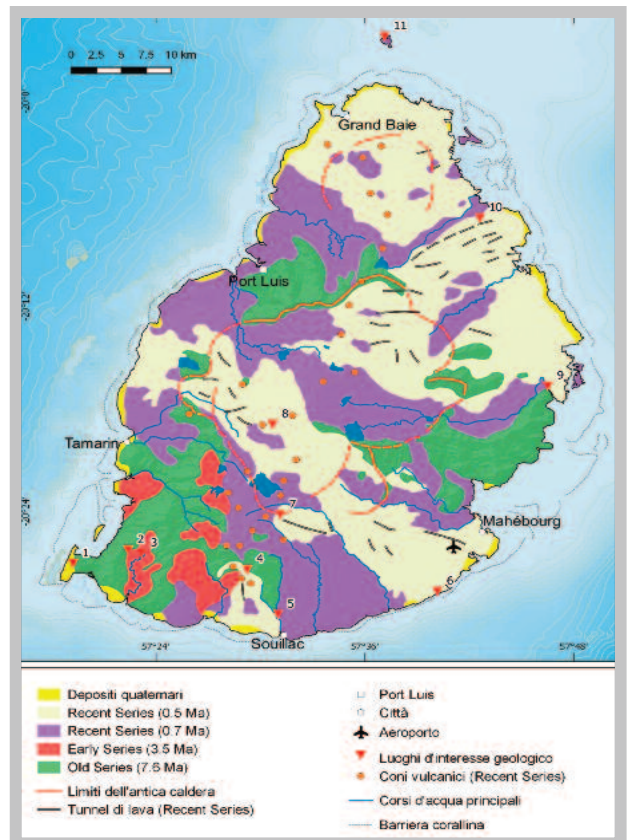
Geoturismo all'Isola di Mauritius

Se si osserva con attenzione una mappa dettagliata dell'Africa, si nota che il continente è circondato da numerose isole. Alcune sono così piccole che sono registrate solo sulle minuziose carte nautiche, altre invece sono abbastanza grandi da apparire sugli atlanti d'uso corrente. [...] se ne potrebbero citare decine, se non centinaia, dato che alcune si ramificano in arcipelaghi, mentre altre sono circondate da uno straordinario mondo di bracci corallini e di fondali sabbiosi che svelano la loro abbagliante ricchezza di forme e colori solo durante le basse maree. Queste isole e le loro propaggini sono talmente numerose da suggerire l'idea che in Africa il lavoro della creazione sia stato lasciato a metà e che il continente che oggi vediamo e tocchiamo sia solo una parte dell'Africa emersa dagli oceani, mentre il resto è rimasto sul fondo e che queste isole siano appunto le cime sporgenti dall'acqua di quell'universo sommerso.

Ryszard Kapuściński in "Ebano" (1998)

Nell'Oceano Indiano le isole del Plateau delle Mascarene rappresentano un ottimo esempio di quanto romanizzato da Kapuściński. Su qualsiasi carta geografica si può seguire il loro sviluppo da nord a sud partendo con l'arcipelago delle Isole Seychelles continuando poi, in un allineamento curvilineo, seguendo *guyot* sommersi fino a giungere prima all'Isola di Mauritius e poi all'Isola di Réunion. Da un punto di vista geologico il plateau delle Mascarene è una porzione di placca africana che a partire da 66 Ma fa ha iniziato a muoversi al di sopra di un hotspot generando numerosi *guyot* e isole di origine vulcanica. Ad oggi si ritiene che l'hotspot si trovi al di sotto dell'Isola di Réunion, dove la maggior parte della superficie è rappresentata da uno dei più attivi vulcani del mondo, il Piton de la Fournaise (2632 m s.l.m.).

La penultima isola lungo il tracciato del hotspot è l'Isola di Mauritius, situata approssimativamente a 220 km a nord-est dall'Isola di Réunion. Rispetto a quest'ultima, Mauritius non ha grandi edifici vulcanici e la vetta più alta, Piton de la Petite Rivière Noire, raggiunge appena 828 m s.l.m.. Secondo quanto proposto da Dymant et al. (2012), l'isola di Mauritius rappresenta l'estremità di un grande vulcano a scudo collassato ed oggi in gran parte sommerso. L'isola è costituita principalmente da rocce vulcaniche effusive (basalti e piroclastiti) mentre rocce sedimentarie (esclusivamente quaternarie) si trovano in alcuni depositi costieri e in depositi alluvionali (Moore et al., 2011).



Genesi dell'Isola di Mauritius

L'origine e l'evoluzione vulcanica dell'isola è il risultato finale di un'attività avvenuta in tre fasi principali.

Tra 10 e 7.8 Ma fa si generò il duomo vulcanico di Mauritius di forma circolare, con un diametro di circa 40 km e un'altezza di 300 m. Con il tempo il duomo è stato eroso e si è abbassato. Questo apparato costituì il basamento sul quale si sviluppò poi l'isola di Mauritius.

Questo periodo è rappresentato dalla Breccia Series, costituito da un'alternanza di colate laviche brecciate, ceneri vulcaniche e tufi. La serie è stata incontrata grazie a perforazioni profonde e non affiora in superficie.

A partire da 7.6 Ma un successivo fenomeno endogeno iniziò ad innalzare il grande stratovulcano fino a farlo emergere

dall'oceano dando origine ad un'isola primordiale. La Old Series testimonia questo periodo ed è rappresentata da colate di lava, con spessori da 5 a 30 m, per lo più costituite da basalti intercalati ad agglomerati vulcanici. Affiora ad est sulle Montagne Bamboo, nei rilievi principali attorno a Port Luis e nel settore sud ovest dell'Isola. Alcuni autori (Dyment et al., 2012) presumono che attorno a 5.5 Ma si sia verificato un grande evento catastrofico che generò il collasso della caldera, giustificando oggi l'aspetto asimmetrico dell'isola e riconoscono nelle principali vette i resti dell'antica caldera (figura 1 e 2).

Una fase di ringiovanimento del vulcanismo, avvenuta a partire da 3,5 milioni di anni fa, è rappresentata dalla Early Series. Agglomerati vulcanici in livelli con spessore fino a 40 m testimoniano oggi un primo periodo di attività vulcanica di tipo esplosivo, mentre successivamente si ritrova un'attività vulcanica più tranquilla contraddistinta da flussi di lava (basalti ad olivina, con spessori fino a 10 m) che si sono raffreddate in forma colonnare. Il terzo periodo di attività vulcanica di Mauritius è rappresentato dalla Recent Series (700-20 ka). Circa 700 ka fa l'attività vulcanica riprese e fluide lave alcaline fuoriuscirono da una serie di modesti vulcani allineati secondo una principale orientazione N20. Alcuni coni vulcanici sono ancora visibili e molti di loro hanno mantenuto il cratere circolare (figura 9).

Le abbondanti colate di lava eruttate da questi vulcani hanno coperto la maggior parte delle morfologie vulcaniche pregresse, occupando l'antica caldera e generando gli attuali altopiani, centrali e delle coste. Le stesse colate basaltiche molto fluide hanno generato cordoni di lava di tipo *pahoehoe* e hanno favorito la formazione di tunnel di lava (figura 11 e 12).

Principali siti di interesse geologico

Le attrazioni geologiche esistenti a Mauritius spaziano dai paesaggi montani alle coste sabbiose e rocciose includendo moltissime cascate, crateri vulcanici e grotte di lava che meritano di essere visitati o esplorati. Oggi il turismo a Mauritius è molto più redditizio dell'industria dello zucchero di canna e l'amministrazione dell'isola si muove a favore della conservazione dei siti di maggior interesse geologico. Tuttavia come espone anche Newsome (2012), alcuni dei siti naturali di



▲ **Figura 1**
Forme relitte dell'antica caldera

Mauritius potrebbero essere sviluppati come vere e proprie risorse di geoturismo. Questo andrebbe a sensibilizzare maggiormente gli abitanti dell'isola promuovendo la geoconservazione dei siti e fornirebbe un prodotto turistico mirato a coinvolgere i visitatori sugli aspetti geologici dell'isola.

In questo contributo vengono proposti solo alcuni dei tanti siti naturali che ospita Mauritius.

1 - Le Morne Brabant

20°27'15.15"S - 57°19'33.43"E - Old Series

Questa maestosa montagna basaltica, nel sud ovest dell'isola, con una vetta di 556 m s.l.m., è uno dei principali simboli di Mauritius e dal 2008 è anche patrimonio mondiale dell'UNESCO (figura 3).

Questo rilievo dall'aspetto impervio è circondato da spiagge e zone pianeggianti, il che lo rende ancora più maestoso e ben visibile anche da molto lontano. Un sentiero escursionistico (livello medio) di 3.5 km permette di giungere sulla vetta e godere di una splendida vista del sud ovest dell'isola.

2 - Chamarel terra sette colori

20°26'25.15"S - 57°22'24.56"E - Early Series

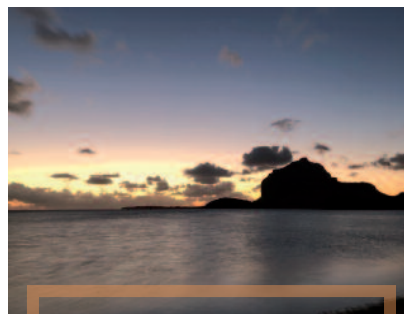
La Terra dai sette colori di Chamarel è probabilmente l'attrazione geologica più visitata di Mauritius (figura 4). Questo nome del tutto appropriato è legato alla genesi di questi suoli. L'esposizione di questo sito (di appena 7.500 m²), come conseguenza della modificazione umana del paesaggio, in questo caso la deforestazione, ha permesso di mettere in evidenza il fenomeno di alterazione dei basalti, caratteristica abbastanza comune nelle regioni tropicali con elevate precipitazioni e rocce vulcaniche. Le piogge torrenziali hanno inizialmente rimosso lo strato di suolo e



▲ **Figura 2**
Montagne Deux Mamelles

successivamente sviluppato una superficie con pendii leggermente convessi e interfluvii arrotondati, separati da solchi di ruscellamento ben definiti.

L'alterazione chimica del basalto e la successiva formazione di ossidi e idrossidi di ferro e alluminio (Sheth et al. 2010), sono la principale causa della colorazione della superficie con sfumature di rosso, viola, marrone, giallo e grigio, da cui deriva il nome. Per accedere al sito è necessario pagare l'ingresso del parco Chamarel Seven Coloured Earth. Le terre colorate sono protette da una recinzione di legno e i visitatori possono osservare lo spettacolo variopinto da diverse piazzole situate lungo il percorso di visita.



▲ **Figura 3**
Le Morne al tramonto



▲ **Figura 4**
Chamarel seven coloured heart

3 - Chamarel Waterfall

20°26'34.73"S - 57°27'28.03"E - Early Series

In prossimità della località di Chamarel, il fiume Black River Gorges circondato da una lussureggiante foresta verde genera una delle cascate più alte dell'isola con un salto di 83 metri (figura 5).

È possibile osservare la maestosa cascata, previo pagamento, da una zona superiore all'interno della riserva Chamarel Seven Coloured Earth, oppure dal basso percorrendo un sentiero che scende dalla stessa zona della riserva.

4 - Vallée des Couleurs

20°27'33.11"S - 57°29'15.95"E - Recent Series

Il sito si trova in linea d'aria a circa 1 km a sud-est del vulcano Bassin Blanc. Questo vulcano di tipo esplosivo ha emesso, per più di un centinaio di anni, cenere vulcanica di diversa composizione chimica che hanno ricoperto la superficie a sud del suo apparato.

Le ceneri trasportate dal vento, ricche di soprattutto di ferro, rame, manganese, alluminio, sodio e magnesio, con il tempo e in presenza di umidità, hanno iniziato ad ossidarsi dando origine ad un paesaggio multicolore, dal rosso scuro al marrone fino al giallo chiaro (figura 6). L'affioramento di circa 10500 m², si trova all'interno di un parco (Vallée des Couleurs Nature Park) e il suo ingresso è a pagamento.

5 - Rochester Falls

20°30'9.13"S - 57°31'1.04"E - Early Series

Si tratta di una cascata del fiume Rivière Savanne a monte della confluenza con il suo affluente Rivière Patates. Il salto, di una decina di metri, avviene nei basalti colonnari della Early Series (figura 7).

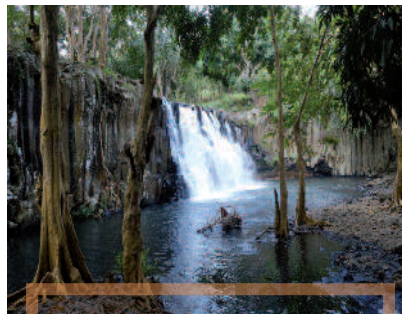


▲ Figura 5
La cascata di Chamarel

La cascata si trova a pochi chilometri dall'abitato di Surinam ed è di facile e libero accesso.



▲ Figura 6
Vallée des couleurs



▲ Figura 7
La cascata Rochester



▲ Figura 8
Il ponte naturale (Pont naturel)

6 - Pont Naturel

20°28'49.73"S - 57°40'9.78"E - Recent Series

L'arco naturale è il risultato di un lungo processo di erosione dovuto alle onde dell'Oceano Indiano che si infrangono con elevata energia contro la costa (figura 8).

Il sito si trova a sud est dell'isola, in prossimità del villaggio di Carreau Accacia. L'accesso è libero e si può raggiungere dopo una breve passeggiata dal punto in cui si può posteggiare l'auto.

Tra i coni vulcanici, della Recent Series, meglio conservati dell'isola ci sono il Trou Kanaka e il Trou aux Cerfs. Entrambi rappresentano un vero patrimonio geologico dell'isola (figura 9).

7 - Trou Kanaka

20°24'20.21"S - 57°31'6.51"E - Recent Series

Il Trou Kanaka o camino vulcanico dell'Escalier, ha una profondità di circa 10 metri e un diametro di 230 m (figura 9 A).

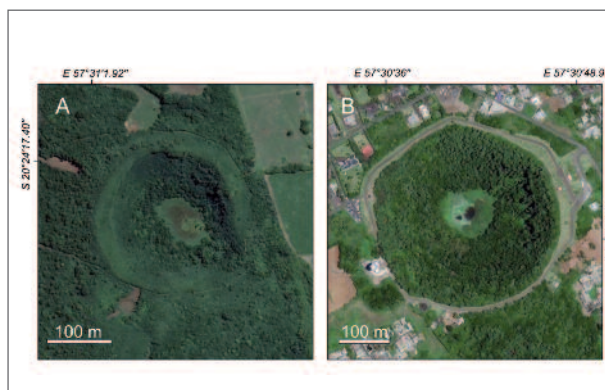
Per raggiungere il sito è necessario percorrere un sentiero turistico (livello facile) attraverso piantagioni di thè e piante di bamboo.

8 - Trou aux Cerfs

20°19'4.70"S - 57°30'41.52"E - Recent Series

Il Trou aux Cerfs è mascherato da una fitta vegetazione e la sua caldera ospita uno specchio d'acqua circolare. Ha una profondità di 80 m ed un diametro di 350 m (figura 9 B).

Il sito si trova nella città di Curepipe. L'accesso è comodissimo, la strada si sviluppa attorno alla sommità del cono, come lo stesso percorso pedonale e i vari servizi.



▼ Figura 9
Coni vulcanici:
A - Trou Kanaka,
B - Trou aux Cerfs

9 - GRSE fall

20°16'49.52"S - 57°46'28.65"E - Recent Series

A poche centinaia di metri dalla sua foce, il Grand River South East da origine ad una serie di cascate in un letto basaltico (figura 10). L'accesso al sito è libero se vi si può arrivare sia dalla strada che costeggia il fiume, scendendo per un breve sentiero all'interno della foresta dove è possibile incontrare anche i macachi di Giava o in alternativa con un'imbarcazione che risale il fiume dalla sua foce.



▲ **Figura 10**
Cascata del Grand River South East (GRSE)



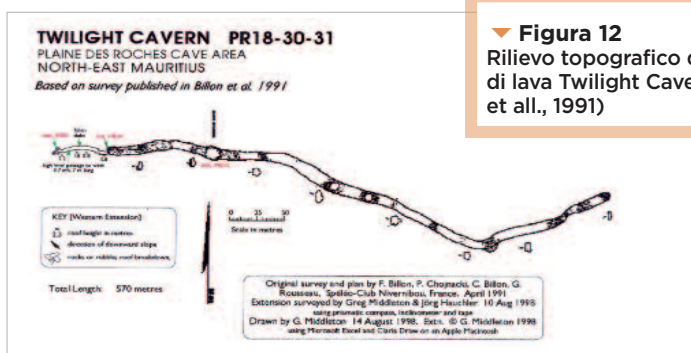
▲ **Figura 11**
Ingresso di un tunnel di lava a Plaine des Roches)

10 - Plaine des Roches

20° 6'59.39"S - 57°42'35.63"E - Recent Series

Il tunnel di lava si sono prodotti da colate laviche che si sono raffreddate e solidificate nella superficie esterna, mentre la lava, al loro interno, continuava a scorrere fino a lasciare il condotto completamente vuoto. Middleton (1998), ha segnalato a Mauritius, un totale di 114 tunnel di lava per una lunghezza totale di 12810 m. Uno dei siti principali dell'isola di Mauritius, facile da raggiungere e di libero accesso è Plaine de Roches nel nord est dell'isola, nei pressi del villaggio di Roches Noires (figura 11). Si tratta di un'area con superficie da pianeggiante a ondulata, generata probabilmente dalle colate laviche più recenti dell'isola, derivate dal sistema vulcanico Bar le Duc-L'escalier e in parte dal vulcano Mont Pilon (Saddul, 1995).

Nel Plaine de Roches sono stati censiti 46 ingressi appartenenti a 22 grotte, per una estensione complessiva di 3520 m. Il più grande di questi tunnel raggiunge 520 m con sezioni da 10 a 15 m e altezze in media di circa 10 m (Billon et al. 1991; figura 12). Degli altri tunnel di lava presenti nell'area solo nove superano i 100 m di lunghezza. Nel 1998 venne proposta la creazione del Parco nazionale Plaine des Roches Lava Caves, ma purtroppo il progetto non è mai stato sviluppato. Oggi è possibile entrare nei tunnel di lava ed



▼ **Figura 12**
Rilievo topografico del tunnel di lava Twilight Cavern (Billon et al., 1991)

esplorarli sotto la propria responsabilità. Di fatti il sito non è controllato e non vi è illuminazione artificiale negli ambienti ipogei.

11 - Coin de Mire

19°56'28.90"S - 57°37'12.82"E - Recent Series

Il Coin de Mire (o Gunner's Quoin) è un isolotto basaltico di circa 1,4 km² situato a 4 km della costa settentrionale di Mauritius. Ad eccezione dei due promontori, gran parte dell'isolotto è delimitato da scogliere ripide o quasi verticali, le più grandi sono le scogliere a picco di circa 150 m sul lato occidentale. Si tratta di cono vulcanico, probabilmente di natura freatomagmatica, risalente a 25.000-700.000 anni (Hills et al., 2004). L'eruzione di tipo surtseiana, che lo ha

generato, sembra essere testimoniata da una stratificazione ben sviluppata di cenere solidificata (tufo) visibile nelle pareti che formano le scogliere. In alcune aree, frammenti di corallo fossilizzato sono incorporati nel basalto, suggerendo la presenza di barriere coralline nell'area nel periodo dell'attività vulcanica.

I rilievi

Per gli amanti del trekking sono consigliati i percorsi sulle principali vette dell'isola. Il sito web Fitsy propone decine di sentieri e consente di scaricare i tracciati gps. Consigliati sono i percorsi a Lion Mountain nella parte orientale dell'isola, Le Pouce vicino a Port Luis, oppure il Piton de la petite Riviere Noire la vetta più alta dell'isola da dove poter ammirare anche Le Morne.

BIBLIOGRAFIA

BILLON F., CHOJNACKI P., BILLON C. & ROUSSEAU G. (1991) - Explorations Souterraines à l'île Maurice: Compte rendu expédition. Avril 1991. Spéléo-Club Nivernibou: Decize (France) 46pp.
 DYMENT J., BISSESSUR D., DEPLUS C., HÉMOND C., JANIN M. & DE VOOGD B. (2012) - A large, catastrophic flank collapse in Mauritius - 3.5 Millions Years ago? - International Conference on Ridges and Hotspots around the Mascarene Islands, 3-7 September 2012, Mauritius
 HILLS J., VINCENT FLORENS F.B., SOTHERAN I. (2004) - Management Plan for Gunner's Quoin. Development of a Management Plan for the Conservation and Management of Offshore Islets for the Republic of Mauritius. Technical report, April 2004. DOI: 10.13140/2.1.3528.0964
 MCDUGALL, L. & CHAMALAUN, F. G. (1969) - Isotopic dating and geomagnetic polarity studies on volcanic rocks from Mauritius, Indian Ocean.- Geol. Soc. America Bull. 80, 1419-1442
 MIDDLETON G.J. (1998) - Conserving the lava caves of Mauritius: the caves of Mauritius Project 1998. IXth International Symposium on Vulcanospeleology, pp. 200-207
 MOORE J., WHITE W.M., PAUL D., DUNCAN R.A., ABOUCHAMI W. and GALER

S.J.C. (2011) - Evolution of shield-building and rejuvenescent volcanism of Mauritius. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 207, 47-66.
 NEWSOME D. (2012) - Potential Geotourism and the Prospect of Raising Awareness About Geoheritage and Environment on Mauritius. Geoheritage, dicembre 2012. DOI: 10.1007/s12371-012-0070-4
 SADDUL P. (1995) - Mauritius: a geomorphological analysis. Mahatma Gandhi Institute: Moka 340p.
 SHETH H.C., JOHNSON C.P., OLLIER C.D. (2010) - The seven coloured earth of Chamarel. - Journal of african earth sciences n. 57: pp. 169-173
 SMITH M.A.K., HILLS J., FLORENS F.B.V., SOTHERAN I. (2004). Management Plan for Gunner's Quoin. Development of a Management Plan for the Conservation and Management of Offshore Islets for the Republic of Mauritius. DOI:10.13140/2.1.3528.0964

SITI

Percorsi trekking: <https://fitsy.com/mauritius/hiking-routes>
 Vallee Des Couleurs Nature Park: <https://lvdc.mu/>
 Chamarel 7 Coloured Earth: <https://www.chamarel7colouredearth.com/>

I LUOGHI DELLA GEOLOGIA Il Geosito di Sassetta (LI)

INTRODUZIONE	II
SASSETTA GEOSITO STORICO	III
GEOLOGIA LOCALE	V
RICHIAMI STORICI	V
LE CONOSCENZE GEOLOGICHE E PALEONTOLOGICHE ATTUALI	VII
IL PERCORSO DELLA GEOLOGIA URBANA DI SASSETTA	VIII
GEOTOPI DI INTERESSE IDROGEOLOGICO	X
IDEE PER LA COSTITUZIONE DI UN PERCORSO GEOLOGICO	XI
CONCLUSIONI	XII

LINK
alla pubblica-
zione:
<https://www.geologitoscana.it/rivista-il-geologo/>

Dott. Geol.
Antonio Muti

Curato in
collaborazione
con Alessandro
Danesi

Ringraziamenti

Si ringraziano i geologi Luca Tinagli e Sergio Mancini; i sig.^{ri} Paolo Lorenzelli e Gianni Della Valle, l'Amministrazione Comunale di Sassetta e l'Istituto IIS A.Volta di Pavia. Un ricordo va all'amico, Geologo, ricercatore e professore Giovanni Massa, che con noi ha da sempre condiviso la passione ed il lavoro per la valorizzazione dei geositi.



INTRODUZIONE

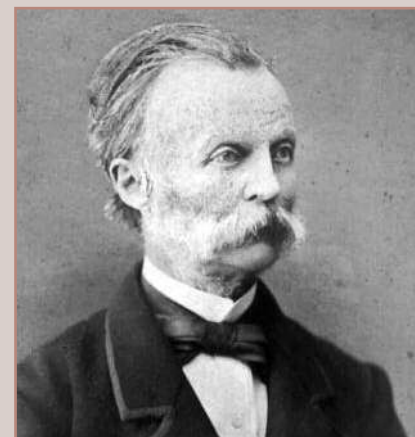
In Italia si sta affermando, seppur lentamente, il concetto di 'Salvaguardia del Patrimonio della Terra' (Heart-Heritage) costituito dall'insieme delle risorse geologiche di tipo culturale e da quelle di tipo economico industriale: l'ambiente ha quindi acquisito un valore etico oltre che economico e ogni uomo, anche in futuro, ha il diritto di poterne usufruire (Pellegrino P.L., 1998). Per questo motivo diventa di fondamentale importanza la professionalità dell'esperto in scienze della terra poiché "la vera funzione del geologo, in un Paese moderno, dovrebbe essere quella primaria e insostituibile della previsione, prevenzione e della programmazione territoriale; ruolo fondamentale per semplificare il rapporto uomo-natura e per la tutela dell'uomo in armonia con le risorse naturali, nell'ottica di uno sviluppo sostenibile" (Alfieri-Zarotti 1997, Roma). Le aree o località della Toscana

meridionale (Fig. 1) di rilevante interesse geologico, studiate fin dall'Ottocento dalla scuola Pisana di geologia, di cui Sassetta, rappresentano singolarmente dei Geotopi dove si riuniscono aspetti di geologia, morfologia, mineralogia e idrogeologia con il termine più ampio di Geosito. I geotopi sono parti del paesaggio contenenti un patrimonio geologico, paleontologico, mineralogico e geomorfologico prezioso. Il Patrimonio geologico studiato già nel passato e che costituisce base scientifica della cultura geologica rappresenta una preziosa eredità, ma anche come fonte di interesse didattico, educativo e turistico, che può avere anche ripercussioni economiche e occupazionali. Il Parco arceo-minerario di San Silvestro a Campiglia Marittima, posto a pochi chilometri di distanza, è un Geosito di interesse geologico minerario, geomorfologico e storico che ha permesso l'occupazione, la salvaguardia ed una notevole fruizione turistica e didattica. La presenza di un Geosito all'interno di un territorio dovrebbe essere tutelata da leggi e regolamenti della pianificazione regionale, provinciale e comunale. In questo contesto il Geologo può rappresentare un elemento centrale nella redazione di itinerari trekking e di schedature dei geotopi utili nella pianificazione territoriale e per la promozione culturale e scientifica.

Lo studio e l'evoluzione delle scienze della Terra si è sviluppato grazie al lavoro di grandi scienziati dell'Ottocento come la "scuola pisana in geologia" che nel 1850 con Paolo Savi, Leopoldo Pilla, Giuseppe Meneghini e Mario Canavari, studiò la paleontologia e la geologia delle aree del campigliese e i monti della Gherardesca, in particolare di Sassetta e monte Calvi. Gli anni 50 del diciannovesimo secolo furono un decennio d'oro per la scienza geologica pisana unita intorno alla figura di Giuseppe Meneghini (Fig. 2), proveniente dall'università di Padova (Corsi

meridionale (Fig. 1) di rilevante interesse geologico, studiate fin dall'Ottocento dalla scuola Pisana di geologia, di cui Sassetta, rappresentano singolarmente dei Geotopi dove si riuniscono aspetti di geologia, morfologia, mineralogia e idrogeologia con il termine più ampio di Geosito. I geotopi sono parti del paesaggio contenenti un patrimonio geologico, paleontologico, mineralogico e geomorfologico prezioso. Il Patrimonio geologico studiato già nel passato e che costituisce base scientifica della cultura geologica rappresenta una preziosa eredità, ma anche come fonte di interesse didattico, educativo e turistico, che può avere anche ripercussioni economiche e occupazionali. Il Parco arceo-minerario di San Silvestro a Campiglia Marittima, posto a pochi chilometri di distanza, è un Geosito di interesse geologico minerario, geomorfologico e storico che ha permesso l'occupazione, la salvaguardia ed una notevole fruizione turistica e didattica. La presenza di un Geosito all'interno di un territorio dovrebbe essere tutelata da leggi e regolamenti della pianificazione regionale, provinciale e comunale. In questo contesto il Geologo può rappresentare un elemento centrale nella redazione di itinerari trekking e di schedature dei geotopi utili nella pianificazione territoriale e per la promozione culturale e scientifica.

▼ Figura 2: ritratto del Prof. Meneghini



▼ Figura 1: Inquadramento geografico



APPROFONDIMENTI NEL TERRITORIO



P., 2002 ed. Giardini Pisa) che fu più volte Rettore Magnifico dell'università di Pisa, membro del consiglio superiore della pubblica istruzione, autore di numerose pubblicazioni e monografie. Dal 1847 Meneghini si occupò di geologia dettando le basi della paleontologia. Sono più di 80 le accademie, gli istituti, le società, e i sodalizi scientifici nazionale ed internazionali di cui fu membro ordinario, onorario o corrispondente, Grand'ufficiale della Corona d'Italia, Consigliere dell'ordine del Merito Civile di Savoia, Consigliere del Regio ordine di Prussia per scienze ed arti.

Al fine di tutelare territori con valore geologico elevato, la normativa europea definisce il concetto di *GEOPARCO* come un territorio costituito da un certo numero di siti geologici di particolare importanza in termini di qualità scientifica, rarità estetica, storia e valore educativo.

Questi elementi distintivi, che si ritrovano nel territorio di Sassetta, potrebbero ben integrarsi tra i beni culturali di un geoparco: biodiversità, la geomorfologia, il paesaggio naturale, il paesaggio ipogeo, le sorgenti, la storia della comunità e segni di archeologia medioevale; la geologia; la paleontologia, la mineralogia e le Opere di rilievo per importanza storica artistica ed architettonica.

SASSETTA GEOSITO STORICO

Inserire nelle mete turistiche ambientali i geotopi di interesse scientifico che hanno permesso di tracciare un percorso dell'evoluzione delle scuole di pensiero geologico rappresentando tappe importanti per le applicazioni nelle ricerche mineralogiche e geotermiche.

La comprensione della Terra può essere quindi un valido motivo per intraprendere un affascinante viaggio (Garofalo M. 2012) ed il geoturismo, come scoperta e conoscenza delle bellezze, visitate direttamente dove esse si trovano, ne rappresenta davvero un nuovo modo di osservare il paesaggio. In questi contesti il paesaggio assume un ulteriore valore di tipo turistico scientifico, didattico, naturalistico e storico e le emergenze geologiche divengono una struttura scientifico-museale all'aperto. Sassetta rappresenta per i geologi un geosito di particolare interesse dove un lembo dei terreni della Successione toscana si trova raccolta e circoscritta in un raggio di 2 Km (Fig. 3). La geologia si apre lungo le strade del borgo e pic-

coli lembi delle formazioni degli eventi geologici del Giurassico e Cretaceo si trovano compenetrati negli edifici storici, nelle mura medioevali, nel castello e nelle case Torri, edificate con i materiali a faccia vista. Le cave del passato mostrano ampi squarci nelle formazioni dei Calcari Selciferi, Calcari Rossi Ammonitici fino al Calcare Massiccio, i Diaspri chiari rosati, le Marne a libro, le Arenarie grigie con le numerose sorgenti, mentre la Scaglia toscana con il suo intenso colore rosso drappeggia i pendii circostanti il borgo.

▼ **Figura 3: Carta geologica di Sassetta**

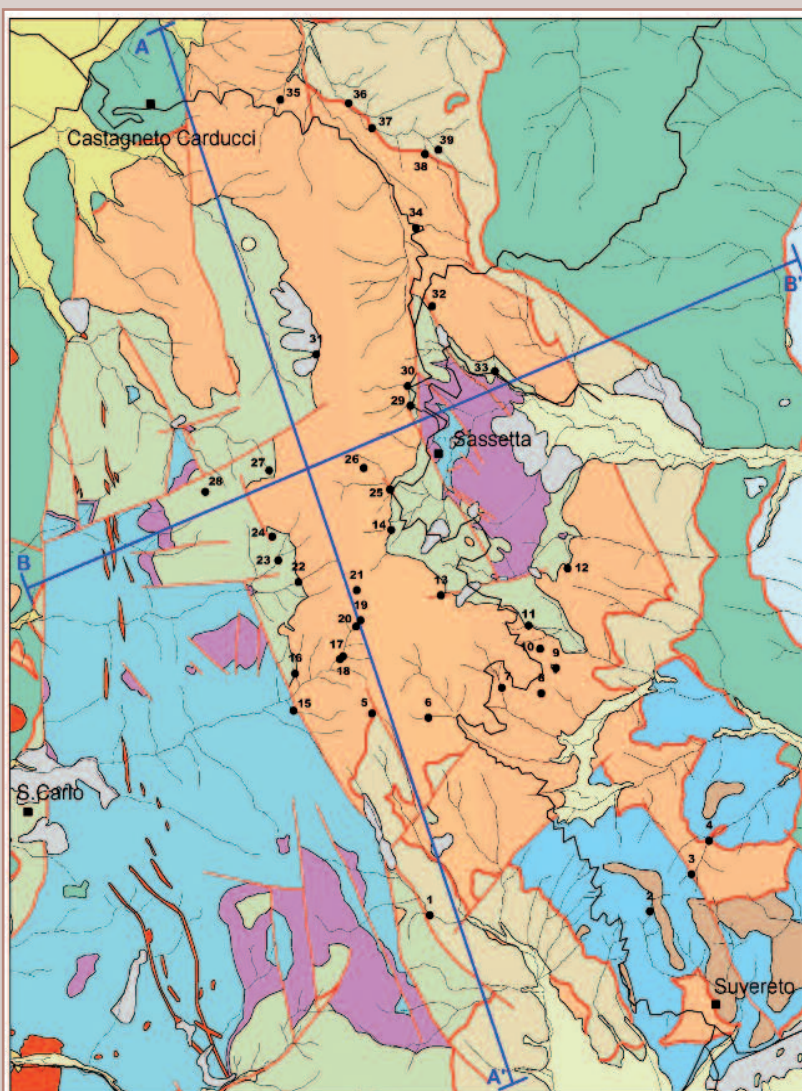


Fig.4 Carta geologica 1:50.000 con l'ubicazione delle sorgenti

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]

OLOCENE - 1: coperture detritiche 2: alluvioni. **FACIES TOSCANA** - 3: successione carbonatica di piattaforma (Trias sup.-Giurassico inf.); 4: successione carbonatica e silicea del Giurassico inf.-Cretaceo inf. 5: "Scaglia toscana" (Cretaceo Eocene) 6: flysch arenaceo "Macigno". **FACIES AUSTRALPINA** - 7: Unità Esterna (Eocene) 8: Unità Interna (Cretaceo sup.) 9: flysch calcareo-mamoso (Paleocene-Eocene). **FACIES LIGURE** - 10: argille con calcari "palombini" (Cretaceo inf.) 11: Flysch calcareo-mamoso di Monteverdi M.mo (Cretaceo sup. - Paleocene). **"NEOAUOCTONO"** - 12: complesso magmatico neogenico 13: depositi quaternari. 14. faglia 15. sovrascorrimenti principali 16: sorgenti 17: tracce delle sezioni geologiche

Sassetta è inoltre contornata da grotte carsiche, (Fig. 4) da antiche coltivazioni minerarie, da sorgenti con acque incontaminate e da un termalismo significativo ben descritto da uno studio eseguito dal sottoscritto e dal prof. A. Sbrana dell'università di Pisa (Muti A. Sbrana A. - Le risorse termali in val di Cornia Cigri 1994).

▼ **Figura 4:** Carsismo a Sassetta



Questa risorsa profonda con acqua termale a circa 50°C ha permesso una attività turistico terapeutica termale con ampie possibilità di sviluppo.

Il primo percorso di Geologia Urbana svolto in occasione della Giornata nazionale della Terra all'interno delle Feste d'Ottobre della comunità di Sassetta (Lorenzini S., Muti

A. -Brochure percorso geologia urbana 18 ottobre 2015) ha valorizzato la buona esposizione delle formazioni geologiche che vanno dal Lias all'Oligocene (200-36 MA) con facilità di accesso, rappresentato da viabilità principali e alcuni tagli freschi, piazzali di cave dismesse, facendo di Sassetta un sito di grande interesse per la realizzazione di sentieri geologici didattici e per la conoscenza e valorizzazione del patrimonio geologico, paleontologico ed idrogeologico della Toscana. Anche in ottemperanza alla L.R. n°56/2000 per la corretta gestione dei Geositi; la legge n°1497 del 1939 che cita: "...le cose immobili che hanno cospicui caratteri di bellezza naturale o di singolarità geologica" ed il censimento nazionale dei Geositi del 2008 da parte di ISPRA, Sassetta va annoverata fra i geositi più interessanti della Toscana.

La facilità di osservazione e la sicurezza del geosito ha permesso di coinvolgere le scuole primarie (Fig. 5) del comprensorio e secondarie di altre regioni nella fruizione geoturistica del comune di Sassetta.

Gli affioramenti geologici della "SERIE TOSCANA" i geotopi, il carsismo con grotte ipogee sono frequentati dalle università toscane ed europee e gruppi di speleologici toscani.

La storia medioevale e medicea del Borgo, posto alle pendici dei monti della Gherardesca con la cima occidentale detta pian dei Brizzi, il rilievo morfologico del centro del paese (326 m slm) delimitato dalla valle del poggio e dalla valle di Venanta, rendono Sassetta, con le mura del suo castello medioevale sullo sperone di roccia calcarea del Lias, (Fig. 6) inaccessibile, un vero nido di uccelli rapaci, abitato da uomini usi alla lotta e resi più rudi dall'asprezza del luogo, dalle folte foreste circostanti e dalla sicurezza del loro castello (Lombardi E., 1971).

La morfologia del paesaggio diversificato dalla presenza di rocce calcaree e che hanno permesso



▼ **Figura 5:** Fase didattica misura di strato con gli studenti



▼ **Figura 6:** Panoramica del borgo di Sassetta da monte Bufalaio



l'edificazione del castello e del suo antico borgo difficilmente accessibile nel passato e che ancora oggi presenta caratteristiche uniche di urbanizzazione limitata e dalla profonda incisione verso la valle del Lodano e la val di Cornia (Fig. 7). Il territorio è esposto alle correnti occidentali provenienti dal mar Tirreno. I dati della stazione meteorologica di Sassetta classificano un clima

▼ **Figura 7:** Calcarea Massiccio sotto il Borgo di Sassetta



umido con moderata deficienza estiva. E' posto all'interno del complesso geologico omogeneo (Fig. 8) dei monti della Gherardesca con ai vertici: a Nord dal borgo di Castagneto Carducci, a Sud da Campiglia; ad Ovest da San Vincenzo. Una vegetazione ricca di macchia mediterranea e castagni che seguono una biodiversità importante e produttiva con legname che ha costituito per gli abitanti una delle principali risorse. Il borgo antico ha una forma a ventaglio caratteristica, dovuta allo sviluppo sugli affioramenti dei calcari.

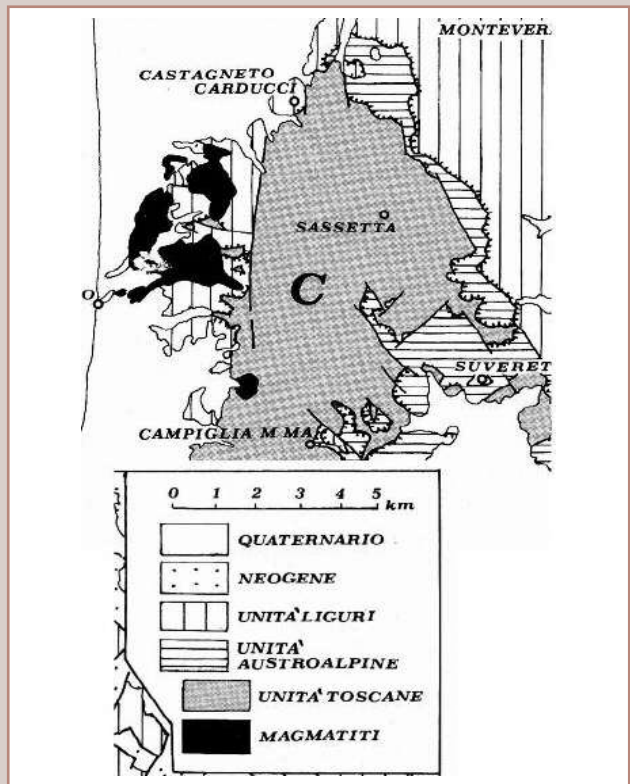


GEOLOGIA LOCALE RICHIAMI STORICI

Nel 1851 Savi e Meneghini pubblicano: Osservazioni stratigrafiche e paleontologiche concernenti la Geologia della Toscana. Il quadro geologico incomincia a delinearsi e l'età delle formazioni si completano con una certa esattezza dal basso verso l'alto:

Anageniti 2) calcarea grigio cupo senza selce 3) calcarea salino 4) calcari ammonitici 5) scisti 6) calcari grigio cupo, spesso con selce piromaca 7) scisti galestrini calcarea screziato nummulitico 8) scisti galestrini superiori 9) arenarie macigno e calcarea alberese. (Savi P. Meneghini G., 1851 Firenze).

▼ **Figura 8:** Contesto tettonico



APPROFONDIMENTI NEL TERRITORIO

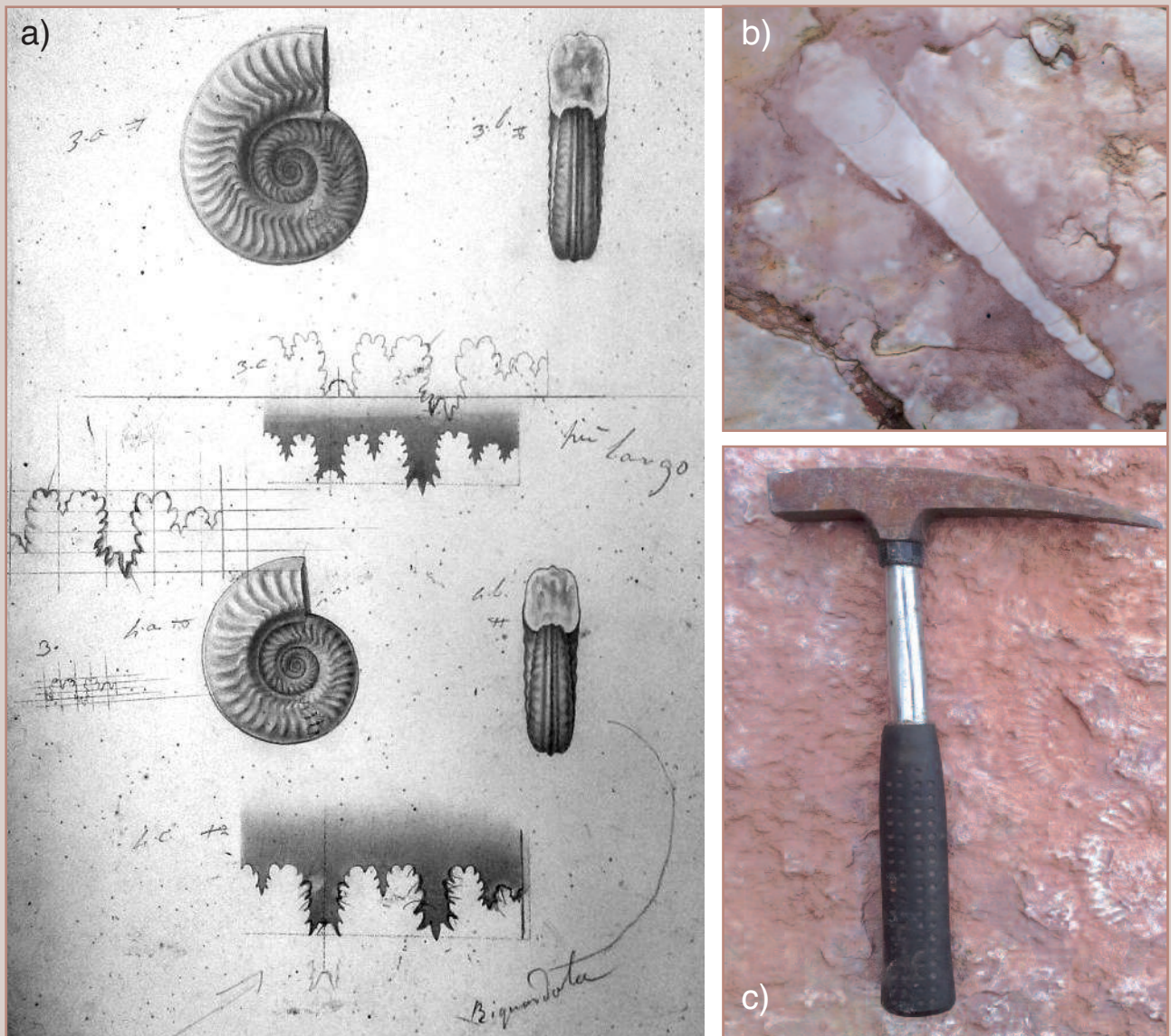
Sassetta, Monte Calvi e Gerfalco assumono importanza per la presenza della formazione di "Calcari del rosso Ammonitico". Siamo a Sassetta nello strato fossilifero della formazione del Rosso Ammonitico" nei calcari rossi nodulari stratificati. Qui si rinvenivano interessanti fossili di Ammoniti e Belemniti. Lo strato più produttivo che fornì a Giuseppe Meneghini, direttore dell'istituto di Geologia e Mineralogia dell'università di Pisa nel 1853, circa 250 esemplari di ammoniti.

Lo strato fu scoperto da Tito Nardi di Campiglia M. Prima non furono riportate in nessuna comunicazione paleontologiche e solo grazie al Nardi, che Giuseppe Meneghini nella pubblicazione "Nuovi fossili della Toscana" aprile

1853 dedicò un periodo a Tito Nardi: "...andiamo debitori di questi nuovi e preziosi materiali alle attitudini e diligentissime ricerche che Tito Nardi si è già acquistato per le esatte cognizioni topografiche e per la naturale attitudine all'osservazione e per la rara abilità nelle ricerche di fossili e nel tagliare le rocce in saggi regolari ed istruttivi, si è già acquistato una ben meritata celebrità presso i naturalisti collettori, non solamente toscani, ma anche stranieri". Il Meneghini riesce a catalogare e classificare gli ammoniti grazie al Nardi con eccezionali ricostruzioni grafiche morfologiche (Fig. 9).

Così Enzo Giannini descriveva questo territorio nel 1955: "...si tratta di colline di modesta elevazione che culmi-

▼ **Figura 9:** a) Classificazione ammoniti da disegno di G. Meneghini; b) Impronta di Belemnite a Sassetta; c) Due ammoniti che formano un otto



nano con monte Calvi (m 646 s.l.m.) rivestite da una foltissima macchia mediterranea. A monte Calvi e Sassetta vi sono stati censiti livelli molto ricchi di ammoniti anche di grandi dimensioni. Questi fossili furono studiati da Meneghini, che vi riconobbe molte forme LYTHOCERAS FIMBRIATUS ed AMALTHEUS MARGARITATUS specie del Lias medio; ma sono pure frequenti Arietites del Lias inferiore. L'insieme di queste forme ha fatto attribuire ai "Calcari Rossi" un'età compresa fra la parte superiore del Lias inferiore e la parte inferiore del Lias Medio.

Le prime carte geologiche del territorio risalgono a Tito Nardi nel 1853 per poi arrivare alla carta alla scala 1:100000 foglio 119 di Bernardino Lotti, rilevata tra il 1885 e il 1887, ma la carta geologica e i rilievi più originali furono eseguiti da Enzo Giannini dell'Istituto di Geologia e Mineralogia dell'università di Pisa, rilevata nel 1955, che è stata la base anche delle cartografie geologiche della Provincia di Livorno (Mazzanti R., 1993) e della Regione Toscana (Carmignani L., 2007).

LE CONOSCENZE GEOLOGICHE E PALEONTOLOGICHE ATTUALI

Il nucleo di Sassetta rappresenta la culminazione principale dell'area ad Oriente della struttura dei monti di Campiglia. La sua struttura è nell'insieme una periclinale con faglie che modificano profondamente questo motivo. La principale di esse con andamento appenninico spezza in due la cupola abbassando il fianco occidentale salvo l'ultimo tratto a Sud, dove questo fianco appare invece rialzato. Nel culmine della piega ad Oriente della faglia affiorano "i Calcari Massicci Hettangiani" che vengono in contatto con i Diaspri (Radiolariti) e con gli Scisti Policromi (Scaglia toscana) del lembo occidentale. In fondo al torrente dei Molini a sud di Sassetta, si vede in più punti lo specchio di questa faglia che s'immerge a Sud-Ovest con inclinazione di 45° ed oltre 50°.

A Nord del paese di Sassetta, la faglia si biforca in due rami, uno continua in direzione appenninica determinando il confine tra Scaglia e Macigno ad Est di località La Fattoria per poi perdersi dentro la formazione del Macigno; l'altra che è diretta approssimativamente verso Nord e che taglia più volte la strada carrozzabile di Sassetta-Castagneto mette in contatto successivamente la Scaglia ad Ovest, con i Calcari Selciferi ad Est, poi la Scaglia: a Nord del bivio stradale di Bocca di Valle s'incontra col contatto normale Scaglia-Macigno del lato Est del nucleo e non più visibile....

Lungo queste faglie, nelle formazioni calcaree si rinvengono alcune grotte di cui alcune di particolare valore morfologico (Tinagli L., 2013) come quelle denominate delle PIPE, BUFALAIU e MOLINI.

Lungo le due faglie principali si ritrovano mineralizzazioni di particolare valore collezionistico (Tinagli L., 2021).

In questo piccolo territorio si riassumono alcuni elementi di un'area dove il Dominio paleogeografico è rappresentato dalla Serie toscana (Costantini A., 1995) e include le seguenti formazioni non metamorfiche:

- Depositi di piattaforma carbonatica (*Calcare Massiccio, Lias*).
- Successione marino carbonatica e silicoclastica (*Lias-Cretaceo inf.*): Calcari nodulari rossi; Calcari Selciferi; marne, diaspri e calcari pelagici (*Maiolica*).
- Depositi pelagici silico-clastici (Scaglia toscana-Cretaceo-Eocene) Flysch arenaceo (Macigno Oligocene sup-Miocene inf.)

I terreni appartengono al Giurese circa 220 MA e 136 MA con il proseguire dei fenomeni di divergenza nel mantello e di distensione nella crosta, aumenta notevolmente la subsidenza e la profondità del fondo marino. Si depositano prima i sedimenti di piattaforma carbonatica Calcare Massiccio e successivamente depositi di mare sempre più profondo fenomeno di "afogamento" del bacino di sedimentazione quali il "Rosso Ammonitico", le Marne a Posidonomya, i Calcari Selciferi, nei quali appunto la comparsa dei noduli e liste di selce indica che oramai l'ambiente di sedimentazione aveva raggiunto la profondità intorno al limite di compensazione dei carbonati. Nel Giurese superiore, in conseguenza della continua risalita di magmi profondi del mantello superiore si lacera la crosta che si suddivide in due tronconi (*uno corrisponde alla Paleoeuropa e l'altro alla Paleoafrica*) fra i quali vengono ad affiorare le rocce verdi (*Serpentini gabbri Diabasi*) tipiche della crosta oceanica di derivazione magmatica della parte superiore del mantello. Cioè avviene in un'area ristretta che tuttavia rifornirà in seguito, con l'emissione di ulteriori rocce verdi, gli spazi centrali del fondo oceanico (*Dorsale centro oceanica*) man mano che questo si espanderà dietro in due tronconi continentali Paleoeuropeo e Paleoafricano in allontanamento e che si formerà tra questi il Paleooceano Ligure appunto caratterizzato da avere un supporto di crosta oceanica di neoformazione.

Al di sopra di questa, durante il Giurese superiore, si depongono i "I DIASPRI" in corrispondenza delle aree marginali dei paleocontinenti europeo ed africano sommerse anch'esse da un mare assai profondo (Mazzanti R. *Miscellanea archeologica ed ETS; Elter P. 1960*). Processi lunghissimi, impressi nelle rocce con piccoli segni che scrivono la storia nelle rocce e i processi geologici della Terra, che possono essere osservati nei depositi sedimentari fossiliferi di Sassetta, hanno fornito ad esempio ampia campionatura di Ammoniti e Belemniti che costituiscono gli organismi complessi più diffusi dei mari del Giurassico inferiore, circa 200 MA. La serie stratigrafica Mesozoica che affiora a Sassetta è costituita da rocce di diversi tipi e quindi diversi ambienti di sedimentazione, ma il livello dei Calcari Rossi Ammonitici del Lias inferiore medio (190-180 MA) è lo strato dove sono state rinvenute fossilizzate alcune specie di Ammoniti e Belemniti tipici di ambiente marino in fase di sprofondamento con sedimentazione scarsa. Sono note oltre un migliaio di generi e circa 60 famiglie di Ammoniti vissuti dal Devoniano superiore (360 MA) al Cretaceo superiore (65 MA) periodo alla fine del quale si sono estinti. I Belemniti, infatti, compaiono nel Trias inferiore (220 MA) e si estinguono alla fine del Mesozoico insieme agli Ammoniti.

Nei Calcari Rossi nodulari di Sassetta si individuano diversi generi di Ammoniti:

Lytoceras, *Asteroceras*, *Paltehoceras*, *Giurifillites*, con alcune forme di *Uptonia* e *Oxynoticeras*.

I Belemniti sono rappresentati dal genere *Atratites*, del quale si conserva il robusto rostro. Valeva la pena soffermarsi su questo Geotopo che costituisce, attraverso

▼ **Figura 10:** Camminamento protetto in una cava di Rosso Ammonitico



▼ **Figura 11:** Casa nel calcare selcifero



le varie cave di estrazione del Marmo Rosso degli anni '60, punti di osservazione caratteristici. Le cave sfruttavano livelli di circa 20 metri di Calcari Rossi e Rosati del Rosso Ammonitico e si trovano sotto il Borgo di Sassetta e sul versante occidentale del monte Bufalaio. Alcune di queste cave sono state messe in sicurezza per itinerari naturalistici (Fig. 10). Il Borgo è disseminato di questi materiali: le viuzze si appoggiano sugli strati del "Rosso Ammonitico" e le stesse case storiche, realizzate a faccia vista con blocchi di 'marmo rosso', sono spesso incastonate in queste formazioni geologiche (Fig. 11).

IL PERCORSO DELLA GEOLOGIA URBANA DI SASSETTA

L'esperienza della geologia urbana nel territorio di Sassetta (Fig. 12) costituirebbe una novità nel quadro di valorizzazione turistica-ambientale agevolata dalle potenzialità territoriali (*geologia del borgo, idrogeologia delle sorgenti del Macigno, terme di Sassetta, archeologia e storia medioevale del suo castello..*) ma in particolare il suo centro abitato, già sede di manifestazioni culturali come il simposio della scultura, vi si ritrovano cave dismesse di piccole dimensioni, di marmi rossi di pregio storico (*Chiesa della Spina a Pisa, Basilica di Firenze e duomo di Siena, etc.*).

Il territorio di Sassetta possiede una sua particolarità dei propri geotopi data la presenza di testimonianze di un recente passato (*Ditte: Musetti, Benini e Donnoli*) estrattivo attivo fino agli anni '70 del secolo scorso. Il simposio di scultura su questi materiali autoctoni ha avvicinato dal 2009 a Sassetta artisti nazionali ed internazionali (Fig. 13). Le opere, con il passare del tempo, hanno arricchito l'arredo urbano del borgo in un percorso d'arte. Altri elementi fondamentali del patrimonio geoturistico sono le numerose grotte e cavità archeo minerarie esplorate dai gruppi speleologici, le sorgenti idropotabili e termali provenienti dalla formazione del Macigno e dalla tettonica profonda (*Mancini S, Muti A., 2015*).

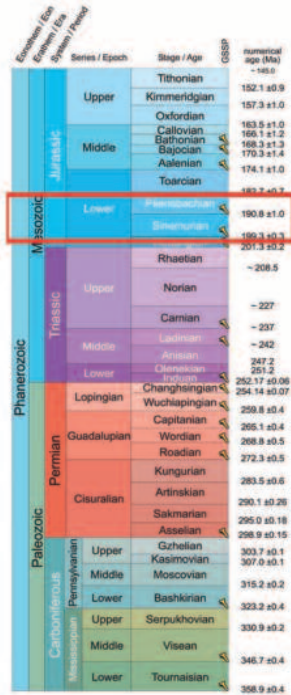
▼ **Figura 12:** Sculture di Marmo Rosso



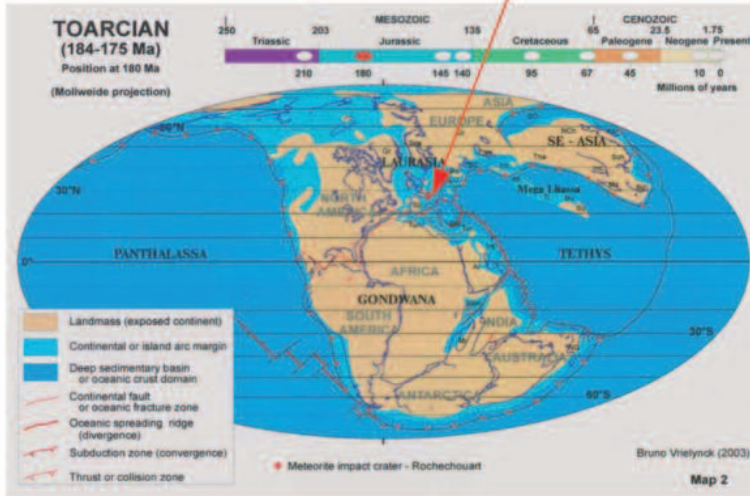
▼ Figura 13: Cartellonistica utilizzata per i geotopi

GEOTOPO CALCARI ROSSI AMMONITICI

Età della formazione dei
Calcarei Rossi Ammonitici



La Terra e la sua Tettonica a Placche: Sassetta 180 milioni di anni fa



Richiami Storici

Seguono nella successione ai **Calcarei Massicci** dei Calcarei di colore da rosso a rosso fegato, con stratificazione piuttosto regolare. Il Calcere assume la caratteristica struttura nodulare, tipica di questa roccia, la cui origine è un fatto non ben chiarito. (Giannini E., 1955). Nei pressi di Sassetta vi sono stati ritrovati da Tito Nardi nel 1851, livelli molto ricchi di ammoniti, anche di grandi dimensioni. Questi fossili furono studiati da Giuseppe Meneghini nel 1853 che vi riconobbe molte forme: *Litoceras Fimbriatus* ed *Amaltheus margaritatus* specie del Lias medio ma pure frequenti *Arietites* del Lias inferiore. L'insieme di queste forme ha fatto attribuire ai Calcarei Rossi Ammonitici un'età compresa fra la parte superiore del Lias Inferiore e la parte inferiore del Lias medio (Sinemuriano - Charmoutiano età 199 milioni di anni)

La scoperta dei fossili a Sassetta

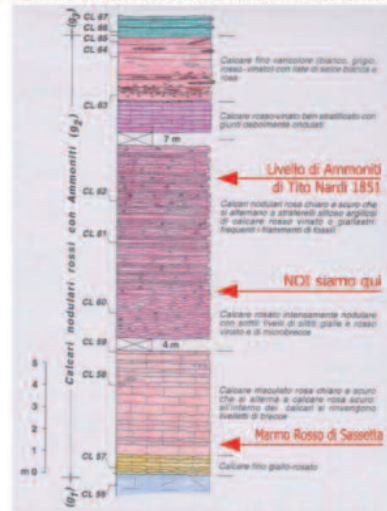
Il prof. Giuseppe Meneghini così descrive il sig. Tito Nardi di Campiglia M. nel 1853: "Andiamo debitori di questi nuovi preziosi materiali alle attive e diligentissime ricerche del sig. Tito Nardi, il quale, per le esatte cognizioni topografiche, per il naturale attitudine all'osservazione e per la rara abilità nel ricercare fossili e nel tagliare le rocce in saggi regolari ed istruttivi, si è già conquistata una ben meritata celebrità presso i naturalisti collettori non solamente toscani ma anche stranieri." Il Meneghini dedica alcuni ammoniti al Nardi: *Rhacophyllites Nardii* e *Atracites Nardii*. Il grande scienziato prof. Paolo Savi dell'università di Pisa pubblica nel 1851 le osservazioni stratigrafiche e paleontologiche concernenti la Geologia della Toscana ed identifica la stratigrafia dei terreni della Successione Toscana e descrive i Calcarei Ammonitici.

Ambiente di Sedimentazione

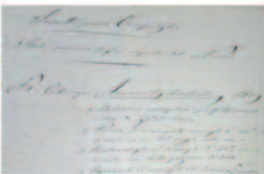
Sopra la piattaforma carbonatica marina ricca di alghe di vari tipi, si vanno a depositare nella parte centrale del *Giurese inferiore* i **Calcarei Rossi Ammonitici**, ricchi di fossili e dello spessore di poche decine di metri, che indicano la prima fase di sprofondamento della suddetta piattaforma carbonatica del **Calcere Massiccio**.

Bibliografia:
- Bollettino Società Geologica Italiana vol. LXIV - 1865 nota prof. Enzo Giannini
- Anni università Toscana Notei fasci illustrati del prof. Giuseppe Meneghini - Aprile 1853
- Quaderno del museo di storia naturale di Livorno vol. 13 (1933) nota 2 Geologia della provincia di Livorno e suoi del fiume Cecina - A. Costantini et al.

Colonna stratigrafica del Rosso Ammonitico a Sassetta



Giuseppe Meneghini



Lettera autografa della scoperta dei fossili a Sassetta



Disegni di Ammoniti



Ritratto di Giuseppe Meneghini (1853)

da una ricerca eseguita da Antonio Vitti

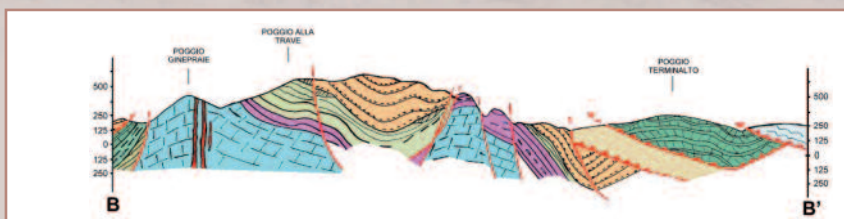
APPROFONDIMENTI NEL TERRITORIO

GEOTOPI DI INTERESSE IDROGEOLOGICO

▼ **Figura 14:** Sezione Geologica in direzione circa E-W

Nei monti della Gherardesca, su una superficie di circa 50 Km² sono presenti sorgenti che hanno rappresentato, per i comuni di Suvereto Castagneto e Sassetta gli approvvigionamenti più antichi (1863). Dai rilievi arenacei di Capo di Monte m 522 s.l.m. sono state captate nella parte più orientale le sorgenti di Sassetta.

Tutte le sorgenti (*Pisciarello, Stacciaia, Caparecce, Val Canina di Sopra e di sotto, Croce ai Salci, fonte ferrata e Vignole*), potrebbero costituire un itinerario didattico sulla struttura geologica delle Arenarie. Dalla sezione geologica (Fig. 14) si rileva che la formazione del Macigno è caratterizzata da una struttura a



parti da elevate montagne coperte di castagni, non restando aperto che dalla parte di tramontana e levante; l'aria e l'acqua di questo paese, sono senza fallo, le migliori di tutto il circondario.

▼ **Figura 15:** Perle di Grotta nelle gallerie di derivazione di sorgenti dal Macigno

sinclinale (un grande catino che raccoglie le acque sotterranee d'infiltrazione nelle arenarie) orientata NW-SE con immersioni assiali verso NW sul lato settentrionale e SE su quello meridionale dei monti della Gherardesca. La Scaglia toscana affiorante ad Est di val Canina ed ad Ovest di Bagnoli costituisce un acquicludo, nei confronti dell'acquifero del Macigno, favorendo l'emergenza delle acque sotterranee. Le sorgenti sono collocate in corrispondenza del contatto tra le due formazioni favorite da fessure e fratture di origine tettonica (*Muti A., 2006*). Le acque sorgive in un contesto ambientale unico (*Fig. 15*) potrebbero costituire una risorsa da valorizzare nel contesto del Geoturismo. Le sorgenti più importanti sono quelle di val Canina con opere di presa costituite da gallerie drenanti scavate interamente nel Macigno. *Val Canina di sotto* è una sorgente per soglia di permeabilità sottoposta. (*Castany G., 1985*), con prevalente componente bicarbonata alcalina-terrosa e più precisamente bicarbonata-calcica, con residuo fisso che la fa rientrare nelle acque medio minerali (*Residuo fisso mg/408; Durezza tot. 27.8 °F*). Le acque sono prive di Boro Arsenico e assenza di Nitrati. e, sulla base di indagini geochimiche ed idrogeologiche (*Pennisi M., 2006 cnr igg Pisa*), l'acquifero di Sassetta sarebbe ritenuto idoneo per l'imbottigliamento delle acque ad uso potabile.

Una circolare della Soprintendenza al Corpo delle Miniere del 31 dicembre 1825 dice di Sassetta e delle sue acque sorgive: ... *Circondato da due*



IDEE PER LA COSTITUZIONE DI UN PERCORSO GEOLOGICO

La proposta di costituire un itinerario geologico all'interno del paese di Sassetta può rappresentare un'occasione culturale per sviluppare interesse in associazioni, gruppi trekking, ma anche far diventare i percorsi una "palestra geologica" del Giurassico e Cretaceo rappresentati dalle successioni delle formazioni toscane non metamorfiche. Le manifestazioni geologiche lungo il percorso sono rappresentate dal carsismo, dalle mineralizzazioni, dai fossili e da numerose formazioni interessate da fenomeni tettonici (faglie e pieghe).

Un esempio di come si può realizzare un percorso è rappresentato da una breve passeggiata con continuità tra geologia, archeologia medioevale, opere artistiche nella chiesa e sculture di marmo rosso. Il percorso si compone di 15 soste corredate di pannelli didattici, visite a mostre e alle opere artistiche all'interno della chiesa. Il percorso ha una durata di circa 2 ore (Fig. 16).

Un ipotesi di lavoro più ampia potrebbe essere un anello con numerose soste per osservare tutte le formazioni geologiche tra tagli ed ex fronti cave della valle dei Mu-

lini per poi risalire lungo il percorso attrezzato di monte Bufalaio con gli affioramenti di marmo rosso continuando poi a scendere nel piazzale della grande cava. Da qui raggiungere le bocche delle grotte del Puntone per poi dirigersi verso Nord negli affioramenti del 1853 di Tito Nardi del Rosso Ammonitico.

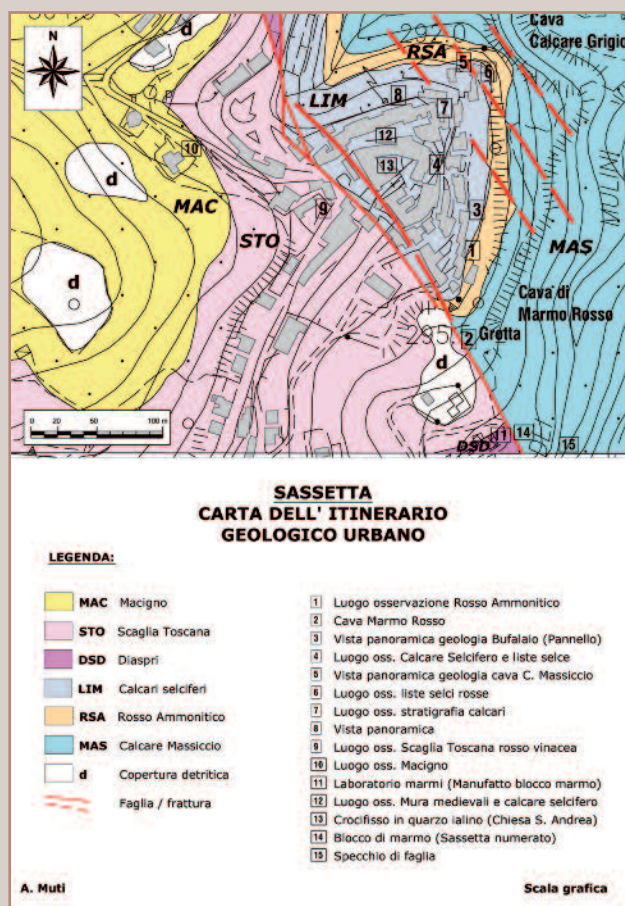
Si potrebbe in questo percorso anche toccare la grande cava del Calcare selcifero, fino alla cava dei 'Carabinieri', risalire verso La Fattoria ed arrivare in Piazzetta a Sassetta (Fig. 17).

Il percorso suggerito ha una durata di circa 4 ore.

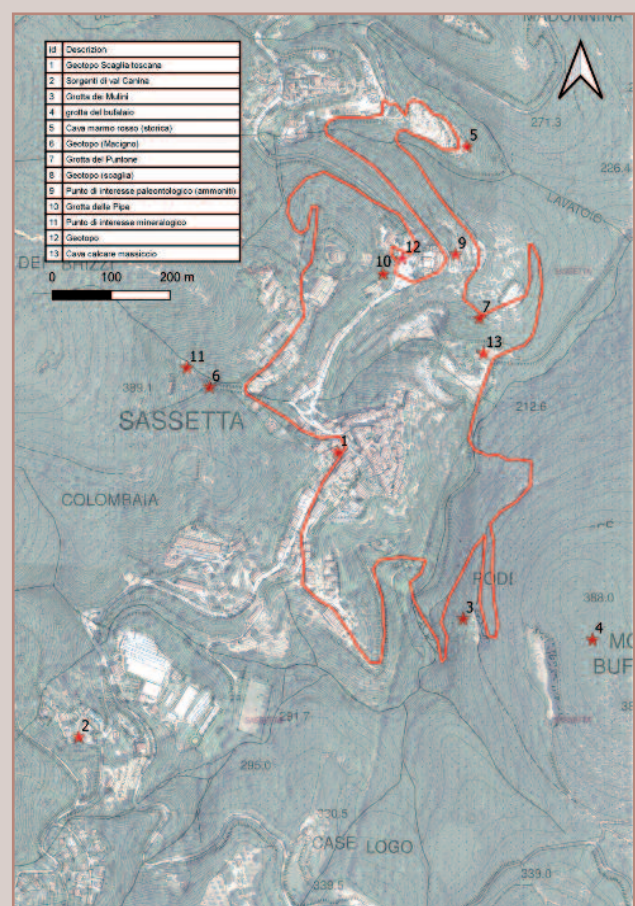
Dalla carta geologica sono sintetizzate alcune soste numerate:

- Le sorgive di ottime acque del Macigno (1,8)
- Grotte carsiche esplorate nel 1983 dal gruppo speleologico del museo storia naturale di Livorno, con nuove ricerche degli ultimi anni (3,4,7,14) con una mostra permanente nel palazzo Comunale di Sassetta.
- Interesse Paleontologico (9,10) sono siti dove Giuseppe Meneghini ha ricercato e classificato ammoniti.
- Interesse Mineralogico (2,11) Quarzo ialino e cristalli di rocca presenti nelle fratture del Macigno e scorie etrusche con all'interno rari minerali.

▼ **Figura 16:** Percorso di geologia urbana nel borgo di Sassetta (durata 2 ore)



▼ **Figura 17:** Percorso in progetto (durata 4 ore)



- Geotopi (12,13,15,16,17,18) presenti nei tagli ed ex fronti cave di osservazioni geologiche con le formazioni della Serie toscana.
- Cave di Marmo Rosso presenti principalmente sotto il Borgo di Sassetta (5,9,10,15).

CONCLUSIONI

Questa suggestiva ipotesi va nella direzione della valorizzazione e la conoscenza scientifica e storico di luoghi che ne hanno anche determinato l'identità geografica e storica dei territori, talvolta poco conosciuti. Tutto questo si inserisce in un elemento continuativo tra geologia, geoarcheologia, storia, urbanistica ed archeologia.

Il geologo ha le competenze per svolgere il raccordo tra le figure di guida geologica e ambientale per la valorizzazione e la conservazione dei geositi, che rappresentano un patrimonio ancora poco valorizzato.

La località di Sassetta ha tutte le prerogative per diventare un museo all'aperto tra archeologia industriale, geologia, paleontologia e mineralogia ed il tracciato di 400 m, attrezzato dall'associazione Geostorici di Castagneto con pannelli (Figg. 19 e 20), percorre la storia geologica all'interno di un borgo storico medioevale che unisce geositi e storia in un connubio che rende ancor più gradevole il passeggiare per questo tipico borgo toscano.

▼ **Figura 18:** Inaugurazione percorso



BIBLIOGRAFIA

- ARNOLDUS HUYZENDEVELD A. (1995) I beni culturali a carattere geologico : i geotopi. Un approccio culturale al problema . Geologia tecnica e ambientale, 4
- ASS. CUL PARCHI GEOSTORICI (2015) - Brochure del percorso di geologia urbana Sassetta
- BENTIVENGA M. (2010) - Patrimonio geologico: una risorsa da proteggere e valorizzare. Atti con. Naz. Geologia amb. Supp.2/2011
- BOCCALETTI M. MANETTI P. (1972) - Caratteri sedimentologici del Calcere Massiccio della Toscana a sud dell'Arno. Boll. SOC. Geol. Italiana, 91 (3)
- FUCINI A. (1887) Fauna del Lias medio di monte Calvi presso Campiglia Marittima -Palae. Ital., 2
- FARINACCI A. ELMI S. (1981) - Rosso ammonitico Symposium Proc. Ed. Tecnoscienza Roma
- FAZZUOLI M. PIRINI RADRIZZANI C. (1981) - Lithofacies characteristics of the "Rosso Ammonitico Limestone in the south -western Tuscany (Italy. Ed. Tecnoscienza Roma
- GIANNINI E. (1955) - La geologia dei monti di Campiglia (Livorno). Boll. Soc. Geol. Italiana, 74 fasc. II Pisa
- GIANNINI E. LAZZAROTTO A. (1967) - Studio geologico di una sezione tra i monti di Campiglia... Atti Soc. Tosc. S. Naturali Pisa, 74
- LEVI G. (1896) - Sui fossili a Terebratula aspasia di monte Calvi presso Campiglia . Boll. Soc. Geol. Italiana, 15
- LOTTI B. (1910) Geologia della Toscana. Mem desc. Carta Geol. d'Italia, 13
- MANCINI S. MUTI A. (2014) - Studio sui marmi rossi di Sassetta. L'informatore ed. Zusi n°625
- MAZZANTI R. (1993) La scienza della Terra nell'area della provincia di Livorno a sud del fiume Cecina. - Quaderno del Mu. di St. Nat. di Livorno, 13 fasc.2
- MENEGHINI G. (1853) - Nuovi fossili toscani illustrati. Annali università Toscane Tom. III Pisa
- MUTI A. CERBAI N. et al. (2006) - Le sorgenti fredde dei monti della Gherardesca idrogeologia e geochimica. Progetto Boremed . Rivista Acque sotterranee Anipa
- MURRAY GRAY (2004) Geodiversity. Ed J.W.Ley
- MUTI A. (2015) Archivio private geologico e storico .Ass.Cult. onlus Parchi Geostorici
- NARDI T. (1853) Carta geologica e tagliate dei monti di Sassetta e Campiglia. Archivio CGT Siena
- PINNA G. (1969) Revisione degli Ammoniti figurate da Giuseppe Meneghini .- Memorie Società di S. Naturali vol XVIII fas. 1
- SAVI P. (1886) Osservazioni geologiche sul campigliese . N. Giorn. Letterati ,18 Pisa
- SISTEMA BIBLIOTECARIO ATENEI UNIVERSITA' DI PISA -Miscellanee geologiche
- TARGIONI TOZZETTI G. (1768) Relazione d'alcuni viaggi fatti in diverse parti della Toscana. Tomo III
- SIMONIN L. (1867) La vie souterraine.. ed D.L.. Hachette Paris
- SIMONIN L. (1862) Le Maremme Toscane souvenirs de voyage Le littoral de la mer Tyrrhenienne. Revue des deux Monde anne XXXII Paris
- URIELYNCH B BOUYASSE P. (2003) Le visage changeant de la Terre.- Comm. de la carte geologique du monde Ed. UNESCO

**DOTT.SSA MARINA AGOSTINI**

LAUREA MAGISTRALE IN SCIENZE E TECNOLOGIE
GEOLOGICHE (CLASSE LM-74)
PRESSO L'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE

**Estratto
della Tesi**

Premio
Giuntini 2019
nella sezione
tesi di Laurea
Magistrale

Caratterizzazione petrochimica delle unità geologiche del campo geotermico di Larderello (Italia centrale): un possibile approccio per una modellazione geotermica

RELATORE: PROF. ORLANDO VASELLI¹

CORRELATORE: GIORDANO MONTEGROSSI² - PROF. ENRICO PANDELI¹,

¹ UNIVERSITÀ DI FIRENZE, DIP. SCIENZE DELLA TERRA, VIA G. LA PIRA 4, 50121 FIRENZE, ITALIA

² CNR - IGG ISTITUTO DI GEOSCIENZE E GEORISORSE, VIA LA PIRA 4, 50121 FIRENZE, ITALIA

PAROLA CHIAVE: PETROFISICA, GEOTERMIA, LARDERELLO, EQUAZIONE DI STATO, MODELLAZIONE NUMERICA.

Riassunto

Le proprietà petrofisiche delle formazioni geologiche dell'area di Larderello (Italia) sono scarsamente descritte in letteratura, nonostante Larderello sia conosciuto come il primo ed il più famoso campo geotermico al mondo. Lo scopo di questo studio è stato quello di costruire un *database* che raccogliesse le proprietà petrofisiche delle principali formazioni presenti nell'area di Lago (Larderello). Data l'impossibilità di avere l'accesso diretto alla complessa serie geologica, sono stati studiati gli analoghi naturali, prelevando dei campioni dagli affioramenti appartenenti alle principali formazioni dei differenti livelli tettonici. Delle differenti "facies" litostratigrafiche è stata effettuata sia l'analisi chimica che quella mineralogica.

La caratterizzazione petrofisica è stata svolta presso i laboratori di RWTH di Aquisgrana (Germania), dove sono stati misurati i seguenti parametri: i) capacità termica, misurata con il DSC; (Differential heat flux Scanning Calorimeters), ii) conduttività termica, misurata con il TCS (Thermal Conductivity Scanner), iii) porosità, determinata sia con il metodo di Archimede sia con NMR (Nuclear Magnetic Resonance) e iv) densità di matrice, misurata con Accupic. I dati acquisiti sono stati poi usati per effettuare una simulazione numerica del sistema geotermico di Larderello allo stato naturale. Questo ha precedentemente previsto lo sviluppo di un modello concettuale dell'area di Lago. La distribuzione dei principali parametri termodinamici risultanti dalla simulazione dello stato naturale, ottenute applicando la nuova equazione di stato (*Equation Of State: EOS*), sviluppata nell'ambito del progetto di DESCRAMBLE H2020 # 640573, è stata poi confrontata con i dati dei pozzi geotermici presenti nel BNDG (*National Geothermal Database*), utilizzando i valori riportati da Romagnoli et al. (2010) e da Bertani et al. (2018). Il confronto tra i dati calcolati e quelli misurati, riportati nelle fonti citate, ha avuto esito positivo, permettendo di validare il modello dello stato naturale. La nuova EOS ha altresì permesso di includere nel modello le alte temperature e pressioni incontrate a livello dell'orizzonte K (un riflettore ad ampiezza elevata, Batini et al. 1979, 1985) ed al di sotto di esso, come riportato da Batini (1984), Bertani (2018) e De Franco et al. (2019). Le proprietà petrofisiche delle rocce, insieme alla nuova equazione di stato, potranno inoltre essere utilizzate per perfezionare e migliorare modelli futuri.

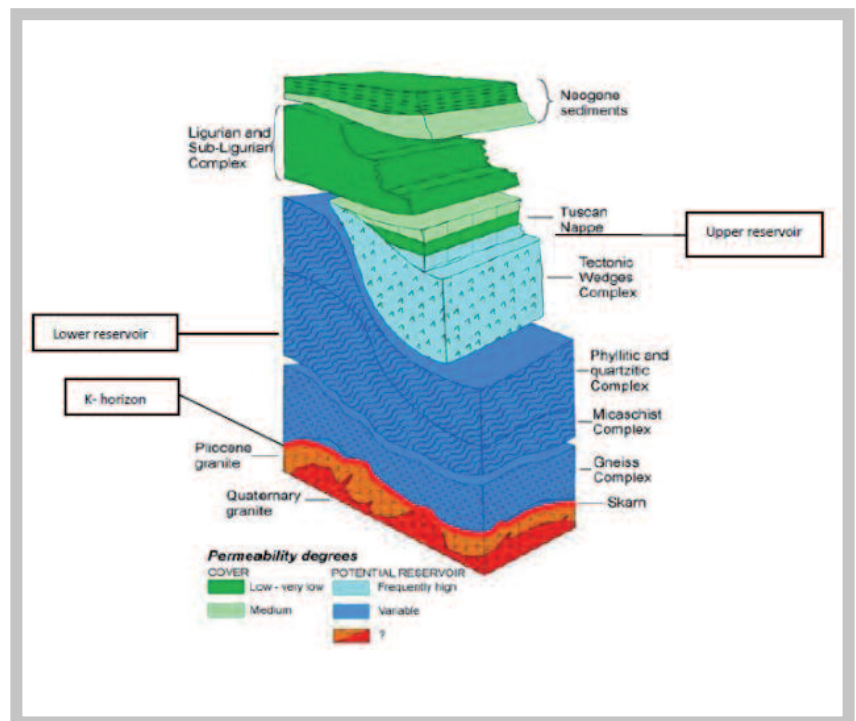
1. Introduzione

L'energia geotermica, se correttamente usata e gestita, può essere inclusa tra le "energie verdi" (Vasini, 2016). Nell'ultimo decennio, questo tipo di energia ha visto un crescente interesse in quanto è annoverata fra le energie rinnovabili e meno inquinanti. Nonostante l'energia geotermica non sia considerabile come totalmente rinnovabile, ci sono esempi a livello mondiale che hanno dimostrato come il suo sfruttamento possa persistere per molti decenni. Uno di questi esempi si riferisce proprio al campo geotermico di Larderello, il quale è stato coltivato sin dal secondo ventennio del secolo scorso (Arias et al., 2010) senza che si sia riscontrata diminuzione nella produzione di energia elettrica. Esso è uno dei pochi sistemi a vapore (surriscaldato) dominante presenti al mondo e rappresenta tuttora la risorsa geotermica più importante d'Italia, assieme a quella del Mt. Amiata. Nei sistemi a vapore dominante, ed a Larderello in particolare, il vapore viene immesso direttamente in turbina; successivamente, il vapore esausto viene sottoposto a condensazione nelle torri omonime per incrementare la percentuale di liquido. La fase liquida risultante viene infatti re-iniettata in profondità per aumentare la vita della risorsa geotermica. Una buona conoscenza del campo geotermico è necessaria per pianificare correttamente lo sfruttamento della risorsa ed eseguire una corretta gestione in termini di produzione di fluidi (Vasini, 2016), prevedendo sia le prestazioni del giacimento geotermico a lungo termine sia gli eventuali impatti ambientali. Ciò può essere ottenuto mediante simulazioni numeriche, utilizzando modelli matematici in grado di valutare il potenziale geotermico dell'area, ovvero prevedendo le temperature, le portate e la pressione attese, fornendo così utili spunti nella pianificazione di una re-iniezione efficiente. L'impatto ambientale può essere ulteriormente ridotto tramite la re-iniezione totale come già sperimentato in vari campi geotermici anche se tale processo viene ad essere limitato dalla presenza di gas non condensabili (NCG: *Non Condensable Gases*) e dal loro impatto sulle prestazioni del campo geotermico.

Questo studio ha avuto come scopo quello di produrre un *database* delle proprietà petrofisiche relative alle formazioni geologiche presenti a S-O di Larderello, nell'area denominata Lago, incontrate durante la perforazione di pozzi produttivi ed esplorativi. Nell'area oggetto di studio, sono stati misurati i più alti valori di flusso di calore (fino a 1.000 mW/m²) (Baldi et al., 1994; Magro et al., 2003) dell'intero campo geotermico. I parametri petrofisici svolgono un ruolo chiave nella comprensione di un sistema geotermico. Nonostante ciò, sono raramente presenti nei modelli di simulazione numerica, venendo spesso assunti su base teorica e perdendo di rappresentatività delle reali proprietà delle formazioni geologiche.

2. Geologia regionale

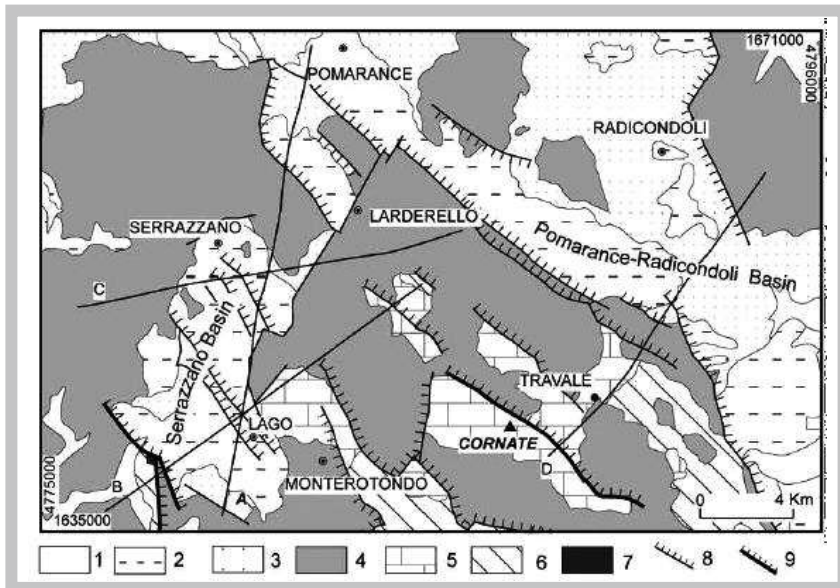
Il campo geotermico di Larderello è situato nella regione delle "Colline Metallifere", negli Appennini settentrionali (Italia centrale), tra le provincie di Siena, Pisa e Livorno (Toscana centro-meridionale) e copre un'area di circa 400 km². In questa area, sono presenti due campi produttivi: Larderello e Travale e distanti tra loro circa 15 km (Bertini et al., 2005). L'area geotermica è caratterizzata da una struttura ad *horst & graben* dove sono presenti bacini tardo- fino a post-orogonici (riempiti da sedimenti miocenici-quaternari continentali e marini) e separati da dorsali (in corrispondenza degli affioramenti della falda tettonica oligo-miocenica; Bertini et al., 1994). fig 1 e2



▲ **Figura 1**
Schema tettonico-stratigrafico dell'area di Larderello (modificata da Bertini et al., 2006).

La serie geologica è caratterizzata dalla base al tetto da (Pandeli et al., 1991):

- "Complesso intrusivo";
- "Unità metamorfiche Toscane": (i.e. Complesso fillico quarzifero, Complesso degli gneiss e dei micascisti);
- "Tectonic wedge complex";
- "Complesso della Falda Toscana";
- "Complesso delle Liguridi e sub-Liguridi";
- "Sedimenti neoautoctoni".



▲ **Figura 2**

Mappa geologica dell'area di Larderello. Legenda: (1) sedimenti quaternari continentali; (2) sedimenti marini pliocenici; (3) Sedimenti miocenici continentali e marini; (4) Complesso Ligure (Giurassico-Oligocene); (5) Complesso Toscano (sequenza sedimentaria tardo triassica-miocenica inferiore); (6) Complesso Toscano (evaporiti tardo triassiche); (7) Filladi paleozoiche; (8) faglie normali; (9) faglie normali mineralizzate da solfuri misti di origine idrotermale, collegate al magmatismo toscano pliocenico-quaternario (Arisi Rota et al., 1971).

Come precedentemente ricordato, il presente studio si riferisce alla zona del "Lago", il cui nome deriva dalla presenza del famoso lago boracifero.

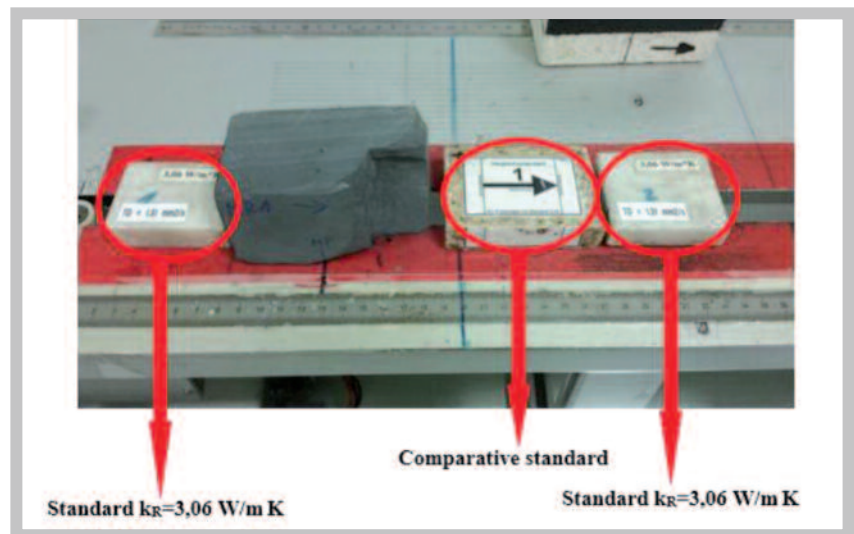
3. Materiali e metodi

Le tecniche petrofisiche e geochimiche adottate in questo lavoro sono state rivolte alla caratterizzazione delle complesse formazioni geologiche di Lago, materiale che non poteva essere procurato usando campioni di carotaggi derivanti dalle attività di perforazione poiché non disponibili. Per ovviare a ciò, è stata pianificata e svolta una campagna di campionamento per prelevare dei campioni di roccia dagli analoghi naturali affioranti. Complessivamente, sono stati raccolti ventidue campioni, selezionati al fine di coprire tutte le litologie più importanti (o più abbondanti), sui quali sono state determinate le proprietà termiche (capacità e conducibilità termica), idrauliche (porosità) e di densità. Tale indagini sono state condotte presso il laboratorio di petrofisica dell'E.ON, Energy Research Centre della RWTH di Aquisgrana (Germania). La conducibilità termica e la

diffusività sono state determinate tramite il *Thermal Conductivity Scanner* (TCS), seguendo la metodologia proposta da Popov et al. (1999, 2006) (Fig. 3). Lo strumento impiegato permette una misura, non di contatto e di alta precisione, della conducibilità termica e della diffusività, usando una tecnologia a

scanner ottico (Fig. 3) (Popov et al., 2006).

Le misure di densità di matrice e densità totale sono state effettuate con un picnometro a gas AccuPyc 1330. AccuPyc è un sistema picnometrico a spostamento di gas, riconosciuto come una delle più affidabili tecniche per ottenere una misura di volume e di densità, totale e di matrice (Viana et al., 2002, AccuPyc 1330 Pycnometer Operator's Manual, 1990). La porosità è stata determinata usando il metodo di Archimede e tramite la *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR). La porosità delle rocce può essere determinata usando dei metodi di misura sia diretti che indiretti. I metodi Accupyc ed Archimede sono determinazioni dirette della porosità, mentre l'NMR è di tipo indiretto, basata sulla correlazione tra porosità e proprietà fisiche. La misura con il principio di Archimede permette di calcolare il volume e quindi, la densità di qualsiasi oggetto avente forma irregolare, determinando la sua massa in aria e la sua massa effettiva una volta immerso in acqua. Quindi, per ciascun campione è stato ottenuto un valore medio per porosità e densità totale e di matrice. L'NMR si basa sul principio fisico della risonanza nucleare degli atomi di idrogeno in un forte campo magnetico, ed il segnale fornito dai nuclei di idrogeno è proporzionale alla popolazione degli atomi di idrogeno (e quindi alla quantità di acqua) nel campione (Coates et al., 1999; Dunn et al., 2002). L'NMR misura quindi la risposta del segnale di risonanza dei



▲ **Figura 3**

Thermal conductivity scanner (TCS) alla RWTH presso l'E.ON, Energy Research Centre durante una misura in laboratorio.

nuclei di idrogeno all'interno di un cambiamento deliberato dell'orientamento del campo magnetico (Hoder, 2016). Le misure di capacità termica sono state fatte con un calorimetro a scansione differenziale del flusso termico "Differential Heat Flux Scanning Calorimeters (DSC)". La tecnica DSC permette di misurare il flusso termico tra le due celle di un calorimetro a scansione differenziale, confrontando la curva di riscaldamento del campione in studio con quella di uno standard.

Le analisi chimiche e mineralogiche delle differenti "facies" litostratigrafiche sono state svolte nei laboratori dell'Università di Firenze, rispettivamente, con XRD (X-Ray Diffraction) e XRF (X-Ray Fluorescence) e LOI (Loss On Ignition). Le analisi XRD sono state effettuate usando un diffrattometro X-ray Philips PW 1050/37 e la composizione mineralogica semi-quantitativa è stata determinata con il metodo di raffinamento Rietveld effettuato con il programma Maud v2.2 (Material Analysis Using Diffraction).

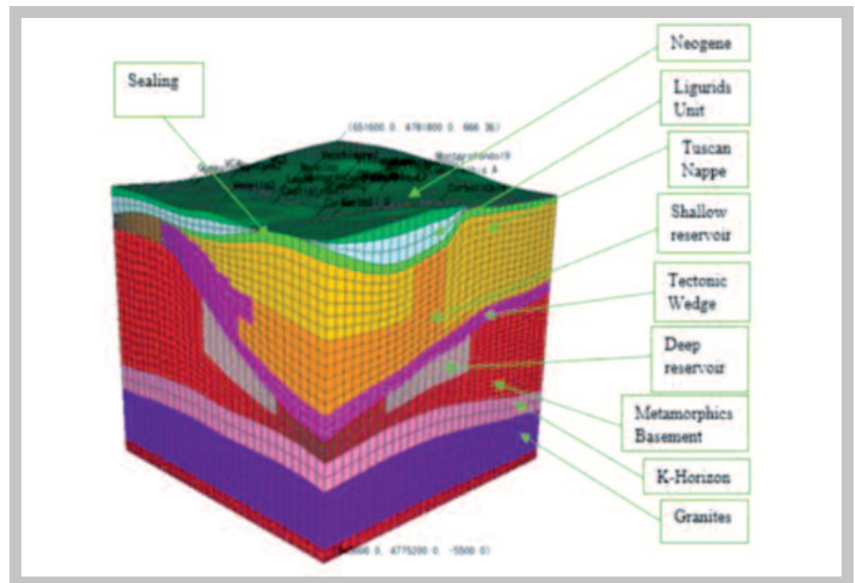
4. Risultati del modello e discussione

I dati petrofisici ottenuti sono stati inseriti nel modello numerico-TOUGH2 3D dell'area di Lago (Fig. 4) che copre una superficie di 6.6 km x 6.6 km (Fig. 5), da 645000 a 651600 E, e da 4775200 a 4781800 N.

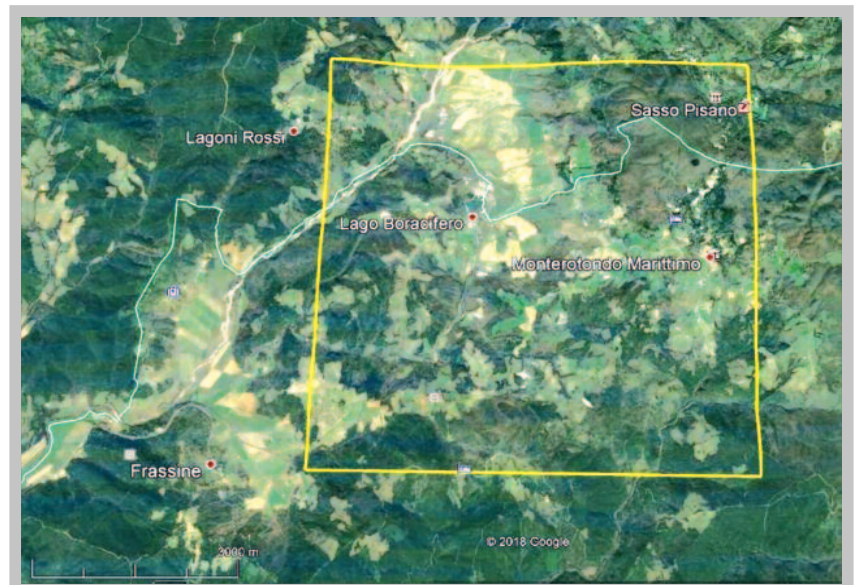
TOUGH2 è una famiglia di moduli sviluppata nel programma numerico di simulazione TOUGH (Pruess et al., 1999, 2003). Il modello raggiunge una quota di 660 m s.l.m., che è la elevazione massima DEM (Demographic Elevation Model). La base del modello è stata messa a -5.5 km, i.e. sotto l'orizzonte K, un riflettore ad ampiezza elevata a causa della presenza di fluidi (Batini et al. 1979, 1985, De franco et al., 2019). Il modello è stato costruito con un mesh uniforme cartesiano, in accordo con l'approccio di discretizzazione spaziale IFDM (Integral Finite Difference Model, Narasimhan and Witherspoon, 1976). È stato scelto un grid cartesiano di 30x30x40 elementi, per un totale di 36,000 celle, ognuna di esse pari a 220x220 m con una altezza variabile. La spaziatura del grid e le dimensioni del modello sono state scelte per coprire propriamente tutta l'area di studio, evitando allo stesso tempo troppi elementi che avrebbero

compromesso la velocità della simulazione. I valori di permeabilità usati nel modello per le differenti formazioni sono stati ottenuti da Romagnoli et al. (2010). Per ciascun campione sono state definite pressione capillare e permeabilità relativa con la funzione di Corey (1954); la funzione di Corey prevede come parametri soltanto la saturazione liquida e gas residua, che sono state misurate per alcuni

campioni della zona Lago-Monteverdi da Bertani et al. (1996). Gli stessi valori sono usati per la funzione della permeabilità relativa. Le estensioni del serbatoio superficiale e di quello profondo sono state stimate dai dati dei pozzi geotermici, mentre la superficie del tetto del serbatoio superficiale è stata interpolata sulla base di quanto riportato da Romagnoli et al. (2010). I seguenti parametri sono stati integrati nel modello come

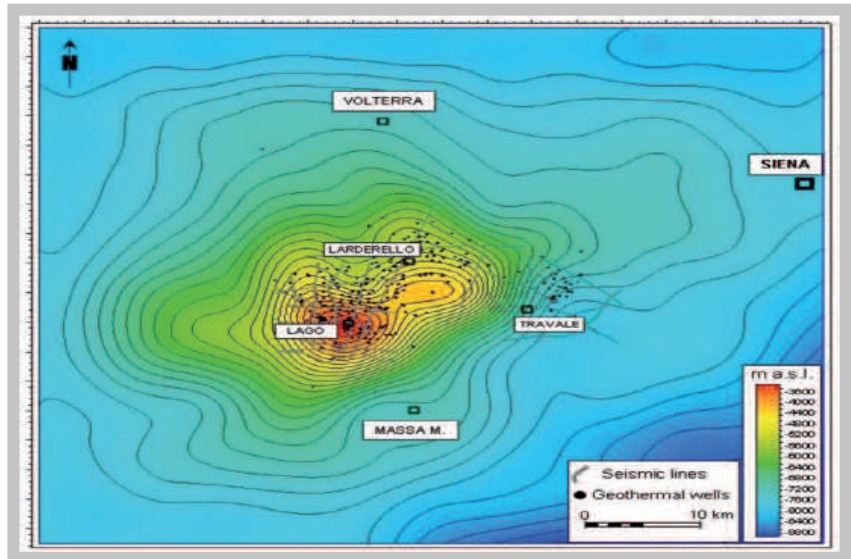


▲ **Figura 4**
Struttura del modello numerico dell'area Lago e distribuzione dei complessi geologici. Vista da sud-ovest.

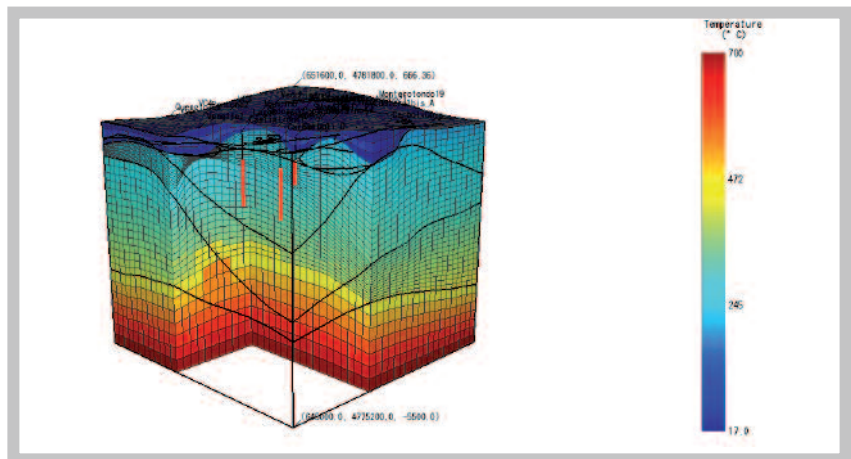


▲ **Figura 5**
Vista dell'area modellata su Google Earth.

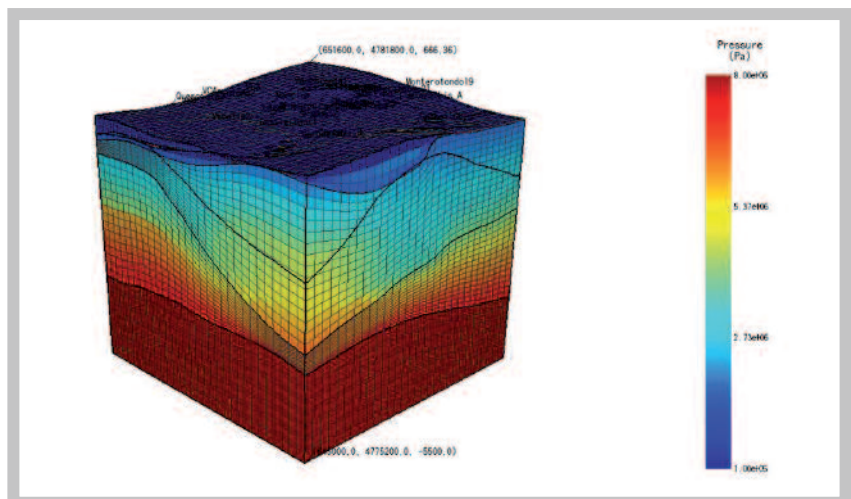
condizioni a contorno: alla base del modello, localizzata sotto l'orizzonte K, è stata posizionata una condizione a contorno con temperatura costante di 700 °C che genera, nel modello di stato stazionario, una temperatura di 450 °C al top dell'orizzonte K. L'altra condizione a contorno a temperatura costante è stata data allo strato al top del modello, con una temperatura di 17 °C che riproduce la temperatura media annua superficiale dell'area di Larderello. L'orizzonte K inizialmente usato nel modello (Romagnoli et al., 2010) risulta essere troppo profondo sotto i pozzi S. Pompeo 2 (circa 200 m) e Venelle 2 (circa 500 m) se confrontato con i risultati delle perforazioni dei pozzi riportati rispettivamente in Batini et al. (1984) and Bertani (2018). In particolare, questi due pozzi sono molto importanti perché incontrano l'orizzonte K a fondo pozzo e sono l'unica fonte di informazione diretta a riguardo. Nel modello utilizzato nel presente studio, è stata cambiata localmente la profondità dell'orizzonte K per accordarsi con i profili delle temperature ed i dati di tali pozzi. L'orizzonte K (Fig. 6) è stato assunto come uno strato impermeabile, come testimoniato dal brusco salto di pressione rilevato durante le perforazioni. È stato anche incluso un livello a bassa permeabilità alla base delle Liguridi che agisce da seal del primo serbatoio, impedendo al vapore surriscaldato di raggiungere la superficie. Tale condizione (o livello) di sealing è dovuta sia alla presenza di Liguridi impermeabili che a processi di self-sealing. Per il contenuto non trascurabile di NCG, rappresentato a Larderello da CO₂ che a Lago varia dal 2 al 4% (Romagnoli et al., 2010), è stata impiegata un'equazione di stato per miscele di acqua e CO₂. È stata utilizzata la nuova equazione di stato (EOS), sviluppata nell'ambito del DESCRAMBLE H2020 Project # 640573, in grado di operare nell'intervallo 1-1.000 °C, 0.1-1.000 bar, utilizzando acqua e CO₂. Il modulo EOS utilizzato consente di includere nel presente modello l'orizzonte K e la parte ad esso inferiore. Una volta impostato il modello, la simulazione numerica è stata eseguita fino al raggiungimento di uno stato stazionario, termodinamicamente stabile (P, T, rapporto vapore/liquido) (Fig. 7 e 8) assunto come rappresentativo dello stato naturale del sistema.



▲ **Figura 6**
Mappa dell'orizzonte K [m a.s.l.] (Romagnoli et al., 2010).



▲ **Figura 7**
Distribuzione della temperatura da Sud-Ovest. Vista da sud-ovest.



▲ **Figura 8**
Distribuzione della pressione. Vista Sud-Ovest.

5. Conclusioni

Al fine di validare l'affidabilità del modello, i risultati dello stato stazionario 3D sono stati confrontati con: i) le temperature registrate nei pozzi geotermici riportate nel database geotermico BNDG, ii) i profili di temperatura e pressione ottenuti dalle simulazioni di *Romagnoli et al. (2010)* e iii) le temperature misurate nel pozzo Venelle 2. Dal momento che il confronto ha indicato un buon accordo, ciò permette di asserire che l'approccio proposto possa essere considerato affidabile (*Agostini, 2019*). In questo studio, si evidenzia come l'uso delle corrette proprietà petrofisiche e di semplici condizioni a contorno permetta di ottenere un modello affidabile del sistema. Si evince, quindi,

come i suddetti dati risultino di particolare importanza per l'esplorazione geotermica e la caratterizzazione delle risorse. Nonostante ciò, molti studi geotermici non includono indagini specifiche sulle proprietà petrofisiche. L'acquisizione di tali dati è costosa e *time-consuming*, e questo comporta che solitamente le simulazioni dei sistemi geotermici si basino su valori stimati, aggiungendo ulteriori incertezze a quelle strettamente necessarie, ed influenzando negativamente l'accuratezza dei modelli (*Vasini, 2016*). In questo lavoro, inoltre, abbiamo impiegato un metodo predittivo della capacità termica delle rocce, risultato valido, con una buona approssimazione, per molteplici formazioni rocciose, poiché si basa sulla conoscenza della

composizione mineralogica. L'approccio adottato in questo studio permette, infatti, di ottenere la capacità termica di una roccia come media ponderale delle capacità termiche dei minerali che la compongono, ed è risultato valido anche nel predire la capacità termica delle rocce a temperature elevate, per le quali le misure sono particolarmente lunghe e complesse, oltre a richiedere apparecchiature specifiche. È stato verificato come spesso sia necessaria una calibrazione con i dati sperimentali per la capacità termica delle rocce a bassa temperatura, mentre la dipendenza dalla temperatura della capacità termica si è rivelata sempre corretta; ciò riduce gli sforzi sperimentali rispetto al condurre misure ad alta temperatura per tutti i campioni.

Bibliografia

- Agostini (2019). Petrochemical characterization of the geological units of the Larderello Geothermal Field (central Italy): a possible approach for a geothermal modeling. Master's degree. Università di Firenze, tesi non pubblicata.
- AccuPyc 1330 Pycnometer Operator's Manual (1990). Micromeritics Part Number: 133-42801-01.
- Arias, A., Dini, I., Casini, M., Fiordelisi, A., Perticone, I., Dell'Aiuto, P. (2010). Geoscientific feature update of the update of the Larderello-Travale geothermal system (Italy) for a regional numerical modelling. Proceedings World Geothermal Congress.
- Arisi Rota, F., Brondi, A., Dessau, G., Franzini, M., Stea, B., Vighi, L. (1971). I Giacimenti minerali della Toscana meridionale. Rend Soc It Miner e Petr, 27, 357–544.
- Baldi, P., Bellani, S., Ceccarelli, A., Fiordelisi, A., Squarci, P., Taffi, L. (1994). Correlazione tra le anomalie ed altri elementi geofisici e strutturali della Toscana meridionale. Studi Geologici Camerti, 1994/1, 139-150.
- Batini, F., Bertini, G., Bottai, A., P.D. Burgassi, Cappetti, G., Puxeddu, M. (1984). San Pompeo 2 deep well: a high temperature and high-pressure geothermal system. Report - Commission of the European Communities EUR8853EN: 341-353.
- Batini, F., Burgassi, P.D., Cameli, G.M., Nicolich, R., Squarci P. (1979). Contribution to the study of the deep lithospheric profiles: Deep reflecting horizons in Larderello-Travale geothermal field. Mem. Soc. Geol. It., 19 (1978) 477-484.
- Batini, F., Castellucci, P., Neri, G. (1985). The Travale geothermal field. Geothermics, 14, 623- 636 (1985).
- Bertani, R., Bertini, G., Cappetti, G., Fiordelisi, A., Marocco B. M. (2005). An Update of the Larderello-Travale/Radicondoli Deep Geothermal System. Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey.
- Bertani, R., Büsing, H., Buske, S., Dini, A., Hjelstuen, M., Luchini, M., Manzella, A., Nybo, R., Rabbal, W., Sernotti, L., the DESCRAMBLE Science and Technology Team (2018). The first results of the DESCRAMBLE Project. PROCEEDINGS, 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, 12-14, 2018 SGP-TR-213.
- Bertani, R., Paris, L., Perini, R., Tarquini, B. (1996). High temperature adsorption measurements. PROCEEDINGS, Twenty-First Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California. SGP-TR-19 1.
- Bertini, G., Cameli, G.M., Costantini, A., Decandia, F.A., Dini, I., Elter, F.M., Lazzarotto, A., Liotta, D., Pandeli, E., Sandrelli F. (1994). Structural features of southern Tuscany along the Monti di Campiglia-Rapolano Terme cross-section. Mem. Soc. Geol. It., 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.
- Coates, G. R., Xiao, L., Prammer, M. G. (1999). NMR logging: principles and applications. Gulf Professional Publishing.
- Corey, A.T. (1954). The Interrelation Between Gas and Oil Relative Permeabilities. Producers Monthly, 38-41, November 1954.
- De Franco, R., Petracchini, L., Scrocca, D., Caielli, G., Montegrossi, G., Santilano, A., Manzella, A. (2019). Synthetic seismic reflection modelling in a supercritical geothermal system: an image of the K-horizon in the Larderello field (Italy). Geofluids, doi.org/10.1155/2019/8492453.
- Dunn, K.-J., Bergma, D. J., LaTorraca, G. A. (2002). Nuclear magnetic resonance: Petrophysical and Logging Applications (Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration), volume 32. Pergamon Imprinted of Elsevier Science & Technology, Amsterdam.
- Hoder, G. (2016). Monitoring of Two-Phase Fluid Flow Experiments by NMR. Master's thesis.
- IMAGE-D5.01 (2017). Final report on Integrated application in field models (magmatic settings). IMAGE: Integrated Methods for Advanced Geothermal Exploration. Grant Agreement Number 608553.
- Magro, G., Ruggieri, G., Gianelli, G., Bellani, S., Scandiffio, G. (2003). Helium isotopes in paleofluids and present-day fluids of the Larderello geothermal field: constraints on the heat source. J Geophys Res 108-B1:1-12
- Narasimhan, T.N., Witherspoon, P.A. (1976). An integrated finite difference method for analysing fluid flow in porous media. Water Res Res, 12, 57-64.
- Pandeli, E., Bertini, G., Castellucci, P. (1991). The Tectonic wedges complex of the Larderello area (Southern Tuscany – Italy). Boll. Soc. Geol. It., 110, 621-629.
- Popov, Y.A., Pribnow, D. F., Sass, J.H., Williams, C.F., Burkhardt H. (1999). Characterization of rock thermal conductivity by high-resolution optical scanning. Geothermics 28 253-276.
- Popov, Y., Rauen, A., Lippmann, E. (2006). TCS – Manual - Lippmann and Rauen GbR, Germany.
- Pruess, K. (2003). The TOUGH Codes – A Family of Simulation Tools for Multiphase Flow and Transport Processes in Permeable Media. Earth Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory University of California, Berkeley, CA 94720.
- Pruess, K., Oldenburg, C., Moridis, G. (1999). TOUGH2 USER'S GUIDE, VERSION 2.0. Earth Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley, California 94720.
- 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.
- Vasini, M. (2016). Numerical modelling and simulation optimization of geothermal reservoirs using the TOUGH2 family of codes. PhD thesis, University of Bologna, Italy.
- Viana, M., Jouannin, P., Pontier, C., Chulia, D. (2002). About pycnometric density measurements. Talanta 57, 583-93.

IN MEMORIA

RICORDO DI VINCENZO BUCHIGNANI

Il carissimo amico e collega **Vincenzo Buchignani** ci ha lasciato improvvisamente il 29 maggio scorso dopo una battaglia con la malattia lunga e durissima che solo lui, con il suo spirito, la sua tenacia ed il suo coraggio, ha saputo affrontare sempre sereno per così tanto tempo.

Lo conoscevo dai tempi del liceo e poi all'Università di Pisa, dove preparai con lui la tesi e, subito dopo la laurea, ci ritrovammo a lavorare insieme presso lo stesso studio. La sua ironia, le sue imitazioni (famosa quella di Fantozzi!), le sue continue battute hanno segnato quei bellissimi primi anni di professione e mi hanno poi sempre accompagnato: ricordo ancora quando pensoso ed affacciato alla finestra esclamò fissando il cielo (era il 22 giugno...): "Certo come allungano le giornate.....".

Le nostre strade si sono presto divise e Vincenzo si è affermato come uno dei professionisti più preparati e seri, un esperto a livello nazionale per le "sinkholes": la sua simpatia e la sua competenza gli hanno permesso di avvicinare personalità del mondo scientifico di altissimo livello, la cui conoscenza si è presto trasformata in amicizia.

Ma il nostro rapporto, come collega e soprattutto come amico, non si è mai interrotto: ci accomunava infatti anche la passione per la Juventus, che per Vincenzo era seconda solo a quella per il basket, condivisa con la moglie, la campionessa Lidia Gorlin.

Ciao Vincenzo, mancheranno tantissimo a tutti i tuoi amici e colleghi, alle giocatrici e giocatori di basket e ovviamente alla tua famiglia cui vanno le più sentite condoglianze mie e di tutto il Consiglio dell'Ordine, la tua forza, l'ironia e, non ultima, la tua immancabile critica delle istituzioni, della politica, del malgoverno, della scorrettezza di molti, che ha sempre contraddistinto i nostri frequenti colloqui.

Non sei riuscito a realizzare il tuo sogno di raggiungere in vita tuo figlio a Tenerife, ma sono sicuro che adesso sei là con lui.

Pietro Barsanti



TECNA Srl

CQOP SOA
CONTRATTI QUANTIFICATI OPERE PUBBLICHE
OS 21 : II OS 20-B : I
Attestazione : 57954 / 10 / 00



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 CPTE

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

Pozzi per acqua

Prove permeabilità Lefranc

Prove permeabilità Lugeon

Prelievo campioni indisturbati

Installazione tubi inclinometrici

Installazione tubi per down-hole

ANISIG
Associazione Nazionale
Imprese Specializzate
in Indagini Geognostiche

TECNA



Iscritti all'ELENCO SPECIALE

A seguito delle sollecitazioni pervenuteci in merito alle funzioni e ai doveri degli iscritti all'Elenco Speciale si riporta il punto dell'attuale situazione normativa e regolamentare.

La professione di geologo rientra nel novero delle così dette "attività protette" ai sensi dell'art. 2229 del Codice Civile; per l'esercizio di tale professione è necessaria l'iscrizione all'Albo Professionale ed il rispetto di norme deontologiche emanate dal Consiglio Nazionale e sulla cui applicazione vigila l'Ordine Regionale; la tutela della professione di Geologo è disciplinata dalla legge 3.02.1963, n° 112 e s.m.i., con la quale è stato istituito l'Albo Professionale (AP) e l'Elenco Speciale (ES), inizialmente su base nazionale ed a seguito del decentramento di cui alla legge 12.11.1990, n° 339 su base regionale.

La **Legge 112/1963** dispone che l'esercizio della libera professione è riservato agli iscritti all'AP; mentre i dipendenti pubblici in possesso dell'abilitazione all'esercizio della professione (cioè che hanno superato l'Esame di Stato), ma che non esercitano l'attività professionale, possono iscriversi all'ES.

AGLI ISCRITTI ALL'ES È FATTO DIVIETO DI SVOLGERE ATTIVITÀ PROFESSIONALE PER CLIENTI PUBBLICI E PRIVATI.

Per tale motivo agli iscritti all'ES possono essere concesse agevolazioni sulle quote di iscrizione (sia dal Consiglio Nazionale che dall'Ordine Regionale), deroghe all'Aggiornamento Professionale Continuo (APC) e non risulta per loro obbligatoria l'iscrizione all'Ente Previdenziale di categoria (EPAP).

Resta in capo agli iscritti all'ES, nell'esercizio dell'attività professionale, anche se resa nell'ambito del rapporto di lavoro dipendente, il rispetto dei principi e delle norme deontologiche di cui al relativo Codice.

Il **dipendente pubblico** che intende svolgere anche attività professionale, prima di iscriversi all'AP **deve ottenere dall'Ente di appartenenza una specifica autorizzazione che attesti la compatibilità tra l'attività di dipendente e l'attività professionale** (D.P.R. 18.11.1965, n° 1403); l'autorizzazione deve essere allegata alla domanda di iscrizione. Una volta iscritto all'AP, il dipendente pubblico è tenuto a rispettare tutti gli obblighi professionali, dal pagamento della quota di iscrizione all'AP, all'iscrizione all'Ente Previdenziale di categoria EPAP, al raggiungimento degli obiettivi APC.

Il dipendente pubblico a tempo pieno oppure a tempo parziale ma superiore al 50% (figure equivalenti per questi aspetti) deve dare comunicazione all'Ordine Regionale di riferimento di ogni singolo incarico professionale ricevuto (**Delibera CNG 248/2006 e Delibera CNG 65/2010**).

Il dipendente pubblico che ha ottenuto una autorizzazione per il singolo lavoro professionale ha l'obbligo di trasferirsi nuovamente all'ES una volta espletato l'incarico. Per il dipendente pubblico che ha ottenuto una autorizzazione a tempo indeterminato questa opzione è facoltativa. In entrambi i casi è possibile dichiarare l'avvenuta cessazione dell'attività professionale (con autocertificazione secondo D.P.R. 28.12.2000, n° 445) al fine di ottenere le deroghe previste sugli obblighi derivanti dall'iscrizione all'AP.

Il dipendente pubblico che svolge l'attività professionale esclusivamente per l'Amministrazione di appartenenza può anche non essere iscritto all'Albo e/o all'Elenco Speciale, ma deve essere abilitato all'esercizio della professione in osservanza di quanto disposto dal comma 3 dell'art. 24 del D. Lgs. 18.04.2016, n° 50 e s.m.i.

Ne consegue che i geologi pubblici dipendenti che sottoscrivono le relazioni geologiche o compiono altri atti

professionali nell'ambito della progettazione per l'Amministrazione di appartenenza possono firmare gli elaborati indicando "Nome e Cognome, abilitato all'esercizio della professione di Geologo in data ... presso l'Università di ...".

L'art. 24 c. 3 del DLgs 50/2016 (Codice Appalti) norma che "i progetti redatti dai soggetti di cui al comma 1, lettere a), b) e c), **sono firmati da dipendenti delle amministrazioni abilitati all'esercizio della professione.** I pubblici dipendenti che abbiano un rapporto di lavoro a tempo parziale non possono espletare, nell'ambito territoriale dell'ufficio di appartenenza, incarichi professionali per conto di pubbliche amministrazioni di cui all'articolo 1, comma 2, del decreto legislativo 30 marzo 2001, n. 165, e successive modificazioni, se non conseguenti ai rapporti d'impiego". Quindi per il legislatore il progettista pubblico è solo abilitato, non iscritto (e su tale questione ha molto inciso la sentenza del Consiglio di Stato del 2014 che obbliga le Amministrazioni pubbliche a pagare l'iscrizione professionale ai propri dipendenti).

Pertanto, l'iscrizione all'ES è obbligatoria per quei colleghi che svolgono funzione pubblica "assimilabile" alla libera professione ma non relativa alla progettazione e DL dei LLPP (pianificazione, Protezione Civile, bonifiche ambientali, ecc.)

La consulenza tecnica di parte (CTP), così come la consulenza tecnica d'ufficio (CTU), quando svolta in modo continuativo, è da considerarsi a tutti gli effetti

attività professionale e, quindi, **non può essere svolta da un iscritto all'ES**, che pertanto non può nemmeno essere iscritto nell'elenco dei consulenti o periti del Tribunale. In casi residuali ed eccezionali il giudice può comunque conferire l'incarico di una CTU ad un soggetto non iscritto all'AP di comprovata esperienza nella materia oggetto di causa, comprendendo in questa categoria anche i dipendenti pubblici iscritti ES.

Le relazioni geologiche e geotecniche fornite alla committenza attraverso imprese o società di servizi, fatto salvo il rispetto dell'art. 31 comma 8 del D. Lgs. 18.04.2016, n° 50 e s.m.i. in materia di divieto di subappalto delle relazioni geologiche, deve sempre essere firmata da un geologo iscritto all'AP; se tale **geologo agisce in qualità di dipendente della società** e, quindi, percepisce un stipendio, **verserà la quota contributiva all'INPS**, mentre se **agisce in qualità di consulente** dovrà emettere fattura per prestazione professionale alla società che fornisce il servizio e **versare la quota contributiva all'EPAP**.

Infine, si ricorda che tutti gli iscritti, indipendentemente dall'elenco in cui sono inseriti (AP od ES), **devono rispettare e far rispettare le norme del Codice Deontologico** (Delibera CNG 29/2019). L'inosservanza delle norme di carattere deontologico comporta responsabilità di ordine disciplinare, salvo ogni altro rilievo di diversa responsabilità.

Mappo
Geognostica

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





Ordine dei
Geologi della Toscana



ANNO XXXII
n. 115
SETTEMBRE 2021

Periodico d'informazione
dell'Ordine dei Geologi della Toscana

Direttore Responsabile

Riccardo Martelli

Coordinamento editoriale

Alessandro Danesi

Consiglio dell'Ordine

Barsanti Pietro, Brugioni Marcello, Ceccarelli Francesco,
Danesi Alessandro, Frosini Simone, Livi Elisa, Mannori Gaddo,
Martelli Riccardo, Parenti Iacopo, Romani Stefano,
Salvatori Monica

Commissione scientifica

Massimo Baglione, Gianluca Cornamusini, Lorella Francalanci,
Roberto Gianneccchini, Brunella Raco, Simone Sartini,
Enrico Tavarnelli

Comitato di redazione

Giancarlo Lari, Guido Lavorini, Andrea Martini,
Donato Merola, Maria Chiara Piccardi, Massimo Della Schiava,
Luciano Sergiampietri,

Editore

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

Direzione e redazione centrale

Via Vittorio Fossombroni, 11 – 50136 Firenze
Tel. 055 2340878 – fax 055 2269589
email: il_geologo@geologitoscana.it
www.geologitoscana.it

Pubblicità

Agicom srl
Viale Caduti in Guerra, 28 – 00060 Castelnuovo di Porto (RM)
Tel. 069078285 – fax 069079256
agicom@agicom.it
www.agicom.it

Creatività e Grafica

Agicom srl

Stampa

Spadamedia Srl

Poste italiane Spa – Spedizione in Abbonamento Postale 70% – DCB FI
Autorizzazione Tribunale di Lucca N. 531 del 17/09/90

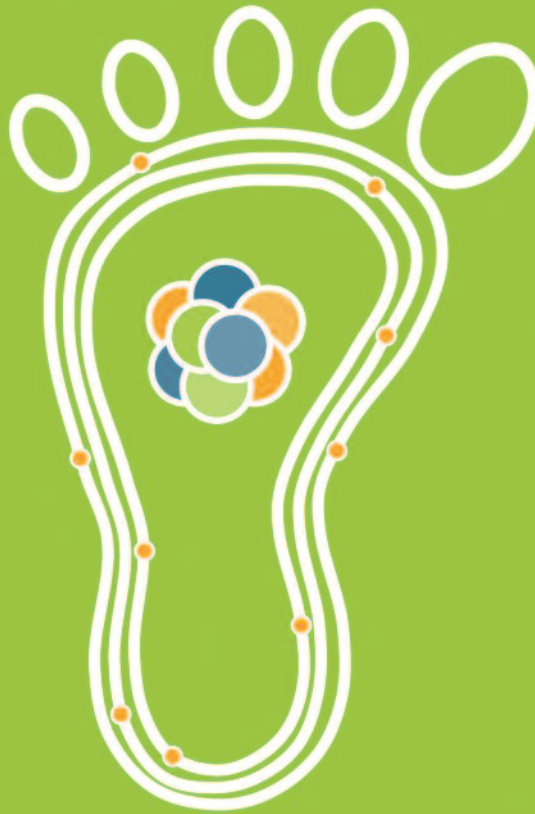
Fatti salvo gli obblighi di legge, la redazione declina ogni responsabilità riguardo ai contenuti degli spazi pubblicitari, che non possono in alcun modo essere considerati rappresentativi, prossimi o indicativi della politica dell'ordine di cui la rivista è organo. Tutte le inserzioni pubblicitarie sono gestite dalla Agicom srl.

È espressamente vietata la riproduzione di testi e foto ai sensi e per gli oggetti dell'art. 65 della legge n. 633-22.4.1941.

CAVA DI MARMO
CARRARA
Foto di R. Ferrari

115
IL GEOLOGO





Mass Spectrometry

IsoFootprint

Apriamo la strada alla sostenibilità delle analisi isotopiche

Ora più che mai dobbiamo assumerci la responsabilità delle nostre azioni. Visto che i livelli globali di CO₂ atmosferica continuano ad aumentare, e' necessario cercare di portare avanti azioni volte alla riduzione e rimozione della CO₂ dall'atmosfera. E' per questo che da oggi il team di spettrometria di massa inorganica produrrà strumenti a zero emissioni nette.

Il primo passo in questa direzione sarà il nostro impegno nella rimozione di tutta l'anidride carbonica associata ai nostri nuovi prodotti (dall'estrazione delle materie prime fino al montaggio e al trasporto) mediante investimenti in progetti di rimozione dell'anidride carbonica durevoli e sostenibili a livello globale.

Unisciti a noi nel viaggio verso l'analisi isotopica sostenibile.

Gia' ad emissioni neutre



Thermo Scientific™ Neoma™ MC-ICP-MS



Thermo Scientific™ DELTA Q™ IRMS

Scopri di più su thermofisher.com/IsoFootprint

Oppure contattaci: isotopeanalysis-italy@thermofisher.com