



▶  
**DEFORMAZIONE  
DI TAGLIO  
IN SEZIONE SOTTILE**

Foto di V. Lorenzoni

**LA CARTA  
GEOLOGICA  
DEL VULCANO  
MONTE AMIATA**

▼  
Inserito Speciale a Pagina 17



**ogt**  
ORDINE del  
GEOLOGI della  
TOSCANA

NUMERO 125

# IL GEOLOGO

PERIODICO UFFICIALE

# Geognostica Medicea

## indagini geologiche e ambientali

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

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



**GEOGNOSTICA  
MEDICEA**

Sondaggi

Prove penetrometriche

Geofisica

Iniezioni in falda

Misure inclinometriche

Bonifiche e monitoraggio ambientale

**Geognostica Medicea**

Via del Botteghino 103

50018 – Scandicci (FI)

Daniele +39 349 6684494

Lorenzo +39 328 4896574

Email: [info@geognosticamedicea.it](mailto:info@geognosticamedicea.it)

# Sismica

## attiva e passiva



### Sismografo Geode



È ancora il riferimento più alto per la sismica professionale. Per microzonazione, riflessione, rifrazione, downhole...

Foto: Progeo-Forli

### Sensori e acquisitori sismici



Gli strumenti Nanometrics sono i più performanti al mondo. Solo per chi vuole dati di altissima qualità e affidabilità.

### Sismografo wireless Atom



Ultra compatto, leggero, passivo, senza cavi sismici! Il sismografo a 3 canali per Vs a profondità di oltre 1 km.



*Seleziona il link!*



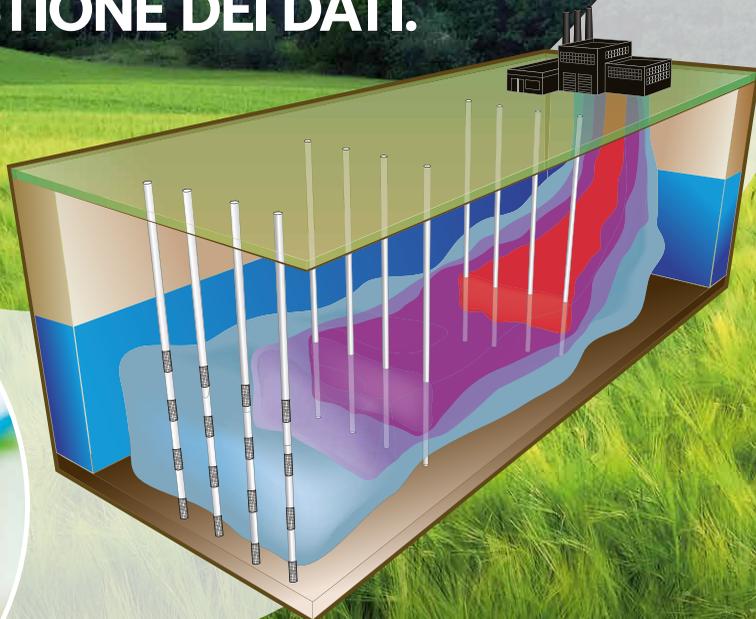
## CODEVINTEC

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

tel. +39 02 4830.2175 | [info@codevintec.it](mailto:info@codevintec.it) | [www.codevintec.it](http://www.codevintec.it)

GESTIONE  
INTEGRATA DATI

# DALLA CARATTERIZZAZIONE AL MONITORAGGIO: L'IMPORTANZA DELLA GESTIONE DEI DATI.



Ad una raccolta efficace dei dati sulla qualità delle acque, deve seguire una loro gestione semplice, accurata e tempestiva per poter fornire in tempo reale gli elementi necessari a decisioni predittive. EgeoLab mette a disposizione dei clienti una piattaforma in grado di dialogare con la maggior parte dei sensori ambientali presenti sul mercato, di aggregarne i dati e di renderli fruibili in maniera semplice e immediata da qualsiasi device.

Da sempre impegnati nell'offrire le soluzioni tecnologiche più avanzate e affidabili per misure e monitoraggio di livello, campionamenti low-flow e indisturbati, analisi qualitative delle acque sotterranee o di superficie. Abbiamo selezionato i migliori prodotti disponibili sul mercato internazionale per soddisfare le esigenze dei professionisti del settore.



MISURE DI LIVELLO



DATALOGGER  
E TELEMETRIE



CAMPIONAMENTO  
LOW-FLOW



PROFILAZIONE  
MULTILIVELLO

## Solinst®

DISTRIBUTORI UFFICIALI PER L'ITALIA E RIVENDITORI PER CROAZIA,  
SLOVENIA E SVIZZERA DEI PRODOTTI SOLINST®

**Una partnership di successo che dura da oltre trent'anni.**

 **EGEO** +lab

[WWW.EGEO.LAB.IT](http://WWW.EGEO.LAB.IT)

GRUPPO EGEO S.R.L. | VIA OVIDIO, 11 - 20026 NOVATE MILANESE (MI) | TEL. +39 02 36 577 830 | EMAIL: EGEO@EGEO.LAB.IT

# N. 125

## SOMMARIO



GHIAIA POLIGENICA (32 - 36 M)



INCLUSI MAGMATICI NELLE LAVE DEL MONTE AMIATA

### 07 EDITORIALE

MARCELLO BRUGIONI  
Presidente dell'Ordine dei Geologi  
della Toscana

### 08 EDITORIALE

RICCARDO MARTELLI  
Presidente uscente dell'Ordine dei  
Geologi della Toscana

### 09 IN MEMORIA DI

In ricordo del  
Prof. Mario Boccaletti

### 10 SCIENZE E RICERCA

#### 🕒 PARTE PRIMA

Perforazione e completamento di un  
pozzo per acqua, ubicato mediante  
metodologia sismoelettrica, in  
località San Martino Ulmiano  
(Comune di San Giuliano Terme - PI)

### 17 INSERTO SPECIALE

La carta geologica del vulcano  
Monte Amiata (Pleistocene medio,  
Toscana meridionale)

### 29 SCIENZE E RICERCA

#### 🕒 PARTE SECONDA

Perforazione e completamento di un  
pozzo per acqua, ubicato mediante  
metodologia sismoelettrica, in  
località San Martino Ulmiano  
(Comune di San Giuliano Terme - PI)

# DATALOGGER LEVELINE

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

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

## Caratteristiche formidabili:

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

**Sempre in pronta consegna!**



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



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



**ogt**  
ORDINE del  
GEOLOGI della  
TOSCANA

**EDITORIALE**

# IL PUNTO

**MARCELLO BRUGIONI**

PRESIDENTE DELL'ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA



**N**on è facile scrivere il primo editoriale... il rischio di dire cose scontate è assai elevato e per certi aspetti, ahimè, quasi inevitabile, ...comunque ci provo e siate comprensivi! Fino a cinque mesi fa non mi passava neanche per l'anticamera del cervello di fare parte di nuovo del Consiglio regionale e tanto meno di fare il Presidente, la mia aspirazione era quella di dedicarmi ai miei hobby (che per mia disgrazia sono tanti...) e fare qualche consulenza, ma proprio se capitava. Poi invece tutto si è ribaltato. La posta messa in gioco da coloro che mi hanno chiesto la disponibilità era ed è importante: cercare di riunire i geologi della Toscana intorno ad un Consiglio e ad una presidenza che siano espressione del pensiero di tutti, o che

almeno possa e cerchi di rappresentare tutti. Non nego che la cosa mi abbia assai lusingato e, anche se con più di qualche pensiero, ho accettato. Molti di voi diranno "certo vi piace vincere facile...!" ed in effetti è stato così: la nostra era l'unica lista presente! Tuttavia anche questo è un segnale che può essere letto in più modi. Il primo, più realista e disincantato, è che tanto un nome vale l'altro ed è inutile stare ad impegnarsi per qualcosa che in fondo può avere, almeno per alcuni, un valore relativo. Il secondo, più ottimistico, è che i nomi indicati piacevano, che il programma era condivisibile, che il fatto che varie correnti di pensiero si fossero riunite e viaggiassero insieme era una cosa positiva e quindi ben venga la lista unica. Poi ci sono state

le votazioni e più del 60% di noi tutti ha votato questa benedetta lista; ed il 60% è un dato importante, il più alto mai registrato ed il terzo in Italia come numero di votanti. È vero che ci sono state diverse schede bianche e su queste dovremo lavorare, ma è anche vero che una condivisione c'è stata per i nomi e per i contenuti. Noi partiamo da questo e cercheremo di tenere ancora di più la porta aperta (ed il cellulare acceso...) a tutte le vostre richieste, ai vostri solleciti e alle critiche che sicuramente ci saranno. Il mio compito personale sarà quello di rappresentarvi tutti al meglio ed insieme a tutto il Consiglio ed alla Fondazione cercare di far crescere la nostra professione. Un abbraccio a tutti voi!



### RICCARDO MARTELLI

PRESIDENTE USCENTE DELL'ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA

**S**e non è facile scrivere il primo editoriale, figuratevi l'ultimo...

Non mi metterò a sciorinare tutto il lavoro portato a compimento negli ultimi otto anni, quello potrà essere l'oggetto di una relazione di fine mandato, che decideremo con l'attuale Consiglio se e quando proporre. Quello di oggi è un saluto, un arrivederci, con una veloce analisi dei tempi che viviamo e delle prospettive che si aprono.

Sono stati otto anni nei quali è cambiato molto, grazie al lavoro di due Consigli coesi e molto competenti ed alla partecipazione di molti di voi, al supporto che avete dato all'Ordine ogni giorno, alla vostra disponibilità a lavorare per la nostra comunità. Di questo vi sono profondamente grato.

Mi congedo con la serenità di chi ha coordinato un gruppo di lavoratrici e lavoratori che ha saputo spostare

l'asticella un po' più in alto. L'attitudine al dialogo con la politica e con le altre categorie dell'area tecnica, la qualità e la varietà della formazione professionale proposta, l'apertura verso il territorio sono ciò che ha connotato, più di altro, il lavoro svolto in questi otto anni. Il testimone che abbiamo lasciato ad una squadra forte e altrettanto competente è un testimone pesante o leggero, a seconda di come sarà vissuto il lavoro che si apprestano a portare avanti le nuove colleghe e nuovi colleghi del Consiglio dell'Ordine dei Geologi della Toscana, coordinati da un Presidente che saprà fare bene e meglio di quello che ha fatto il sottoscritto.

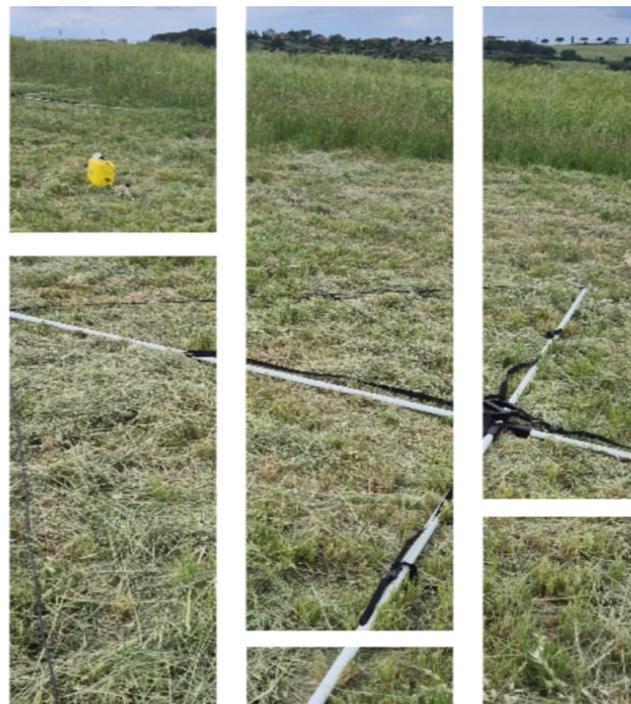
L'avventura che sta partendo è il risultato di un percorso politico molto ambizioso e non facile, che ha portato a rendere unita la Toscana, passaggio necessario nel momento che ci

apprestiamo a vivere, con le lezioni del nuovo Consiglio Nazionale dei Geologi e della nostra cassa previdenziale. È fondamentale, come lo è stato per l'elezione del Consiglio dell'Ordine regionale, che tutte le colleghe e tutti i colleghi diano il loro contributo, affinché il peso della Toscana sia quello che la nostra regione merita.

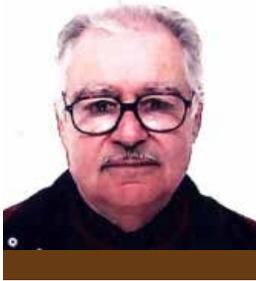
Siamo la terza regione per numero di iscritti e se vogliamo che la nostro Ordine regionale abbia una rappresentanza forte a Roma, allora è necessario che tutti noi esercitiamo compiutamente il nostro diritto di voto alle prossime due tornate elettorali.

Dunque arrivederci, perché voglio rimanere, insieme alle colleghe e colleghi dei precedenti consigli, a disposizione del nostro Ordine e della nostra piccola, grande comunità, per far sì che possa continuare a crescere forte.

**SISMO**   
ELETTRICA  
Servizi di analisi geonostica del sottosuolo



# IN RICORDO DEL PROF. MARIO BOCCALETTI



Il Prof. Mario Boccaletti si è laureato nel 1962 in Scienze Geologiche a Firenze. Successivamente alla tesi di Laurea, come molti altri giovani dell'epoca, fu coinvolto nei rilevamenti della II edizione della Carta Geologica d'Italia e fu poi assunto come borsista al CNR. I primi anni della sua attività furono dedicati a studi stratigrafici sulla Serie Toscana ed in parallelo partecipò a numerosissime missioni all'estero che gli consentirono di sviluppare una visione generale sulla geodinamica dell'area mediterranea che sfociò in una serie di pubblicazioni, tra le prime in Italia, che applicavano le nuove teorie della plate tectonics all'area del Mediterraneo Centrale e all'Est europeo. Nel 1980 Mario Boccaletti diventò Professore Ordinario e iniziò ad introdurre nuove tecniche di lavoro della geologia strutturale nel campo della tettonica fragile e duttile, nonché su altri fronti come l'elaborazione di carte paleogeografiche dell'area peritirrenica nell'ambito di un gruppo di lavoro che coinvolgeva ricercatori di tutte le università italiane. Iniziarono anche studi strutturali in Marocco, in Spagna, in Tunisia, ovvero nel Mediterraneo occidentale, area meno studiata in precedenza. Nell'ambito della Cooperazione per lo Sviluppo del Ministero degli Affari

Esteri insegnò per vari semestri in Somalia e in Etiopia, iniziando a studiare il settore dei Rift africani, filone di ricerca tuttora portato avanti dai suoi allievi. A testimonianza della sua vivacità e curiosità scientifica, negli anni Novanta introdusse i suoi giovani collaboratori in settori allora innovativi quali la tettonica attiva e la modellizzazione analogica sperimentale, filoni di ricerca ancora sviluppati.

Dal punto di vista dell'attività didattica il corso di Geologia strutturale, da lui tenuto fin dagli anni Settanta a Firenze, è stato uno dei primi in Italia. Inoltre, nei primi anni Novanta creò un consorzio tra varie Università italiane per un dottorato in Geologia Strutturale, al quale fu collegata una Advanced School in Structural Geology internazionale, tenuta a Trieste, alla quale hanno insegnato i maggiori esperti al mondo dei vari settori della geologia strutturale e partecipato studenti italiani e stranieri.

Da questa breve sintesi si evince come Mario Boccaletti abbia perseguito interessi scientifici in vari ambiti della geologia strutturale con una particolare attenzione sia all'evoluzione delle conoscenze di base sia alle più recenti ed innovative metodologie di lavoro.

# PERFORAZIONE E COMPLETAMENTO DI UN POZZO PER ACQUA, UBICATO MEDIANTE METODOLOGIA SISMOELETTTRICA, IN LOCALITÀ SAN MARTINO ULMIANO

(COMUNE DI SAN GIULIANO TERME - PI)

A CURA DI LUCIANO SERGIAMPIETRI

▶ PARTE PRIMA

## 1. Premessa

Nei mesi di maggio e giugno 2024 è stato realizzato un pozzo per acqua, ad uso mantenimento a verde di una vasta area sportiva. L'ubicazione del punto di perforazione è stata preceduta da una valutazione del contesto geologico ed idrogeologico mediante analisi della letteratura scientifica relativa al sito d'indagine e dalla esecuzione di una indagine geofisica (metodo sismo elettrico).

L'area di studio si colloca nella porzione centro-settentrionale della Pianura di Pisa, in riva sinistra del Fiume Serchio, in località San Martino Ulmiano, amministrativamente compresa nel comune di San Giuliano Terme (Fig. 1). L'area, adibita ad attività sportiva dilettantistica (ippica), è disposta secondo un asse NE - SW di circa 1,3 Km ed ha una estensione totale di circa 36 Ha.

Le quote del terreno degradano blandamente dai 3,5 m s.l.m. all'estremità NE ai 2,2 m SLM all'estremità SW.

La porzione centrale dell'area dista circa 9,7 Km dalla linea di costa, 3,2 Km dal piede del Monte Pisano e circa 1,4 Km dall'argine sinistro del Fiume Serchio.



FIGURA 1

Inquadramento geografico dell'area.

## 2. Inquadramento geologico ed idrogeologico

Da un punto di vista geologico, l'area ricade all'interno della struttura denominata "Pianura di Pisa"; La Pianura di Pisa è delimitata a Nord dalla pianura costiera versiliana, dal Monte Pisano e, a Sud, dalle Colline Pisane e livornesi.

La pianura ha una forma triangolare con una pendenza media molto bassa, (circa lo 0,05%) ed è attraversata dai Fiumi Arno e Serchio (Fig. 2).

La dinamica di questi due sistemi fluviali con i loro apporti sedimentari è responsabile delle varie fasi di costruzione, durante gli ultimi 4000 anni, della pianura di Pisa sino alla sua conformazione attuale.

Da un punto di vista geodinamico la pianura di Pisa costituisce la parte sommitale dei depositi di riempimento di un sistema di depressioni tettoniche formatesi lungo il margine tirrenico della catena appenninica a partire dal Tortoniano superiore (4,8 MA), in relazione all'apertura del Mar Tirreno

e alla contemporanea migrazione antioraria del sistema catena - avanfossa - avampaese.

In particolare la Pianura di Pisa costituisce la porzione meridionale del bacino estensionale di Viareggio che si sviluppa, con orientamento Nordovest-Sudest, per una lunghezza approssimativa di 80 Km ed una larghezza di circa 40 Km. Tale depressione tettonica può essere suddivisa in due porzioni, una inshore ed una offshore.

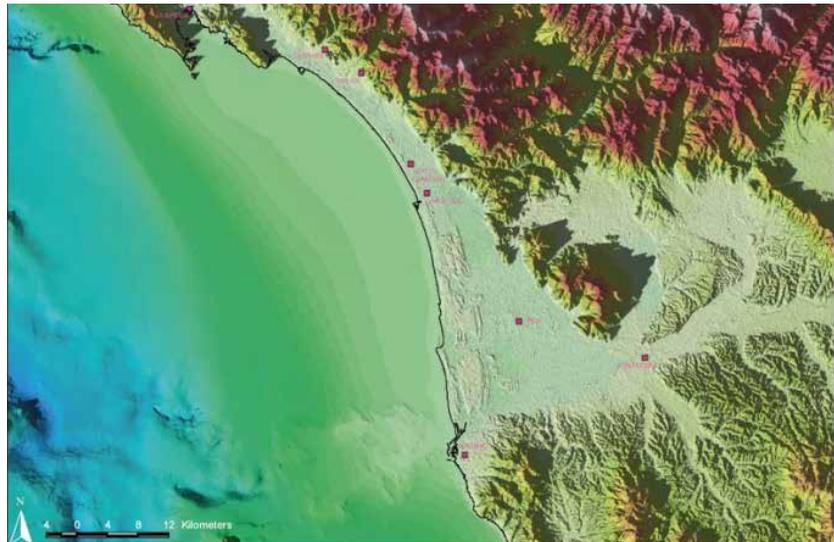
La prima, costituita dalle pianure costiere di Pisa e di Viareggio, è delimitata a Nordest dal monte Pisano, dai monti d'oltre Serchio e dalle Alpi Apuane, costituiti da depositi pre-neogenici e a Sud dai depositi neogenici delle Colline Pisane e livornesi.

La porzione offshore è invece delimitata a Sudovest dalle secche della Meloria e di Maestra. Questa suddivisione è coerente con i profili sismici eseguiti a mare che evidenziano una struttura caratteristica ad horst e graben, allungata in senso appenninico.

Dall'interpretazione di questi dati risulta evidente il persistere di processi deposizionali nel bacino dell'Arno anche durante quelle fasi di uplift generalizzato che interessano gran parte della Toscana marittima tra il Pliocene superiore ed il Pleistocene medio, generando vari hiatus deposizionali, come ad esempio l'assenza di depositi riferibili al Pliocene superiore.

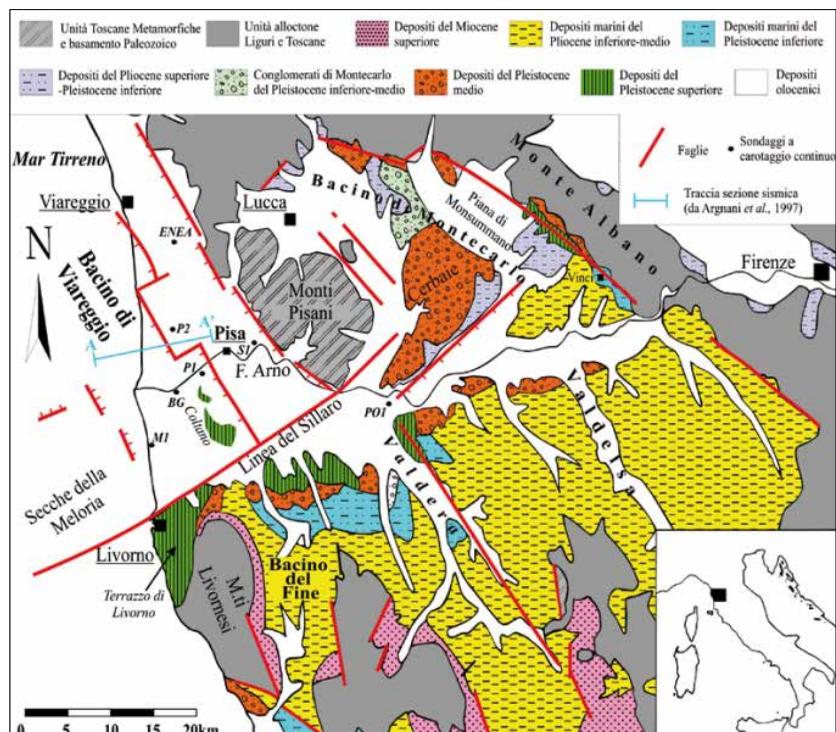
Uno svincolo tettonico di ordine maggiore, noto in letteratura come "linea del Sillaro" o "Meloria - Bientina line" si sviluppa lungo il bordo meridionale della Pianura di Pisa e prosegue a mare bordando le secche della Meloria, dividendo l'area subsidente di pianura da una zona collinare (colline livornesi) caratterizzata invece da fenomeni di uplift.

In generale la tendenza della linea di costa ad avanzare o arretrare è collegata ad alcuni importanti fattori di controllo di ordine maggiore, quali la tettonica, l'eustatismo e l'apporto sedimentario.



**FIGURA 2**

L'area nel contesto della Pianura di Pisa.



**FIGURA 3**

Ubicazione dell'area d'indagine nello schema geologico della Pianura di Pisa (da G. Sartì).

La sommatoria tra tasso di variazione tettonica e tasso di variazione eustatica determina la variazione

relativa del livello marino, positiva, negativa o nulla, che caratterizza ogni determinata area.

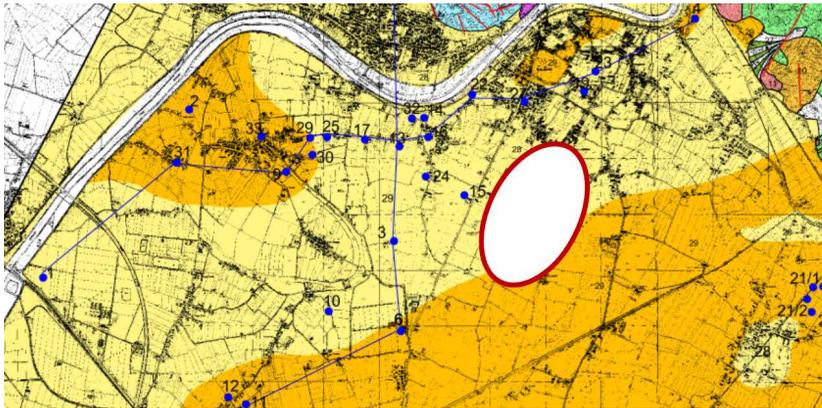


FIGURA 4

Stralcio della carta geologica del settore sangiulianese della Pianura di Pisa (da L. Sergiampietri -2005).

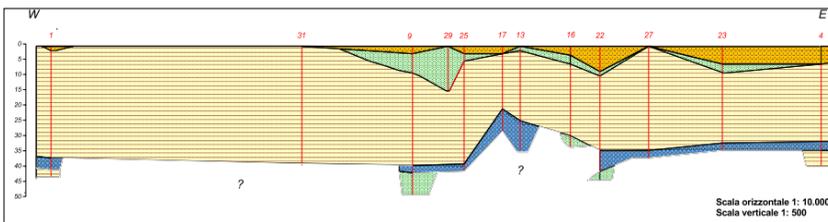


FIGURA 5

Sezione geologica schematica con andamento sub-parallelo al corso del Fiume Serchio.

## 2.1 - Cenni di idrogeologia dell'area

Lo stralcio di cartografia geologica e le sezioni sono tratti da un'indagine idrogeologica condotta dall'autore per il reperimento di nuove fonti di approvvigionamento idrico nell'area dei Monti d'oltre Serchio e margine occidentale del Monte Pisano (Acque Ingegneria - 2005).

**Acquifero freatico** - l'acquifero freatico è sicuramente presente nella valle del Serchio a Sud di Ripafratta ed è abbondantemente alimentato dal subalveo del fiume. I pozzi della centrale acquedottistica di Filettole (in destra del Serchio) mostrano un'alternanza di terreni che comprendono anche lenti argillose, ma non raggiungono il substrato.

Informazioni più significative si hanno invece nel tratto di pianura a sud dei Monti d'Oltre Serchio, dove una sezione geologica ricostruita in base a numerose perforazioni, permette di distinguere un ben definito orizzonte freatico, dello spessore di circa 10-12 m, a scarsa permeabilità, poggiante su un continuo orizzonte argilloso.

Tale acquifero freatico, che rivestiva in passato un notevole interesse per le colture agricole della zona, e tuttora può essere localmente sfruttato in corrispondenza dei paleomeandri del Serchio, non riveste alcuna importanza strategica ai fini acquedottistici.

L'alimentazione dell'acquifero freatico è sicuramente garantita, almeno in parte, dalla diretta infiltrazione delle acque meteoriche, dalla infiltrazioni delle acque provenienti dalle conoidi presenti al piede del Monte Pisano e, in misura cospicua, dalle acque di subalveo del Serchio (soprattutto nella parte alta della valle, in corrispondenza di Ripafratta).

# TECNA Srl

Via Achille Grandi, 51 - 52100 AREZZO - tel 0575 323501, fax 0575 1979797, cell: 335 1020000, e-mail: [tecna@geognostica.it](mailto: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**

**CQOP SOA**  
COSTRUTTORI QUALIFICATI OPERE PUBBLICHE  
OS 21 : II OS 20-B : I  
Attestazione : 65213 / 10 / 00

**IMQ**  
CERTIFIED  
QUALITY MANAGEMENT SYSTEM  
ISO 9001:2015

**MORETTI**

**TECNA®**

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

**Sistema acquifero confinato** - Le sezioni geologiche di fig. 5 e 6 individuano con buona approssimazione lo spessore dell'orizzonte argilloso che separa l'acquifero freatico dai terreni sottostanti nel settore di pianura a Sud dei Monti d'Oltre Serchio.

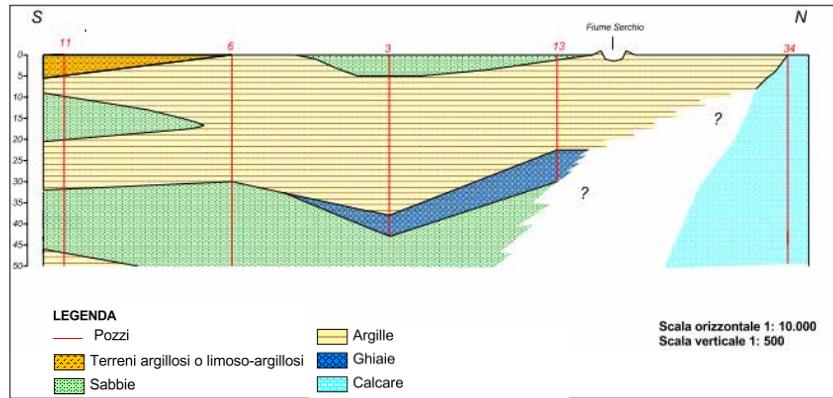
Tale orizzonte argilloso, continuo per tutta la pianura, almeno sino all'inizio del dominio delle dune costiere, ha uno spessore variabile tra i 30 ed i 50 m. Al di sotto di questo orizzonte si apre un dominio di terreni sabbiosi e limosi, sede di un sistema acquifero multistrato confinato, sviluppato per tutta la pianura di Pisa.

Le sezioni geologiche sopra citate e quella illustrata nel POC comunale individuano un orizzonte di ghiaia, non sempre continuo che segna il passaggio dai terreni olocenici al Pleistocene superiore.

La sezione di fig.5 ha un andamento sub-parallelo al tratto del Fiume Serchio che separa i Monti d'Oltre Serchio dalla Pianura. La caratteristica più evidente è la continuità dello strato di argille, con spessore variabile tra 20 e 35 m, che separa i terreni superficiali (sabbiosi o limoargillosi) dal complesso acquifero multifalda sottostante. Al tetto dell'acquifero multi falda si osserva un orizzonte acquifero in ghiaia, che mostra una certa continuità da E fino a circa metà sezione (pozzo 9) e poi ricompare nel pozzo 1 ad una distanza di circa 2 Km, rendendo difficili la correlazioni tra i due orizzonti, che pur si trovano alla stessa profondità, intorno ai 35-40 m dal p.c.

La sezione di fig. 6, con orientamento Nord - Sud, è spinta sino alla profondità di 50 m dal p.c., benché i pozzi n. 11 e n. 6 raggiungano la profondità di 165 -175 m; Tali pozzi attraversano una successione di terreni limo sabbiosi senza intercettare alcun livello di ghiaie.

La caratteristica più evidente, in questa sezione, è rappresentata dalla laminazione laterale del livello di ghiaie, che si sviluppa con uno spessore inferiore ai dieci metri per una lunghezza di oltre 1 Km al di sotto della zona pianeggiante a Sud della



**FIGURA 6**

Sezione geologica schematica con andamento Nord-Sud.

località S. Andrea in Pesciola. Tale livello, confrontando le due sezioni, appare allungato parallelamente alla sponda sinistra del Serchio.

Ai piedi dei Monti d'Oltre Serchio, in località Vecchiano, la copertura alluvionale, ridotta a meno di 5 m di spessore, poggia direttamente sulle rocce calcaree della Falda Toscana non metamorfica. La zona pedemontana meridionale dei Monti d'oltre serchio è sicuramente un'area di ricarica degli acquiferi alluvionali da parte del complesso calcareo, come confermato da dati idrochimici, non pubblicati, in possesso di "Acque ingegneria".

### 3 - Indagine sismoelettrica

(L'indagine geofisica è stata eseguita da SISMOELETTRICA SRL di Firenze)

#### 3.1 - Principio di funzionamento del metodo sismo elettrico

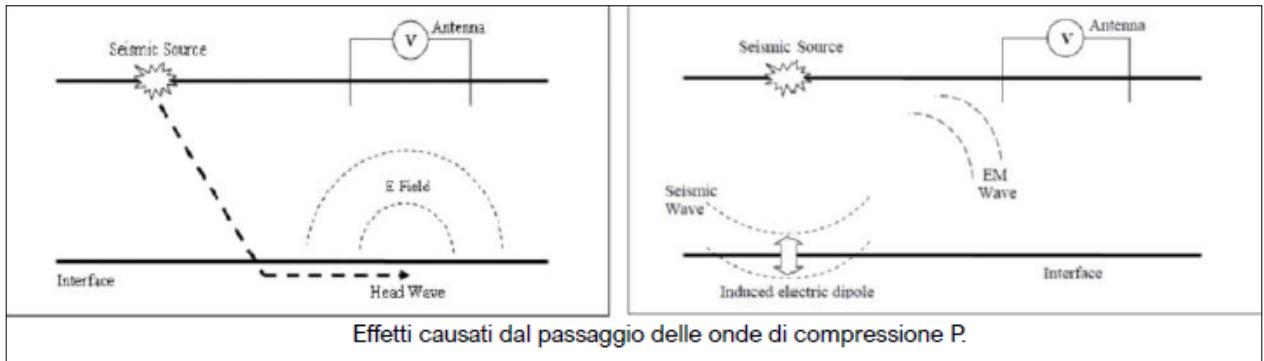
La metodologia sismo elettrica sfrutta il debole campo elettrico creato da un flusso idrico sotterraneo che può essere misurato in superficie con apparecchiature idonee. L'origine di tale campo elettrico può essere spiegata con interazioni di tipo elettrocinetico generatesi per capillarità dal passaggio del flusso idrico sotterraneo attraverso il mezzo incassante (poroso o fessurato).

Altri tipi di potenziale spontaneo sono generati dalla differente mobilità degli ioni contenuti in soluzione, oppure da campi elettrici indotti da depositi minerali [generalmente solfuri].

Un debole campo elettrico può essere a sua volta prodotto artificialmente inducendo nel terreno un'onda di pressione verticale, la quale, raggiungendo l'acquifero, induce un movimento delle molecole d'acqua nel senso di propagazione dell'onda. Il debole campo elettrico così generato, per quanto infinitesimale, può essere misurato in superficie con specifiche strumentazioni geofisiche, atte a misurare differenze di potenziale dell'ordine del millivolt (o meno) e capaci di registrare il segnale geofisico con intervalli di campionamento dell'ordine del decimillesimo di secondo. La strumentazione geofisica è dotata di un sistema di filtraggio del segnale acquisito in grado di eliminare o ridurre fortemente le interferenze causate da eventuali "correnti spurie" nel terreno.

Attraverso questa metodologia è possibile ottenere un diagramma della variazione del campo elettrico in funzione della velocità di propagazione dell'onda di pressione nel sottosuolo.

L'onda di pressione può essere generata con gli stessi metodi generalmente utilizzati nella prospezione sismica, quali esplosivo, cannoncino sismico o massa

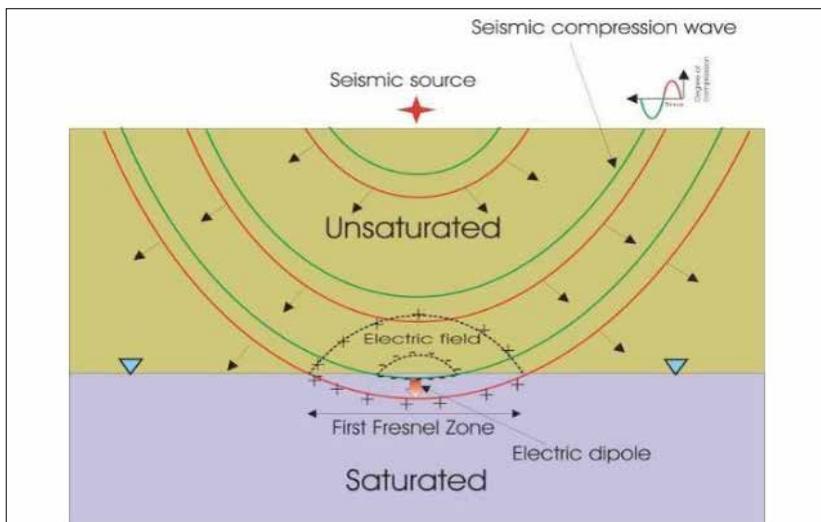


Effetti causati dal passaggio delle onde di compressione P.



### FIGURA 7

Effetti causati dal passaggio delle onde di compressione P.



### FIGURA 8

Effetti causati dal passaggio delle onde di compressione P in mezzi saturi ed insaturi.

battente. Nella presente indagine, al fine di produrre un segnale sismo elettrico più chiaro possibile, si è fatto uso di un "fucile sismico".

In questo report sono considerati due effetti elettrosimici:

Il primo effetto è causato quando l'onda sismica attraversa un'interfaccia tra due orizzonti di terreno. Quando l'onda P sferica attraversa l'interfaccia, crea una separazione di carica dipolo a causa dello squilibrio dello streaming.

Il secondo effetto è causato quando la testa d'onda sismica viaggia lungo l'interfaccia tra due orizzonti di terreno. Questo effetto crea una separazione di carica attraverso l'interfaccia e induce un campo elettrico.

La determinazione della profondità dell'acquifero è legata alla velocità di propagazione delle onde di pressione nel terreno, pertanto, a parità di tempo di registrazione del segnale, maggiore è la velocità con cui il substrato conduce la perturbazione indotta nel sottosuolo, maggiore è la profondità dell'acquifero.

Per la stima delle profondità si è fatto ricorso a tabelle, adattate sulla base delle condizioni note del substrato, pertanto tale stima presenta un certo margine di incertezza che, nel nostro caso, si è dimostrata estremamente ridotta.

L'ampiezza del segnale elettrocinetico è direttamente proporzionale alla porosità dell'acquifero, quindi alla possibile presenza di acqua, e inversamente proporzionale alla profondità.

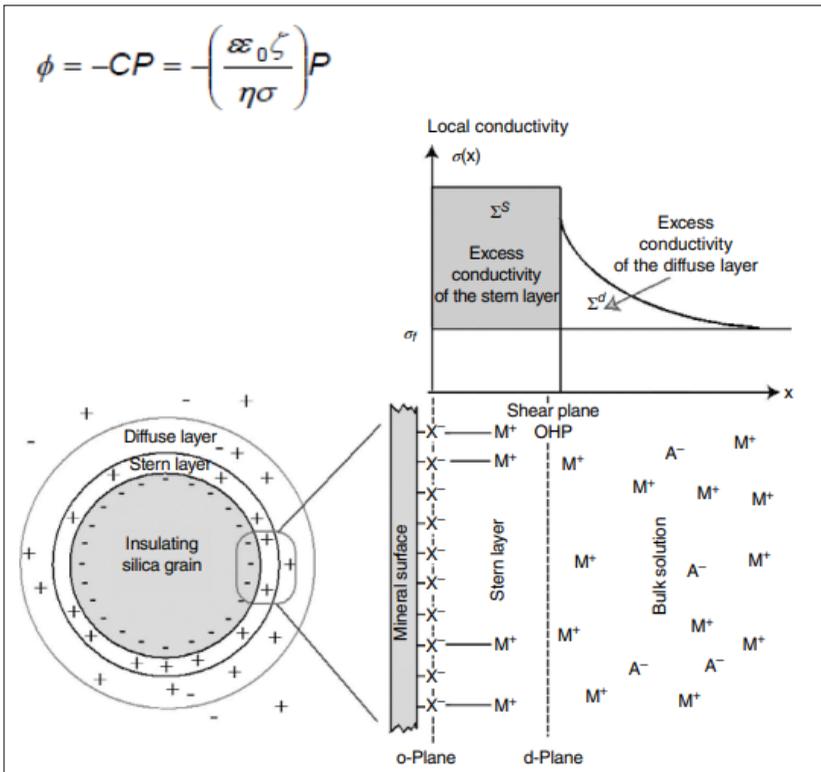
In assenza di un segnale elettrocinetico si ritiene improbabile la presenza di acquifero.

L'effetto elettrosismico può essere osservato quando un'onda P a spostamento rapido interseca l'interfaccia di un livello acquifero saturo avente diverse proprietà elastiche o elettriche.

L'effetto elettrosismico è, in effetti, una forma di energia convertita che viene rilasciata come energia dissipata.

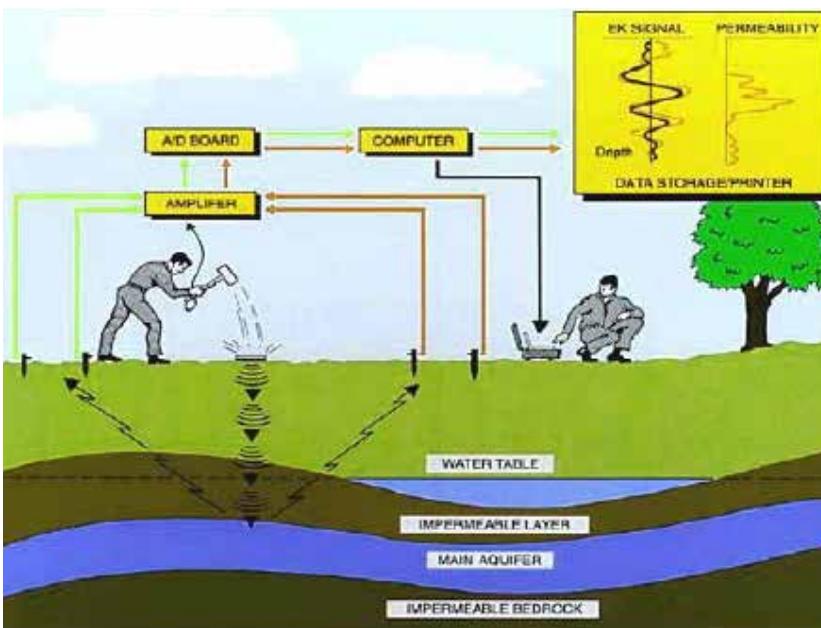
Questa conversione di energia avviene quando un'onda P in rapido movimento produce onde P più lente mentre passa attraverso l'interfaccia. Queste onde P lente producono molto più "movimento" tra la roccia incassante e l'acqua, questo a sua volta porta ad un'elevata perdita di energia sotto forma di calore dovuta ad attrito ed effetti elettrosimici, come ad esempio la radiazione elettromagnetica dovuta al movimento ionico.

I segnali elettrosimici sono prodotti dal movimento di fase tra tutti gli ioni dell'acqua e quelli "attaccati" alla superficie esterna della roccia (fig. 8). Il rapporto tra la pressione applicata P e la risposta del potenziale elettrico per una roccia porosa e generalmente data dalla seguente equazione (Millar & Clarke, 1997):



**FIGURA 9**

Rappresentazione schematica dell'effetto doppio strato elettrico che si forma intorno alla superficie di un granulo in un mezzo poroso (da Grobbee & Revil - 2021).



**FIGURA 10**

Schema dell'esecuzione di un'indagine sismoelettrica.

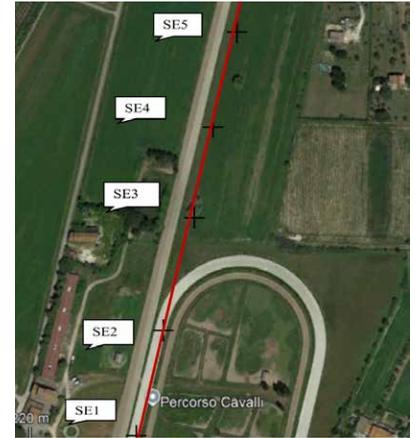
### 3.2 - modalità di esecuzione e risultati

I set di dati elettrosismici mostrano i risultati relativi, dedotti, della conducibilità idraulica elettrosismica per il profilo di ogni sito di prova, utilizzando la strumentazione PL 14 della società PETRO - LOCATE. Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato un algoritmo proprietario della società produttrice della strumentazione e del software, che richiede di assumere come veritieri alcuni parametri fisici dell'acquifero non necessariamente stabili ed omogenei realmente, il che introduce un elemento di incertezza nelle previsioni.

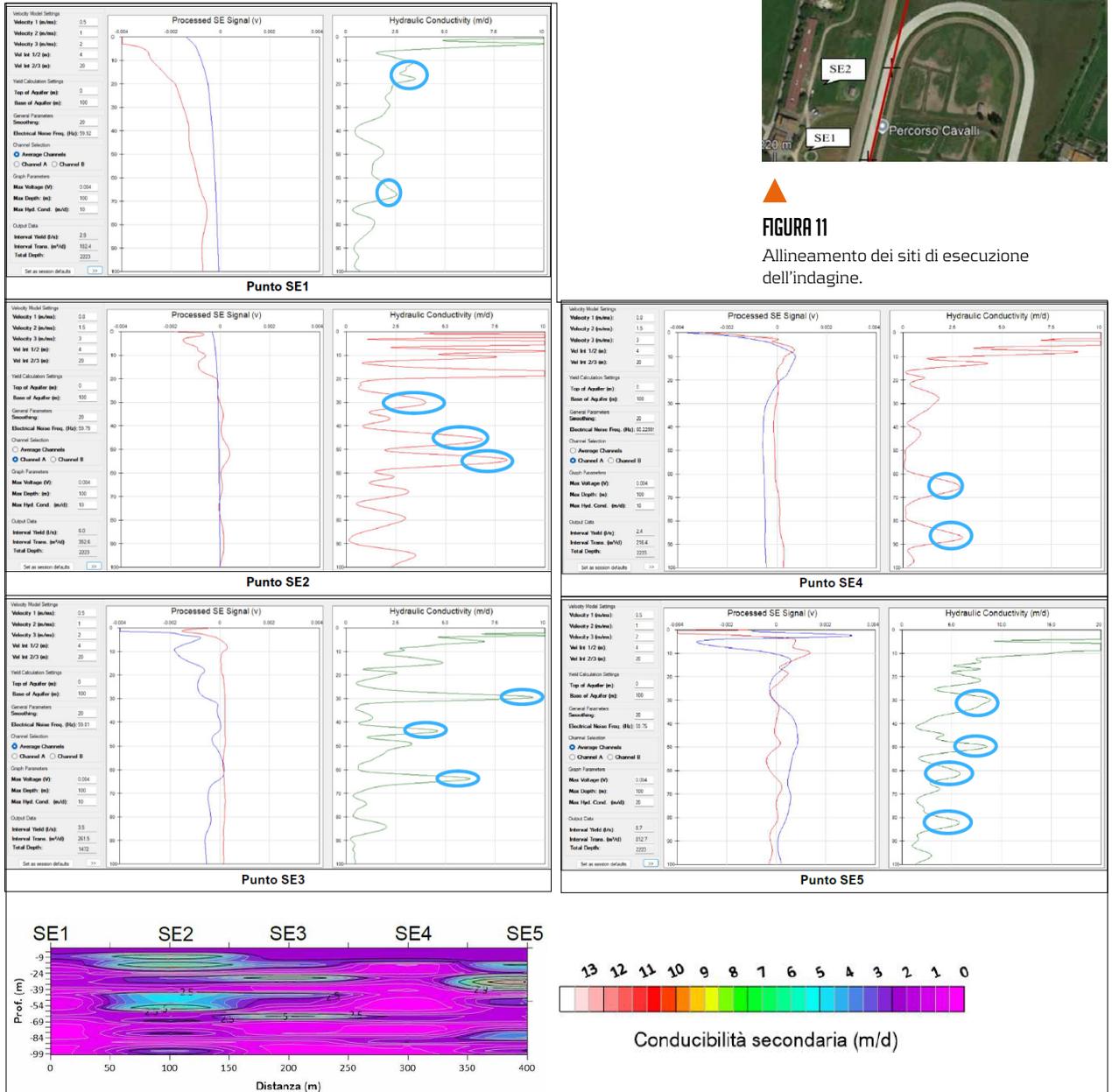
Contestualmente le profondità individuate sono direttamente condizionate dalla precisione del modello di velocità delle onde di compressione  $V_p$ . Dai grafici di conducibilità idraulica 1D si deduce che nel punto SE1 sono

presenti due potenziali livelli acquiferi: -10/-20 m e -60/-70 m; nel punto SE2 sono presenti tre potenziali livelli acquiferi: -25/-35 m, -40/-50 m, -50/-60 m; nel punto SE3 sono previsti tre potenziali livelli acquiferi: -25/-32 m, -40/-47 m, -60/-70 m; nel punto SE4 sono presenti due potenziali livelli acquiferi: -60/-70 m, -80/-90 m; nel punto SE5 sono previsti quattro potenziali livelli acquiferi: -30/-37 m, -48/-55 m, -60/-70 m, -80/-85 m.

Di seguito i grafici della conducibilità idraulica 1D relativi ad ogni sito (fig. 12):



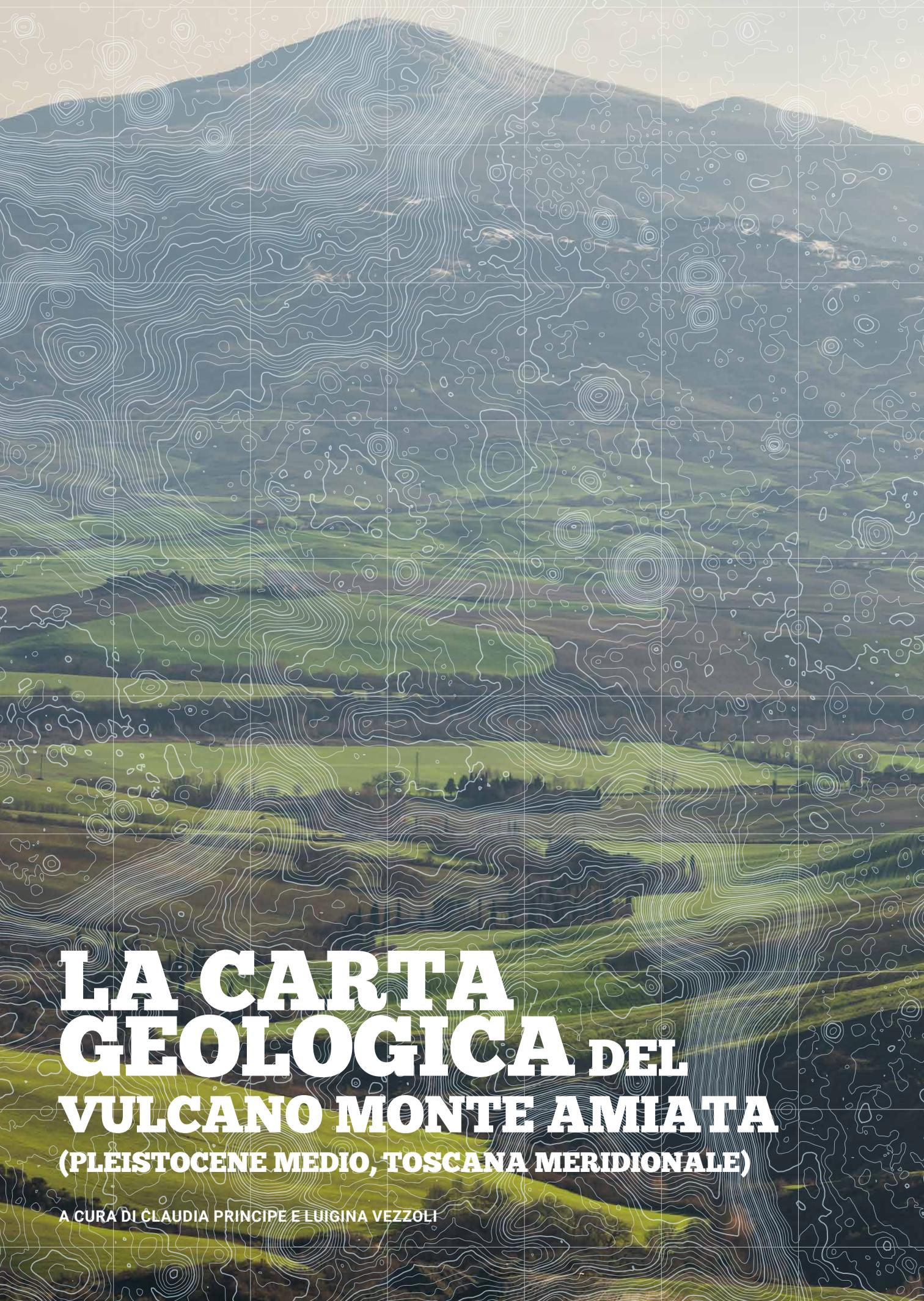
**FIGURA 11**  
Allineamento dei siti di esecuzione dell'indagine.



**FIGURA 12**  
Sezione elettrosismica con indicazione del sito di perforazione.

La sezione elettrosismica realizzata mostra il punto S2 come il più promettente ma, in base a considerazioni logistiche (disponibilità di spazi per la realizzazione degli impianti e posizionamento favorevole relativamente alla realizzazione dell'impianto irriguo) si è preferito posizionare la perforazione in corrispondenza del sito S3.

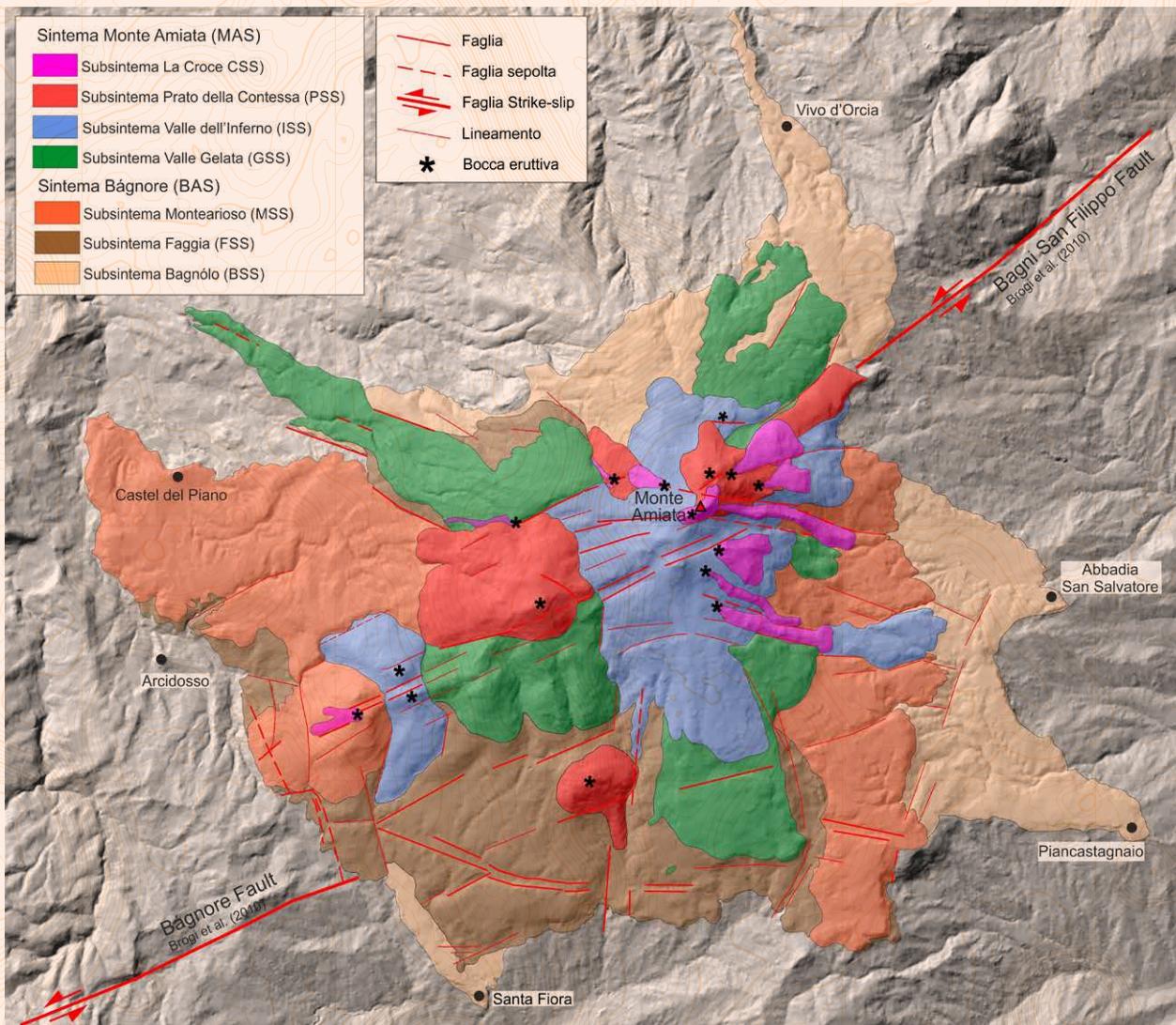
**▶ SEGUE A PAGINA 29**



**LA CARTA  
GEOLOGICA DEL  
VULCANO MONTE AMIATA**  
(PLEISTOCENE MEDIO, TOSCANA MERIDIONALE)

A CURA DI CLAUDIA PRINCIPE E LUIGINA VEZZOLI

# LA CARTA GEOLOGICA DEL VULCANO MONTE AMIATA | INSERTO SPECIALE



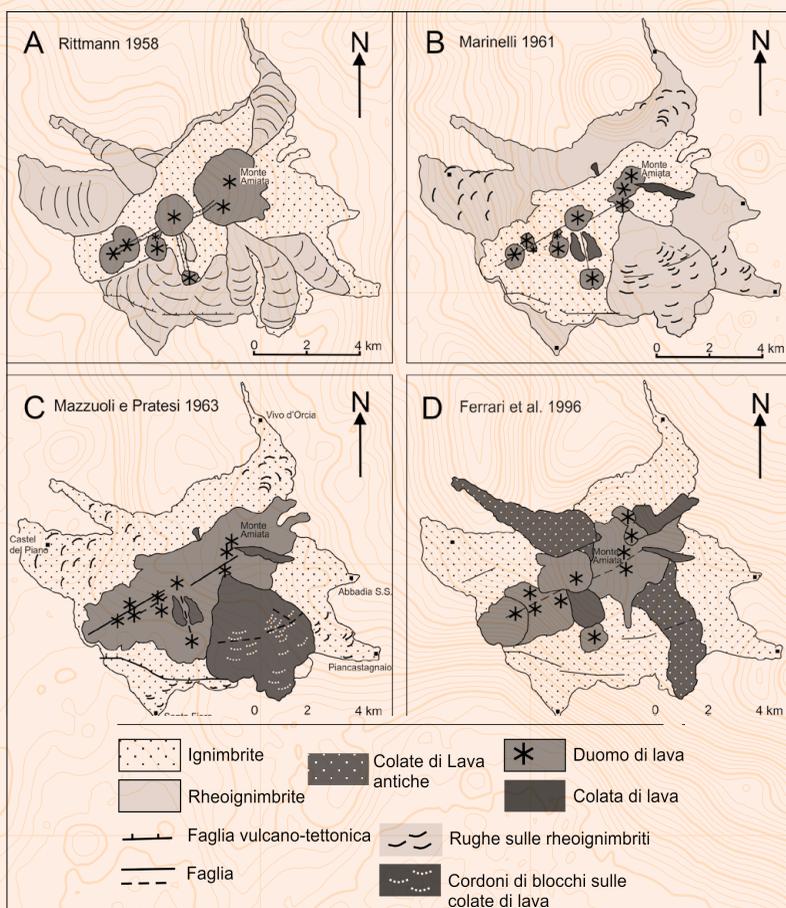
**FIGURA 1** Carta dei Sintemi e Subsintemi del vulcano Monte Amiata. La base è il Modello Digitale del Terreno dalla Carta Tecnica della Regione Toscana a scala 1:10.000. (da Vezzoli e Principe 2023).

## 1 Introduzione

In questo articolo presentiamo la carta geologica a scala 1: 25.000 del vulcano Monte Amiata (Figura 1; Principe et al. 2024). Essa rappresenta l'atto finale di un progetto decennale, partito da un incarico della Regione Toscana per aggiornare la cartografia regionale a scala 1:10.000 e produrre una monografia geologica del vulcano Monte Amiata (Principe et al. 2017). Dopo la fine del progetto regionale, la ricerca è proseguita con il completamento del rilevamento geologico dell'intero edificio vulcanico e l'analisi di più di 130 campioni di rocce. Questo studio ha permesso di "riscoprire", anche in ambito internazionale, il vulcano Monte Amiata, che era stato completamente trascurato dopo un periodo di forte notorietà in tempi pionieristici per

la vulcanologia. Nelle fasi finali del nostro progetto, si è sovrapposta la realizzazione da parte del Servizio Geologico Nazionale del foglio CARG a scala 1:50.000 Castel del Piano, in cui è compreso il vulcano Monte Amiata (Benvenuti et al. 2024). Il risultato cartografico dei due progetti non è confrontabile, a causa del diverso scopo e dettaglio di studio e della scala di rappresentazione finale.

Il vulcano Monte Amiata, datato al Pleistocene medio (305 - 231 ka; Laurenzi e La Felice in Principe et al. 2017), è stato alimentato da magmi silicici (trachite/trachidacite e subordinata latite; La Felice et al. in Principe et al. 2017; Landi et al. 2019), e si erge sul paesaggio collinare sedimentario circostante come una montagna isolata che culmina a 1738



**FIGURA 2** Comparazione tra schemi geologici di vari autori - modificati e ridotti alla stessa scala - che mostrano le differenti interpretazioni nel tempo sull'attribuzione genetica e distribuzione areale dei prodotti del vulcano Monte Amiata. [modificato da Principe e Vezzoli 2020].

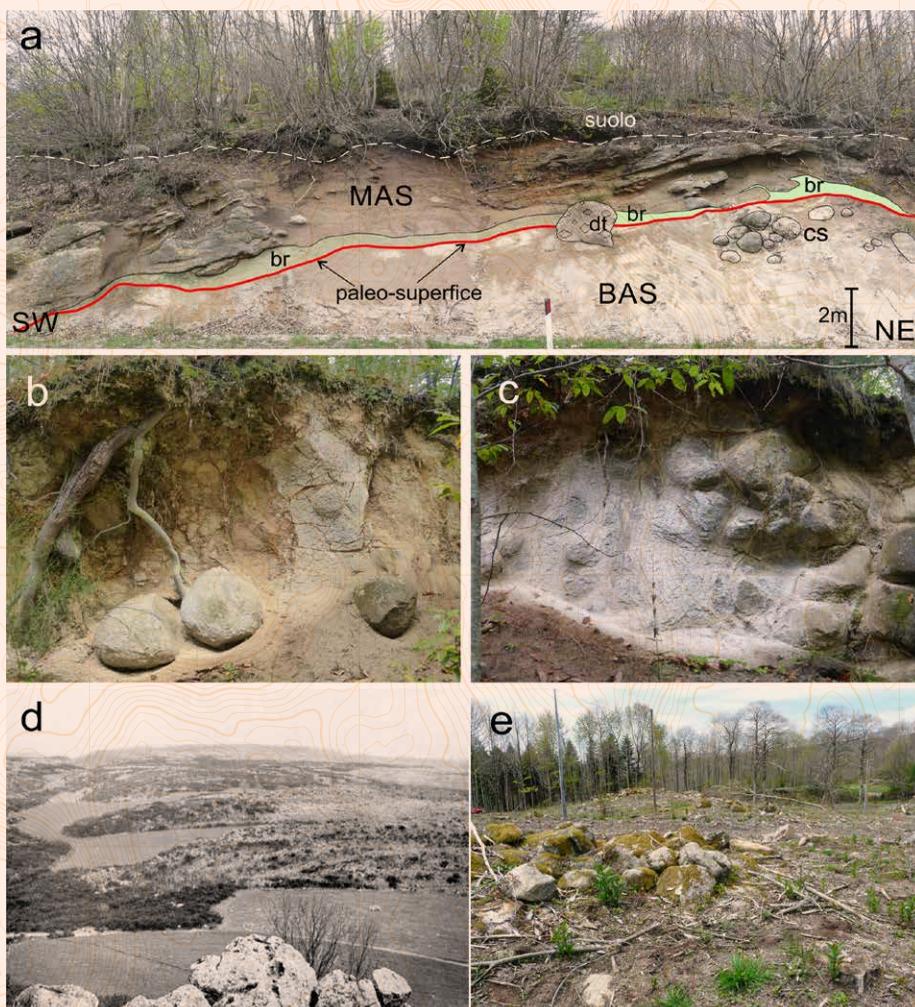
m sul livello del mare. L'area coperta dai prodotti vulcanici è di circa 90 km<sup>2</sup>. L'edificio vulcanico ha una forma ellittica con un asse maggiore di 12 km in direzione NE-SW. Il vulcano è correlato a un sistema di faglie transtensionali regionali (zona di taglio Bagnore-Bagni San Filippo; Brogi et al. 2010). Il tetto della camera magmatica è stimato a circa 5-6 km di profondità (Gianelli et al. 1988).

Il Monte Amiata è entrato nella storia della vulcanologia per essere stato riconosciuto di origine vulcanica nel 1733 dal botanico fiorentino Pier Antonio Micheli, nonostante posto in una regione che non aveva vulcanismo attivo (Vezzoli e Principe 2020); nonché per essere stato preso a modello del concetto vulcanologico di "reo-ignimbrite" sviluppato da Alfred Rittmann nel 1958 (Principe e Vezzoli 2020). Il Monte Amiata deve la sua fama anche alla presenza di numerose geo-risorse di alto valore sociale ed economico, sfruttate dai tempi moderni agli anni '70 del XX secolo: diatomiti o farina fossile (Vezzoli et al. 2021), pigmenti (la famosa Terra di Siena; Vezzoli e Principe 2022), e giacimenti

di mercurio (Dini in Principe et al. 2017). Le risorse naturali attuali del territorio sono rappresentate da sorgenti di acqua potabile (Magi et al. 2019), dalla gestione forestale, e dalle risorse geotermiche.

Il vulcano Monte Amiata è stato studiato da molti autori, soprattutto sotto l'aspetto petrologico e geocronologico (e.g., Mazzuoli e Pratesi 1963; Ferrari et al. 1996; Cadoux e Pinti 2009; Conticelli et al. 2015), ma dati sulla sua stratigrafia, vulcanologia fisica e struttura sono stati scarsamente documentati. Nella letteratura pregressa infatti le rocce del vulcano Monte Amiata sono state considerate relativamente omogenee e indistinguibili in termini di composizione petrochimica, litologia e stratigrafia (e.g., Conticelli et al. 2015). Uno dei problemi geologici più critici del vulcano Monte Amiata ha riguardato l'interpretazione genetica dei suoi prodotti: cioè la loro attribuzione a lave derivanti da attività effusiva piuttosto che ignimbriti e reoignimbriti derivanti da eruzioni esplosive (Figura 2; Rittmann 1958; Marinelli 1961). Nonostante parte degli studi meno datati siano favorevoli all'interpretazione di un'attività effusiva, questa ambiguità è sopravvissuta fino a tempi recenti (Ferrari et al. 1996; Marroni et al. 2015).

Il nostro accurato e innovativo studio geologico e vulcanologico, condotto fra il 2014 e il 2024 (vedi bibliografia), ha modificato significativamente il quadro stratigrafico, vulcanologico e strutturale del Monte Amiata noto in precedenza. In particolare, abbiamo definito: **a)** la stratigrafia, lo stile eruttivo, l'architettura dei prodotti e l'evoluzione dell'attività magmatica; **b)** le relazioni strutturali tra il sistema di alimentazione magmatica superficiale e le deformazioni tettoniche regionali; come pure **c)** l'influenza della tettonica crostale sulla messa in posto del magma, sul regime vulcano-tettonico locale e sulle dinamiche eruttive. I risultati dei nostri studi hanno definitivamente evidenziato come il Monte Amiata sia un raro esempio di vulcano composito, con prodotti a composizione silicica, completamente effusivo, dominato dall'eruzione di colate di lava, duomi di lava esogeni, e coulée. La cartografia geologica del vulcano si pone come atto finale sintetico della raccolta, elaborazione e interpretazione di tutti questi dati e osservazioni. Inoltre, essa evidenzia il valore della geologia di base svolta sul campo come approccio imprescindibile per lo studio dei processi vulcanici passati e come contesto necessario per la corretta convalida di qualsiasi modello vulcanologico e di gestione delle risorse e dei rischi ambientali.



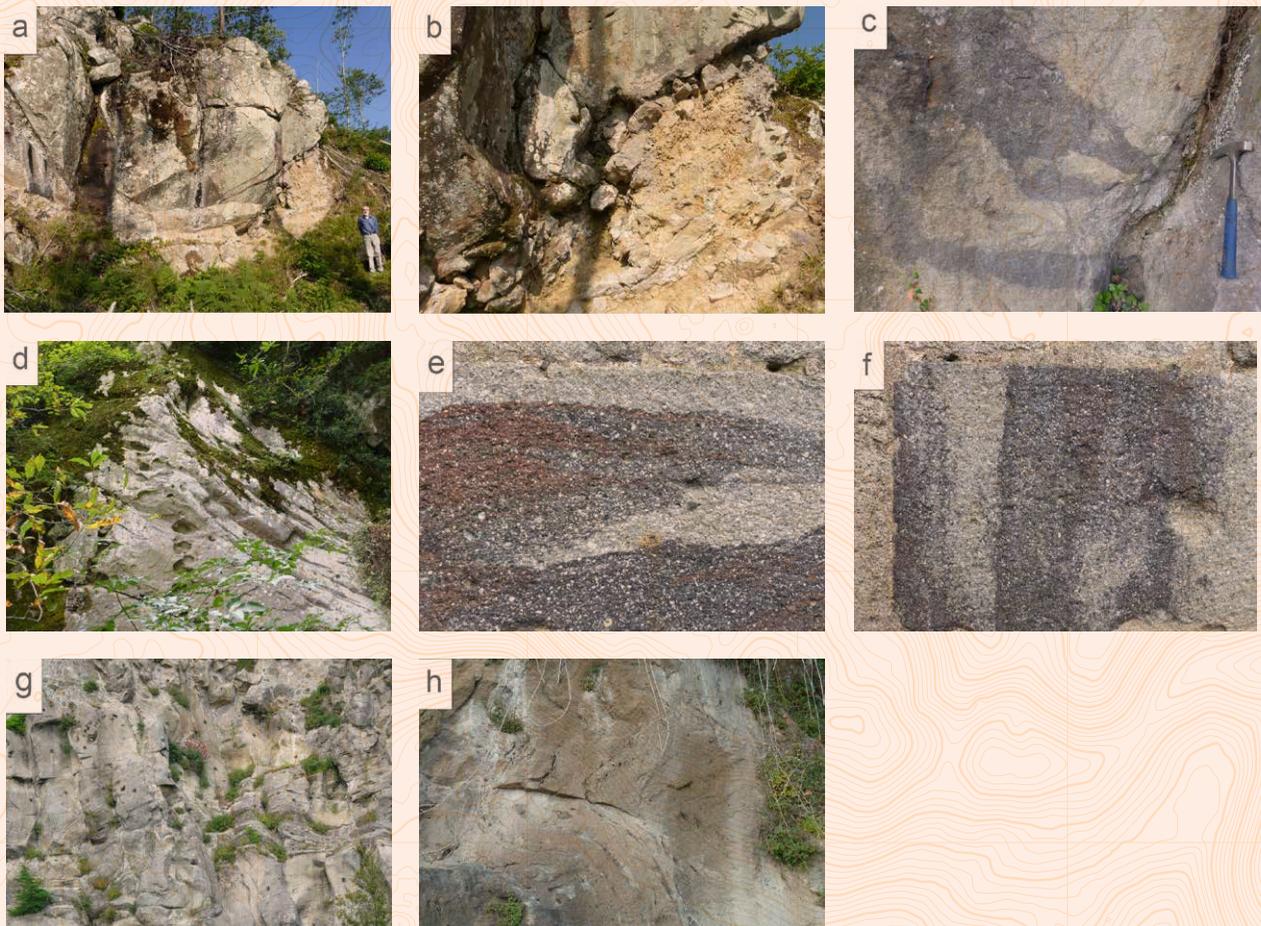
**FIGURA 3** Caratteristiche in affioramento della paleo-superficie con alterazione saprolitica che rappresenta la superficie di discontinuità geologica di primo ordine nella sequenza stratigrafica del vulcano Monte Amiata. (a) Affioramento in località Pozzaroni. (modificato da Principe e Vezzoli 2021) che mostra la paleo-superficie tra le lave vitrofiriche biancastre del BAS alterate in saprolite con core-stone [cs] e le sovrastanti lave stratificate e microcristalline del MAS. br = livello di autobreccia. dt=detrito. (b) e (c) Facies del deposito di saprolite con blocchi arrotondati di lave (core-stone) da alterazione sferoidale immersi in matrice sabbiosa. (d) Ogive trasversali composte da accumuli di blocchi di lava arrotondati sulla superficie della colata di lava della Fm. Quaranta (da Mazzuoli e Pratesi 1963). Esse sono state interpretate da Rittmann (1958) come tipica caratteristica delle reo-ignimbriti e da altri autori come colate di lava a blocchi. In base alle nostre osservazioni, la struttura è quella di pressure-ridge dovuti alla viscosità del flusso lavico e i blocchi sono core-stone relitti dell'alterazione saprolitica. (e) Gli accumuli di blocchi residuali dell'alterazione saprolitica sulla superficie della colata di lava della Fm. Quaranta.

## 2 La carta geologica

Per il rilevamento geologico e la cartografia del vulcano Monte Amiata abbiamo applicato i criteri stratigrafici delle unità litostratigrafiche e delle unità a limiti inconformi (Unconformity Bounded Stratigraphic Unit, UBSU; Salvador 1994). La ricostruzione stratigrafica eseguita si basa quindi sul riconoscimento di un gran numero di unità litostratigrafiche (Formazione, Fm.). Le quali sono composte da uno o più litosomi (corpi geologici distinti in base a uniformi caratteristiche geometriche, morfologiche, e strutturali interne, come colate di lava, duomi di lava e coulée). Le unità litostratigrafiche sono quindi state raggruppate in unità stratigrafiche a limiti inconformi (Sintema e Subintema; Salvador 1994), sulla base del riconoscimento sul campo di superfici specifiche, significative e dimostrabili, di discontinuità geologica (Figura 1; Vezzoli e Principe 2023). Le superfici discordanti utilizzate sono correlate a significative interruzioni dell'attività vulcanica, cambiamenti

negli stili eruttivi, modifiche morfo-strutturali dovute a deformazioni vulcano-tettoniche e tettoniche regionali, nonché a eventi morfo-climatici.

Per il vulcano Monte Amiata, il riconoscimento di una discordanza geologica di primo ordine ha permesso di identificare due principali unità stratigrafiche vulcaniche a limiti inconformi (Sintemi). Tale discordanza è rappresentata da una paleo-superficie intra-vulcanica di alterazione saprolitica di valenza paleoclimatica regionale (Principe e Vezzoli 2021) che divide il più antico Sintema di Bagnore (BAS) dal più giovane Sintema di Monte Amiata (MAS). La distribuzione areale della superficie di saprolite è mostrata nello Schema A sulla carta geologica. La saprolite di Monte Amiata è costituita da un materiale soffice, friabile, di colore da bianco a giallastro a rossastro, con tessitura sabbiosa e granulare, derivante da diversi gradi di alterazione delle lave trachidacitiche appartenenti alle unità BAS. La profondità di

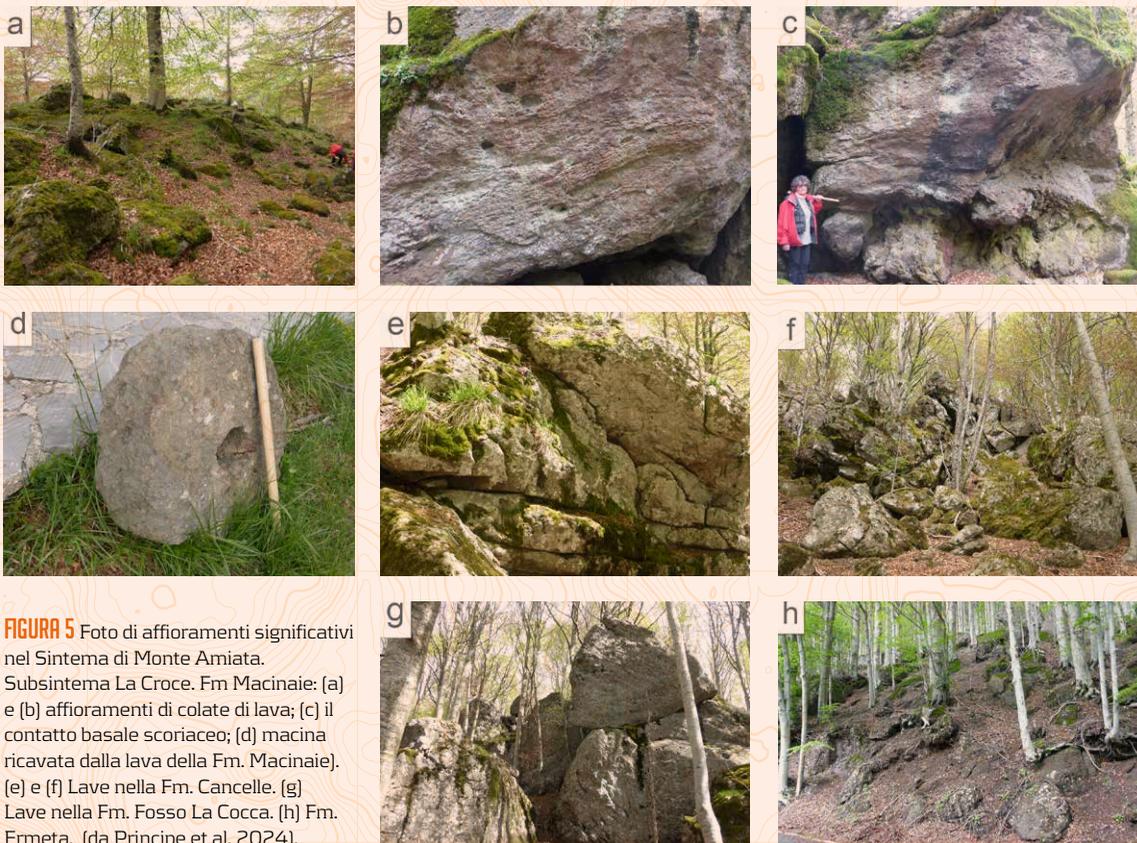


**FIGURA 4** Foto di affioramenti significativi nel Sintema di Bagnore. Fm. Piancastagnaio: (a) contatto fra due colate di lava tabulari; (b) dettaglio del contatto, con la breccia basale; (c) strutture di mingling nelle lave; (d) strutture di flusso nelle lave; (e) e (f) strutture di mingling nei blocchi lavici che compongono la facciata della chiesa di Abbadia San Salvatore; (g) e (h) strutture di flusso nelle lave della Fm. Sorgente del Fiora. (da Principe et al. 2024).

alterazione è variabile da 1 a 10 metri. Sono state distinte diverse litofacies saprolitiche, corrispondenti a diversi gradi di alterazione, che vanno da una roccia scarsamente alterata a una massa sabbiosa con nuclei arrotondati sparsi di rocce relativamente meno alterate, e a un accumulo di blocchi residui (Figura 3). Il riconoscimento di altre superfici di discontinuità di rango inferiore ha permesso di suddividere i due sintemi in sette subsintemi (Figura 1, Schema D sulla carta geologica).

La mappa degli affioramenti prodotta durante il lavoro sul campo è riportata nella carta geologica, per correttezza scientifica e per facilitare l'accesso a siti geologici significativi. Il substrato sedimentario non è stato considerato in questa carta. Il rilievo è stato eseguito utilizzando come base topografica la Carta Tecnica alla scala 1:10.000 della Regione Toscana. La mappa e la legenda sono divise in quattro settori (Schema B sulla carta geologica), definiti in

base al riconoscimento di aree stratigraficamente omogenee, cioè dove la sequenza stratigrafica è stata ricostruita tramite l'osservazione di relazioni di sovrapposizione diretta tra le unità. Tuttavia, la stratigrafia ricostruita mostra alcune incertezze nel caso dei litosomi più piccoli, che non presentano relazione stratigrafica diretta. Le descrizioni petrografiche delle unità nella legenda sono alla scala del campione a mano, pensate per facilitare l'identificazione delle varie unità sul campo, in base alle caratteristiche delle tessiture vulcaniche, della pasta di fondo, della granulometria e abbondanza relativa di fenocristalli, e della presenza di glomerofiri, inclusi magmatici e xenoliti meta-sedimentari. Nelle Figure 4, 5, e 6 sono mostrate alcune peculiarità litologiche e strutturali che caratterizzano le lave del Monte Amiata.



**FIGURA 5** Foto di affioramenti significativi nel Sintema di Monte Amiata. Subsintema La Croce. Fm. Macinaie: (a) e (b) affioramenti di colate di lava; (c) il contatto basale scoriaceo; (d) macina ricavata dalla lava della Fm. Macinaie). (e) e (f) Lave nella Fm. Cancelli. (g) Lave nella Fm. Fosso La Cocca. (h) Fm. Ermeta. (da Principe et al. 2024).



**FIGURA 6** Xenoliti metasedimentari (a, b, c, d, e) e inclusi magmatici (f, g, h) nelle lave del Monte Amiata. (da Principe et al. 2024).

# Evoluzione geologica e vulcanologica del Monte Amiata

L'evoluzione geologica e la storia vulcanica del Monte Amiata sono state sintetizzate in sette fasi, corrispondenti ai sistemi e subsistemi riconosciuti (Vezzoli e Principe 2023). Esse sono visualizzate nello Schema C della carta geologica, e qui di seguito descritte, dalla più antica alla più giovane.

Le prime tre fasi di evoluzione si posizionano all'interno del Sistema di Bagnore - rappresentate, stratigraficamente dal basso verso l'alto - da: Subsistema Bagnolo (BSS), Subsistema Faggia (FSS) e Subsistema Montearioso (MSS).

**Fase 1 - Subsistema Bagnolo (BSS).** L'attività vulcanica è caratterizzata da singole grandi colate laviche di forma tabulare che si estendono in promontori lavici sui pendii S (Fm. Sorgente del Fiora), SE (Fm. Piancastagnaio), E (Fm. Abbadia San Salvatore) e NE (Fm. Vivo d'Orcia) del Monte Amiata. Tali colate laviche sono spesse 90-30 m e raggiungono distanze fino a 8 km dalla probabile area sorgente corrispondente all'attuale cresta sommitale del vulcano. Una discordanza angolare e il cambiamento nello stile eruttivo segnano il passaggio alla fase successiva.

**Fase 2 - Subsistema Faggia (FSS).** Consiste nella messa in posto di una sola unità (Fm. Marroneto), costituita da una pila di numerose e sottili colate di lava - separate l'una dall'altra da breccie basali scoriacee e autoclastiche - sovrapposte e anastomizzate a formare una coltre quasi continua e stratificata, affiorante prevalentemente nei settori inferiori S e W del vulcano. La distribuzione areale e la direzione dei flussi lavici suggeriscono che questa unità rappresenti un edificio lavico costruitosi sul lato W del sistema di fessure eruttive alla sommità del Monte Amiata. Una discordanza angolare separa questa fase dalle successive.

**Fase 3 - Subsistema Montearioso (MSS).** È costituito da estese colate laviche di forma tabulare, generalmente lunghe 7 km e spesse 80-50 m, eruttate da centri vulcanici separati, che scorrono verso NW (Fm. Castel del Piano), E e S (Fm. Quaranta). Sulle superfici laviche sono presenti serie di ogive trasversali arcuate. È presente anche un duomo lavico esogeno con colate associate (Fm. Sasso della Vettoria). Una paleo-superficie intra-vulcanica associata ad alterazione (saprolite), evidenze di erosione e deformazioni tettoniche terminano questa fase e tutta l'attività riferita al Sistema di Bagnore.

Le successive quattro fasi di attività del vulcano Monte Amiata costituiscono il Sistema Monte Amiata che comprende, stratigraficamente dal basso verso l'alto: Subsistema Valle Gelata (GSS), Subsistema Valle dell'Inferno (ISS), Subsistema Prato della Contessa (PSS) e Subsistema La Croce (CSS). In nessun caso, le lave di questo sistema sono interessate dall'alterazione saprolitica della paleo-superficie intra-vulcanica.

**Fase 4 - Subsistema Valle Gelata (GSS).** Comprende

single colate di lava di forma tabulare, lunghe 5-6 km, spesse 70-50 m, che si estendono verso NW, NE e S, e duomi lavici esogeni nel settore centrale della porzione sommitale del vulcano. Sono presenti ogive trasversali sulle superfici delle colate di lava. All'interno dei duomi lavici esogeni la stratificazione è definita dall'alternanza di lava massiva e lava molto vescicolata. Le bocche eruttive sono completamente sepolte da lave più giovani o dislocate dalla tettonica, gli edifici vulcanici riconoscibili sono sezionati dalle faglie e hanno perso la loro identità morfologica.

**Fase 5 - Subsistema Valle dell'Inferno (ISS).** Questa fase è caratterizzata dalla messa in posto di duomi lavici esogeni con coulée e colate laviche tozze (lunghe 1-1,5 km), nei settori E e W dell'area assiale sommitale del vulcano. Alcune colate si estendono anche verso S e E. Le colate laviche mostrano ogive trasversali sulla superficie e una struttura interna che può essere massiva o stratificata. Le bocche eruttive sono generalmente sepolte da lave più giovani, la morfologia vulcanica primaria è solo parzialmente riconoscibile a causa delle deformazioni tettoniche. Alcune lave sono fluite in ripide valli preesistenti. La superficie superiore è ampiamente rappresentata dall'attuale superficie topografica o è il limite discordante con i prodotti del subsistema successivo.

**Fase 6 - Subsistema Prato della Contessa (PSS).** È composto da alcune formazioni complesse, comprendenti duomi lavici esogeni con numerose coulée e colate laviche, che sono localizzate nei settori centrale (Fm. La Montagnola) e NE (Fm. Pianello) dell'area assiale sommitale, e in posizione isolata sul versante S (Fm. Trauzzolo). Tutte queste unità hanno morfologie vulcaniche primarie ben riconoscibili e centri di effusione identificabili in fessure eruttive orientate NE-SW, e sono state interessate da faglie con direzione NNE-SSW e NE-SW.

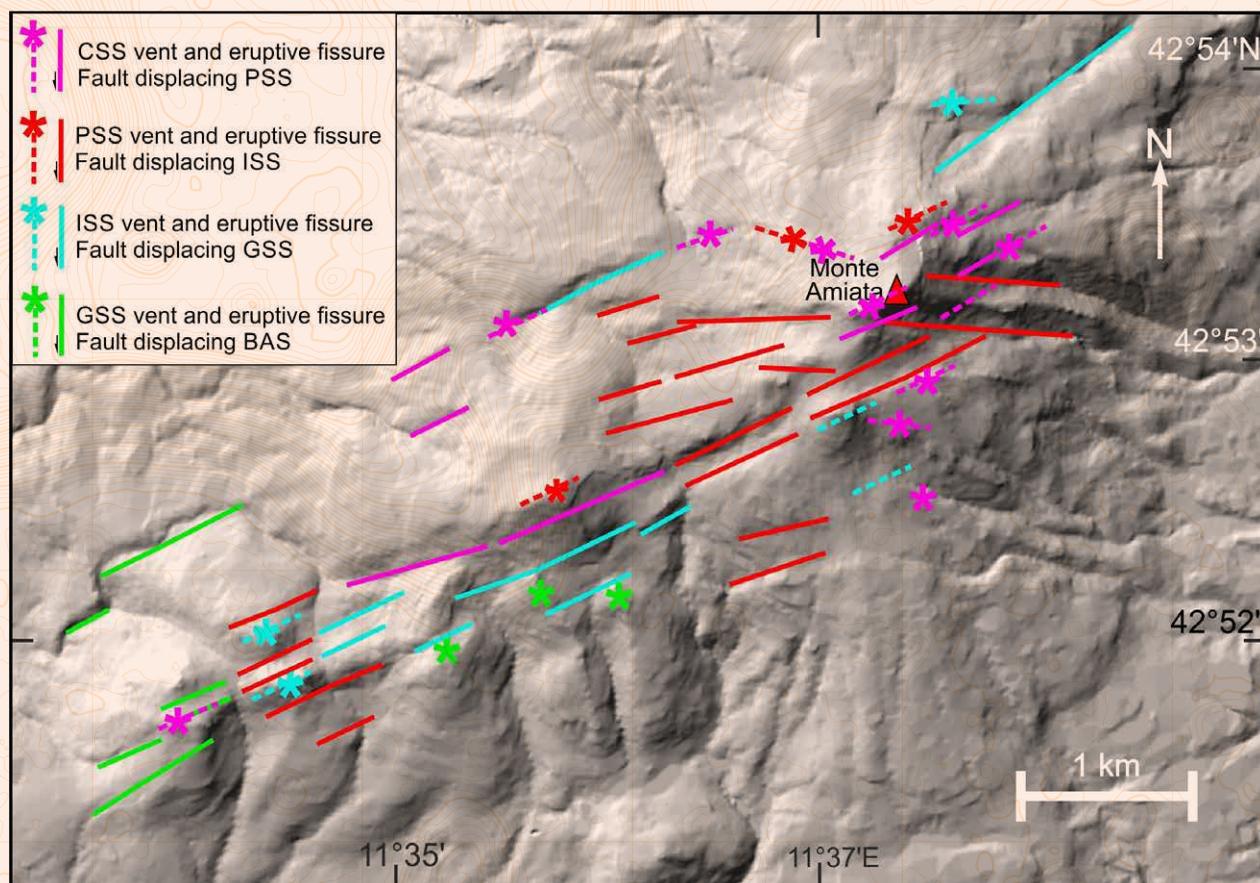
**Fase 7 - Subsistema La Croce (CSS).** Comprende l'effusione di dieci singole piccole colate laviche e del duomo lavico esogeno che costituisce la sommità del Monte Amiata (Fm. La Vetta). Le colate di lava sono sia lunghe (0,9-2 km) e strette (70-200 m), perché incanalate in paleovalli molto ripide, che più corte (0,5-0,7 km), espanse lateralmente e lobate. Il duomo della Vetta è un bastione roccioso allungato in direzione NE-SW lungo una fessura eruttiva, da cui una coulée è stata estrusa verso NNE contro la scarpata laterale del duomo di Pianello (PSS). Le bocche eruttive di questo subsistema sono localizzate lungo fessure eruttive orientate NW-SE e NE-SW, prevalentemente nel settore NE del vulcano, ad eccezione della colata della Fm. Poggio Pinzi che si trova nel settore SW. Le unità vulcaniche comprese in questa ultima fase di attività non sono apparentemente deformate né da vulcano-tettonica né da tettonica regionale.

## 4 Struttura ed evoluzione vulcano-tettonica

L'esistenza e l'evoluzione del vulcano Monte Amiata sono collegate all'attività della zona di taglio transtensionale a direzione NE-SW Bagnore-Bagni San Filippo (Schemi A e D sulla carta geologica) descritta da Brogi et al. (2010).

L'attività ripetuta di questo elemento tettonico regionale ha influenzato la struttura del Monte Amiata, dando origine a una serie di rift vulcanici, attivi in momenti diversi durante la vita del vulcano. Una zona di rift vulcanico più antica era localizzata nel settore SW, lungo la propagazione verso NE della faglia di Bagnore, ed è ora coperta dai successivi prodotti vulcanici. Una più giovane zona di rift vulcanico è definita dall'insieme di centri effusivi monogenetici, fessure eruttive, faglie normali, e strutture di graben, allineati in direzione NE-SW lungo la zona apicale del vulcano, lunga circa 10 km (Figura 7). Essa rappresenta una struttura

eruttiva lineare polifasica. È stato possibile distinguere varie fasi di deformazione del rift vulcanico e correlarle con le fasi di attività vulcanica in base alle caratteristiche geometriche ed alla posizione stratigrafica degli elementi tettonici e vulcanici coinvolti (Vezzoli e Principe 2023). Inoltre, per quanto riguarda il sistema magmatico, la zona di taglio transtensionale Bagnore-Bagni San Filippo ha favorito, durante il Pliocene, la messa in posto a bassa profondità (5-6 km) di un'intrusione silicica; e ha in seguito promosso, durante il Pleistocene, la risalita di magmi mafici mantellici e la formazione di una struttura di alimentazione del vulcano con un serbatoio crostale e zone di rift superficiali; essa è stata anche responsabile dello stile eruttivo completamente effusivo (Vezzoli et al. 2022).



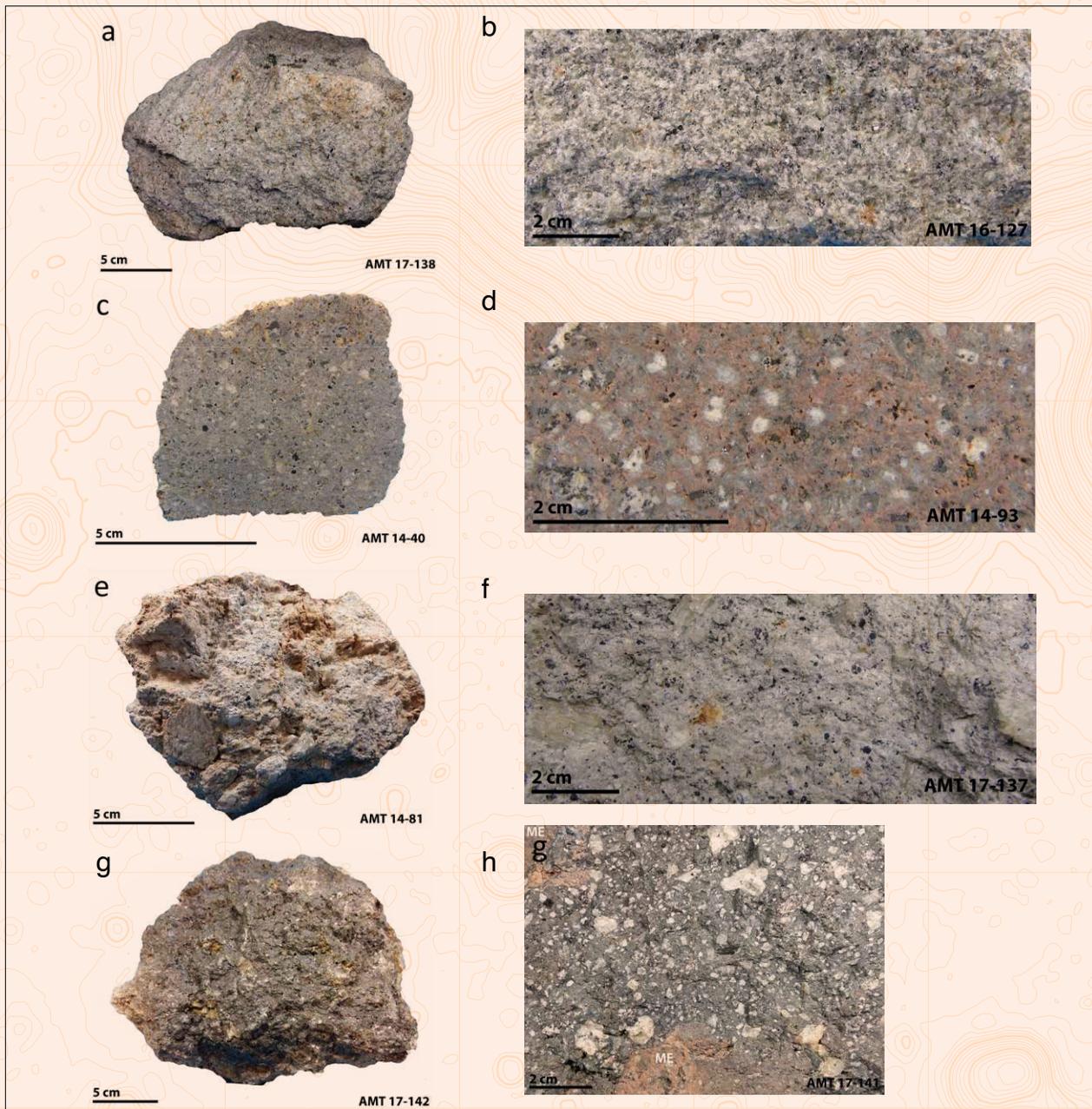
**FIGURA 7** La struttura a rift vulcanici nella porzione sommitale del Monte Amiata (da Principe et al. 2024).

# Petro-chimica

La composizione delle lave del Monte Amiata varia da trachite/trachidacite a latite (varietà potassica della trachiandesite) con  $\text{SiO}_2 = 57-68\%$  e  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 7-9\%$  in peso (Principe et al. 2017; Vezzoli et al. 2022). Due colate di lava del Subsistema La Croce (Fm. Ermeta e Fm. Macinaie p.p.) hanno composizione di latiti a olivina (Conticelli et al. 2015). Le colate e i duomi di lava contengono in proporzione

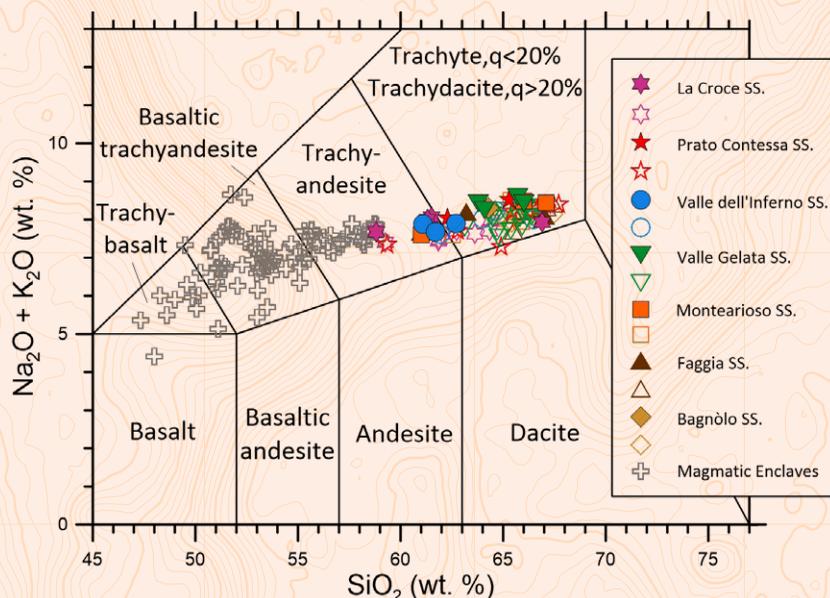
variabile xenoliti metasedimentari e inclusi magmatici, la cui composizione varia da trachibasalto a latite ( $\text{SiO}_2 = 47-59\%$  e  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 5-8\%$  in peso).

Sul campo è possibile distinguere diversi tipi di lava, in base alla diversa paragenesi, abbondanza di cristalli e strutture (Figura 8). La pasta di fondo delle lave del Monte Amiata mostra tessiture molto eterogenee, da vetrose



**FIGURA 8** Caratteri macroscopici delle lave del Monte Amiata: (a) Fm. Vivo d'Orcia; (b) Fm. La Montagnola; (c) Fm. Trecase; (d) Fm. Pozzaroni; (e) Fm. Poggio Falco; (f) Fm. Sasso della Vettoria; (h) Fm. Pianello; (g) Fm. Macinaie. (da Principe et al 2024).

(spesso perlitiche) a microcristalline. Le colate laviche tabulari del Monte Amiata (Vezzoli et al. 2022) sono tutte trachidacitiche, generalmente molto porfiriche, a grana media o grossolana, con dimensione massima dei fenocristalli che raramente supera 1 cm. I fenocristalli più abbondanti sono plagioclasio e K-feldspato, ortopirosseno e biotite, raramente clinopirosseno. Varie combinazioni di minerali (principalmente pl+px+bt) formano glomerofiri. Il contenuto in inclusi magmatici è scarso, mentre gli xenoliti metasedimentari di forma tabulare sono più frequenti. I duomi di lava, le coulée e le colate laviche corte sono fra mediamente e molto porfirici, hanno una paragenesi minerale simile alle grandi colate tabulari, con una presenza più frequente di olivina e clinopirosseno e minore biotite. La loro caratteristica macroscopica distintiva è la presenza di megacristalli di K-feldspato (1-6 cm di lunghezza; Landi et al. 2019), abbondanti inclusi magmatici e glomerofiri, ma scarsi xenoliti metasedimentari. Nel diagramma classificativo TAS (Figura 9; Principe et al. 2024) sono riportati



**FIGURA 9** Diagramma classificativo TAS per una selezione di lave e inclusi magmatici del vulcano Monte Amiata (modificato da Principe et al. 2024). Simboli vuoti: dati di letteratura; simboli pieni: dati originali. q factor:  $Q * 100 / (Q + or + ab + an)$ .

- suddivisi per unità - i dati di una selezione rappresentativa di campioni. L'implicazione vulcanologica più importante è che una data caratteristica petro-chimica non è esclusiva di una determinata unità stratigrafica, ma

si ripete durante le fasi di attività del vulcano. Quindi, non è lecito fondare la suddivisione stratigrafica e l'evoluzione geologica del Monte Amiata su criteri di omogeneità petrochimica, come spesso è accaduto in passato.

## 6 Non solo lave: pigmenti e diatomiti al Monte Amiata

Nell'area pedemontana del Monte Amiata, dopo la fine dell'attività vulcanica, è documentata la presenza di piccoli bacini lacustri di età tardo-pleistocenica, attualmente estinti (vedi carta geologica). Dal punto di vista paleo-ambientale e paleo-climatico, la sedimentazione paleo-lacustre è avvenuta durante un periodo di clima caldo/temperato corrispondente all'ultimo periodo interglaciale [MIS 5e, 140-110 ka fa]. In tutti questi piccoli bacini la sedimentazione lacustre è bruscamente e simultaneamente terminata da una sedimentazione alluvionale sabbioso-ghiaiosa, risultante dal cambiamento climatico che ha portato a condizioni fredde e piovose durante l'ultimo periodo glaciale. A causa di differenti condizioni ambientali, chimico-fisiche e biologiche, si è avuta inoltre deposizione di due tipologie di sedimenti lacustri molto diverse (Vezzoli et al. in Principe et al. 2017). Il primo tipo di sedimento lacustre, riscontrato nei comuni di

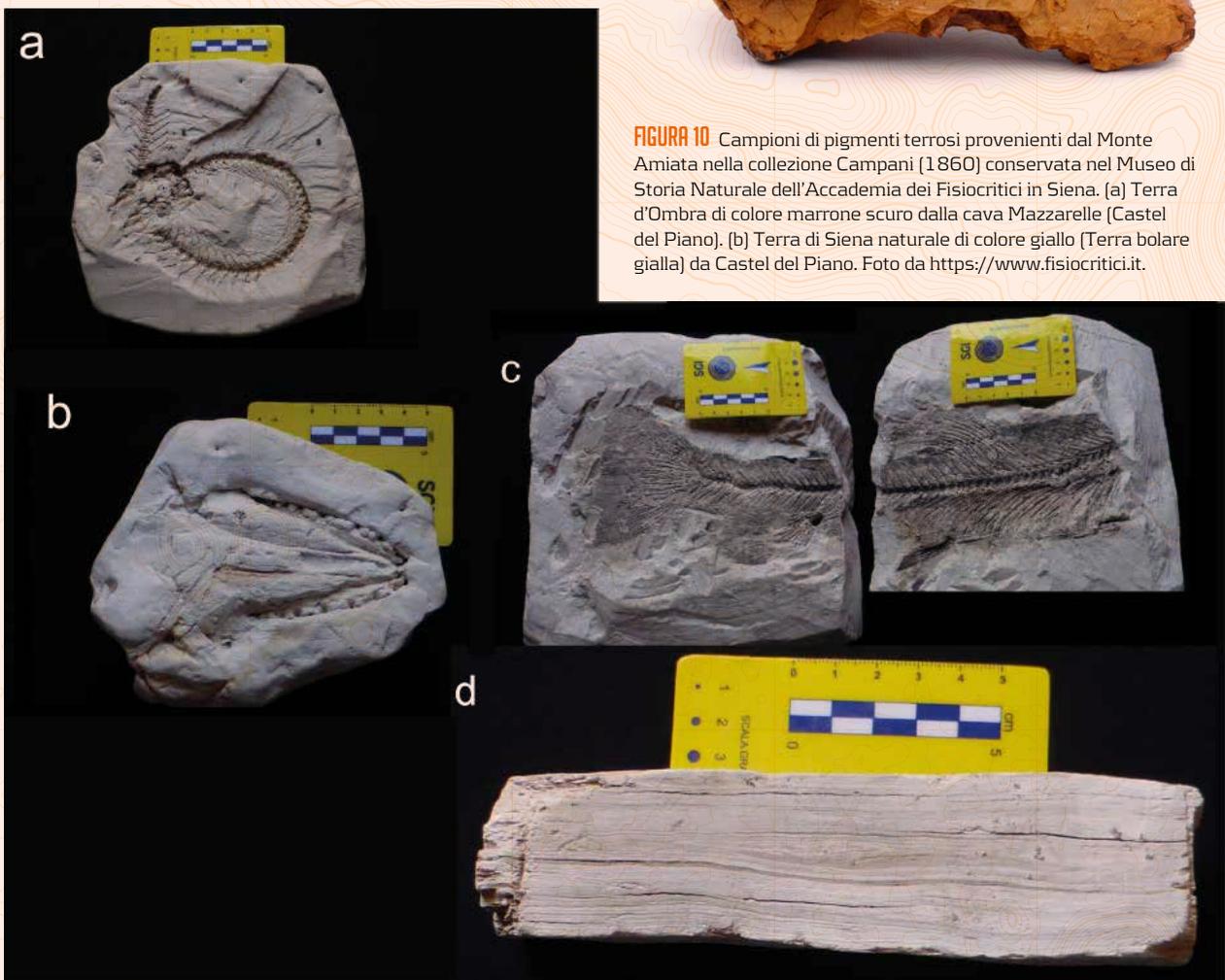
Castel del Piano, Arcidosso, Piancastagnaio e Abbadia San Salvatore, è composto da ossidi-idrossidi di ferro (limonite/goethite) e deriva da precipitazione biochimica autigenica da acque ricche in soluti metallici di origine vulcanica (Vezzoli e Principe 2022). Questo sedimento è stato utilizzato come pigmento minerale naturale, tra cui le famose Terra di Siena e Terra d'Ombra, per i suoi colori vivaci e permanenti che vanno dal giallo chiaro al rosso e al marrone scuro (Figura 10). In particolare, il vero pigmento Terra di Siena ha avuto origine ed è stato estratto esclusivamente dai sedimenti lacustri del Monte Amiata.

Il secondo tipo di sedimento lacustre ha composizione silicea e origine biogenica, essendo formato dall'accumulo di alghe unicellulari fossili della famiglia delle Diatomee. Esso è stato chiamato "farina fossile" o, più recentemente, diatomite, e si rinveniva nei comuni di Castel del Piano e Santa Fiora

(Vezzoli et al. 2021). Le diatomiti del Monte Amiata, oltre alla loro intrinseca composizione biogenica, erano ricche di pollini e macrofossili come pesci, insetti, e resti vegetali. Questi fossili sono stati raccolti e studiati dal XIX secolo. La collezione paleontologica più importante dei giacimenti diatomitici del Monte Amiata è quella raccolta in una cava in località Fontespilli (Bagnólo, Santa Fiora) negli anni 1953-1956 dal botanico e polimata Ezio Tongiorgi (1912-1987) (Figura 11; Vezzoli et al. 2021). La Collezione Tongiorgi è conservata nel Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa con sede nell'antica Certosa di Pisa a Calci. Sia le diatomiti che i pigmenti sono minerali di importanza economica e pertanto i sedimenti lacustri del Monte Amiata sono stati oggetto di un ampio sfruttamento industriale, soprattutto nel XIX secolo, fino al loro completo esaurimento.



**FIGURA 10** Campioni di pigmenti terrosi provenienti dal Monte Amiata nella collezione Campani (1860) conservata nel Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici in Siena. (a) Terra d'Ombra di colore marrone scuro dalla cava Mazzarelle (Castel del Piano). (b) Terra di Siena naturale di colore giallo (Terra bolare gialla) da Castel del Piano. Foto da <https://www.fisiocritici.it>.



**FIGURA 11** Alcuni esemplari di pesci fossili rinvenuti nei sedimenti lacustri diatomitici nella cava Fontespilli (Bagnólo, Santa Fiora). Salmo trutta: (a) esemplare incompleto; (b) impronta della mandibola; (c) regione addominale e caudale. (d) Campione di diatomite laminata. Dalla collezione Tongiorgi al Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa (da Vezzoli et al. 2021).

## 7 Osservazioni finali e conclusioni

Dall'insieme degli studi da noi effettuati e riassunti nella presente nota emergono alcune importanti peculiarità del vulcano Monte Amiata:

- (i) il suo completo e raro carattere effusivo, nonostante la composizione silicica dei suoi prodotti;
- (ii) la presenza di colate di lava silicica con forma tabulare e flusso a lunga distanza (fino a 8 km dalla sorgente), caratteristiche in genere tipiche di lave basiche;
- (iii) il marcato coinvolgimento di un elemento tettonico regionale, la faglia Bagnore-Bagni San Filippo, nell'attività e nell'evoluzione del sistema magmatico superficiale e profondo durante l'intera vita del vulcano;
- (iv) la presenza di un elemento geologico non vulcanico, una paleo-superficie di alterazione saprolitica, che separa

l'attività eruttiva in due periodi principali, e rappresenta la prova di una stasi vulcanica in corrispondenza di un cambiamento climatico a valenza sovraregionale.

Alla base di questi risultati ci sono la stratigrafia ricostruita e la cartografia dettagliata delle unità vulcaniche qui allegata. Entrambe hanno cambiato la percezione del vulcano Monte Amiata, allontanandosi dall'idea di un edificio composto da poche e grandi colate laviche alla base - o addirittura da prodotti di eruzioni esplosive come ignimbriti - e duomi di lava in cima, come era stato descritto fino ad ora. È stato così possibile ricostruire una diversa evoluzione vulcanica, composta da almeno sette stadi evolutivi governati dall'interazione del magma in risalita con il quadro geologico e strutturale regionale.

## BIBLIOGRAFIA

Benvenuti M.G., Cioni R., Conticelli S., et al. (2024) Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 320 Castel del Piano. Serv. Geol. d'It., Roma. DOI:10.15161/oar.it/211736

Broggi A., Liotta D., Meccheri M., Fabbrini L. (2010) Transtensional shear zones controlling volcanic eruptions: The Middle Pleistocene Monte Amiata volcano (inner Northern Apennines, Italy). *Terra Nova* 22, 137-146.

Cadoux A., Pinti D.L. (2009) Hybrid character and pre-eruptive events of Mt. Amiata volcano (Italy) inferred from geochronological, petrogeochemical and isotopic data. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 179, 169-190.

Conticelli S., Boari E., Burlamacchi L., et al. (2015) Geochemistry and Sr-Nd-Pb isotopes of Monte Amiata volcano, Central Italy: Evidence for magma mixing between high-K calc-alkaline and leucititic mantle-derived magmas. *Ital. J. Geosc.* 134, 268-292.

Ferrari L., Conticelli S., Burlamacchi L., Manetti P. (1996) Volcanological evolution of the Monte Amiata southern Tuscany: New geological and petrochemical data. *Acta Vulcanol.* 8, 41-56.

Gianelli G., Puxeddu M., Batini F., et al. (1988) Geological model of a young volcano-plutonic system: The geothermal region of Monte Amiata (Tuscany, Italy). *Geothermics* 17, 719-734.

Landi P., La Felice S., Petrelli M., et al. (2019) Deciphering textural and chemical zoning of K-feldspar megacrysts from Mt. Amiata volcano (southern Tuscany, Italy): Insights into the petrogenesis and abnormal crystal growth. *Lithos* 324-325, 569-583.

Magi F., Doveri M., Menichini M., et al. (2019) Groundwater response to local climate variability: hydrogeological and isotopic evidences from the Mt. Amiata volcanic aquifer (Tuscany, central Italy). *Rend. Acc. Lincei Sci. Fis. Nat.* 30, 125-136.

Marinelli G. (1961) Genesi e classificazione delle vulcaniti recenti toscane. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Pisa Mem. A* 68, 63-116.

Marroni M., Moratti G., Costantini A., et al. (2015) Geology of the Monte Amiata region, Southern Tuscany, Central Italy. *Ital. J. Geosc.* 134, 171-199.

Mazzuoli R., Pratesi M. (1963) Rilevamento e studio chimico petrografico delle rocce vulcaniche del Monte Amiata. *Atti Soc. Toscana Sci. Nat. Mem. A* 70, 355-429.

Principe C., Vezzoli L. (2020) Monte Amiata volcano (Tuscany, Italy) in the history of volcanology: 2 - its role in the definition of "ignimbrite" concepts and in the development of the "rheoignimbrite" model of Alfred Rittmann. *Rend. Acc. Lincei Sci. Fis. Nat.* 31, 539-561.

Principe C., Vezzoli L. (2021) Characteristics and significance of intra-volcanic saprolite paleoweathering and associate paleosurface in a silicic effusive volcano. The case study of Monte Amiata (middle Pleistocene, Tuscany, Italy). *Geomorphology* 392, 107922.

Principe C., Lavorini G., Vezzoli L. (Eds.) (2017) *Il vulcano di Monte Amiata*. Edizioni Scientifiche e Artistiche, Nola, 343-369. ISBN: 978-88-99742-32-4

Principe C., Vezzoli L., La Felice S. (2024) Geology of the Pleistocene volcano of Monte Amiata (Southern Tuscany, Italy). *J. of Maps* 20:1, 2360749

Rittmann A. (1958) Cenni sulle colate di ignimbriti. *Boll. Acc. Gioenia Sci. Nat. Catania* S4 10, 524-533.

Salvador A. (Ed.) (1994) *International stratigraphic guide: A guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure*. 2nd Edition. *Geol. Soc. Am.*, pp. 214.

Vezzoli L., Principe C. (2020) Monte Amiata volcano (Tuscany, Italy) in the history of Volcanology, Part 1: Its role in the debates on extinct volcanoes, sources of magma, and eruptive mechanisms (1733-1935). *Earth Sci. Hist.* 39, 28-63.

Vezzoli L., Principe C. (2022) Artist's iron-based natural earth pigments of Tuscany (Monte Amiata volcano, Italy). *Earth Sci. Hist.* 41, 16-36.

Vezzoli L., Principe C. (2023) Building a silicic effusive volcano: Geology, structure, and tectonics of Monte Amiata (Middle Pleistocene, Italy). *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 434, 107743.

Vezzoli L., Principe C., Sorbini C. (2021) The paleo-lacustrine diatomaceous deposits of Monte Amiata volcano (Tuscany, Italy) and the Ezio Tongiorgi paleontological collection in the Museum of Natural History of the University of Pisa. *Ann. Geophys.* 64, V0553.

Vezzoli L., Principe C., Giordano D., et al. (2022) Physical volcanology and facies analysis of silicic lavas: Monte Amiata volcano (Italy). In: Nemeth K. (Ed.). *Updates in Volcanology. Linking active volcanism and the geological record*. Intechopen, pp. 44.

## PERFORAZIONE E COMPLETAMENTO DI UN POZZO PER ACQUA, UBICATO MEDIANTE METODOLOGIA SISMOELETRICA, IN LOCALITÀ SAN MARTINO ULMIANO (COMUNE DI SAN GIULIANO TERME - PI)

### ▶ PARTE SECONDA

#### 4 - ESECUZIONE DEI LAVORI

(I lavori sono stati eseguiti dalla ditta Landi di Chiarugi Srl, Via maggiore di Oratoio, Pisa, nel periodo 20/5/ 2024 - 25 /6/2024.)



FIGURA 13

Ubicazione del pozzo su stralcio cartografico in scala 1:2000, con indicazione delle coordinate UTM.

#### 4.1 - Modalità tecniche di realizzazione dell'opera di captazione

La realizzazione di un pozzo per acqua può essere suddivisa in diverse fasi operative:

- ▶ La perforazione, che può essere realizzata in diversi "step", con diametri decrescenti;
- ▶ Il completamento, che consiste nel posizionamento della tubazione definitiva e nel condizionamento dell'intercapedine tra parete del perforo e tubazione definitiva;
- ▶ Le operazioni di spurgo e sviluppo e le prove di pompaggio, che consistono nell'eliminare il fango di circolazione e l'acqua di falda contenete i residui della perforazione, mediante air-lift o pompaggio forzato. Queste operazioni hanno termine quando la portata emunta non presenta torbidità o residui solidi. Nel caso specifico tale fase, condotta mediante pompaggio, ha portato alla chiarificazione dell'acqua in tempi molto brevi, a testimonianza della buona calibrazione del sistema dreno artificiale - filtri.

#### 4.2 - Perforazione e stratigrafia rilevata

La prima fase della perforazione è consistita nella realizzazione di un avampozzo del diametro di 700 mm, realizzato mediante sonda a percussione; tale avampozzo è stato rivestito con una tubazione provvisoria in acciaio, della profondità di 6 m, tubazione estratta a fine lavori. Successivamente si è proceduto alla perforazione a "circolazione inversa" con diametro di 444 mm, sino a fondo foro (circa 62 m dal PC).



FIGURA 14

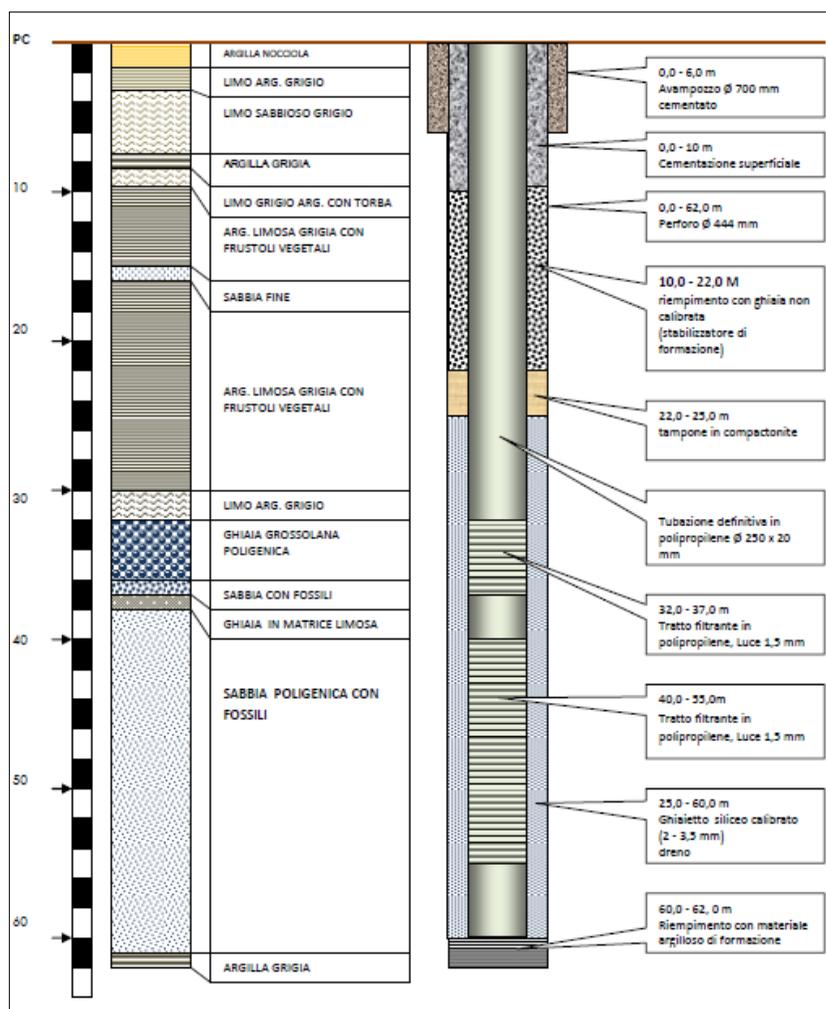
La perforatrice in posizione.

La perforazione a rotazione a "circolazione inversa" costituisce una variante del tradizionale metodo della perforazione a rotazione (circolazione diretta); in questa variante il percorso del fango di circolazione parte dalla vasca di accumulo, viene immesso nell'intercapedine aste-perforo e risale dall'interno delle aste di perforazione sino alla vasca. La risalita del fluido dentro le aste è resa possibile dalla miscelazione di fango e aria compressa appositamente iniettata poco al di sopra dello scalpello di perforazione; tale miscela "leggera" è spinta in alto dal peso del fango nell'intercapedine. Nei terreni alluvionali questo metodo permette di eseguire perfori di medio - grande diametro con elevata velocità di avanzamento.

Il fango di perforazione è costituito da acqua miscelata con l'argilla di formazione, senza aggiunta di bentonite o altro additivo (detta anche "perforazione ad acqua chiara").

Di seguito la stratigrafia rilevata:

0,00 - 2,00 m	Argilla nocciola
2,00 - 3,00 m	Limo argilloso grigio
3,00 - 7,50 m	Limo sabbioso grigio
7,50 - 8,50 m	Argilla grigia
8,50 - 10,00 m	Limo argilloso grigio con torba
10,00 - 15,00 m	Argilla limosa grigia con frustoli vegetali
15,00 - 16,00 m	Sabbia fine grigia
16,00 - 30 m	Argilla limosa grigia con frustoli vegetali
30,00 - 32,00 m	Limo argilloso grigio
32,00 - 36,00 m	Ghiaia grossolana poligenica
36,00 - 37,00 m	Sabbia grossolana con fossili
37,00 - 38,00 m	Ghiaia in matrice limosa
38,00 - 61,00 m	Sabbia poligenica con fossili
61,00 - 62,00 m	Argilla grigia



**FIGURA 15**  
Colonna stratigrafica e schema di completamento del pozzo.



**FIGURA 16**  
Scalpello "Tricon a rulli" 17" 1/2 (444 mm).



**FIGURA 17**  
Aste di perforazione a circolazione inversa, con tubicini laterali per l'aria compressa.



**FIGURA 18**  
Ghiaia (32 - 36 m) e sottostante sabbia.



**FIGURA 19**  
Ghiaia poligenica (32 - 36 m).



**FIGURA 20**  
Operazioni di tubaggio.



**FIGURA 21**  
Tubazione in polipropilene "Riccini ecopozzo", Particolare.



**FIGURA 21**  
Tubazione in polipropilene, parti filtranti con giunzione filettata.



**FIGURA 21**  
Tubazione in polipropilene, sezione.

### 4.3 - Completamento

Il tubaggio definitivo del pozzo è stato eseguito mediante posizionamento di una colonna costituita da tubo in polipropilene (Riccini ecopozzo) del diametro di 250 mm, con uno spessore di 20 mm, con giunzioni filettate. Tale materiale presenta un'ottima resistenza meccanica unitamente alla elevata durabilità del materiale, immune da fenomeni di corrosione.

Le parti filtranti di tale colonna (con finestratura orizzontale di luce 1,5 mm) sono state posizionate alle quote corrispondenti ai principali orizzonti produttivi:

- ▶ 32,0 - 37,0 m, in corrispondenza del livello ghiaioso;
- ▶ 40,0 - 55,0 m, in corrispondenza della parte centrale dello spessore sabbioso.

Le parti restanti della tubazione son costituite da tubo cieco.

La tubazione raggiunge i 60 m di profondità dal PC.

Il condizionamento dell'intercapedine tra tubazione definitiva e parete del perforo è stata eseguita posizionando ghiaia silicea del Ticino, granulometria 2 - 3,5 mm, con funzione di drenaggio artificiale, da fondo foro sino a 25 m. Ottenuta la stabilizzazione ed il compattamento del dreno (mediante pompaggio) si è proceduto alla realizzazione di un setto impermeabile costituito da pellets bentonitico rigonfiante, atto ad impedire la comunicazione tra l'orizzonte acquifero captato ed il livello freatico superiore (tampone posto tra 25 e 22 m dal PC).

Il settore superiore dell'intercapedine, da - 22 m a - 10 m dal PC, è stato condizionato mediante posizionamento di ghiaia minuta non calibrata con funzione di stabilizzazione della parete del perforo

Dalla quota di - 10 m, sino al PC è stata eseguita la cementazione dell'intercapedine, con funzione di stabilizzazione dell'opera e impedimento della percolazione di acque o eventuali inquinati dalla superficie.

### 4.4 - Prove di pompaggio

La prova di pompaggio di lunga durata è iniziata il giorno 6 giugno alle ore 10:20 ed è terminata il giorno 8 giugno alle ore 10:20 (48 ore).

Il livello statico d'inizio prova si colloca a -2,07 m dal PC, la portata costante è stata di 12,5 l/sec, 0,0125 mc/sec; dopo 48 ore di pompaggio il livello dinamico si è stabilizzato a - 6,44 m dal PC, quindi un abbassamento totale di 4,37 m.

Mediante il grafico 2, si è proceduto al calcolo del valore di trasmissività mediante la nota formula:

$$T = 0,183 * Q / C$$

Dove Q è la portata in mc/sec e C rappresenta l'abbassamento corrispondente ad un ciclo logaritmico (0,5 m).

La trasmissività risulta:  $T = 4,4 * 10^{-3}$  mq/sec



**FIGURA 22**  
Ghiaietto siliceo calibrato (2 - 3,5 mm) utilizzato come dreno artificiale.



**FIGURA 23**  
Posizionamento del ghiaietto e "spiazzamento" del fango di circolazione.



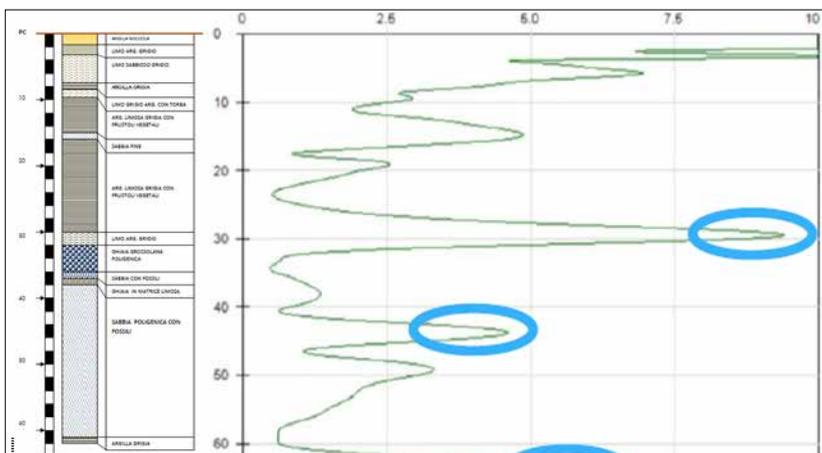
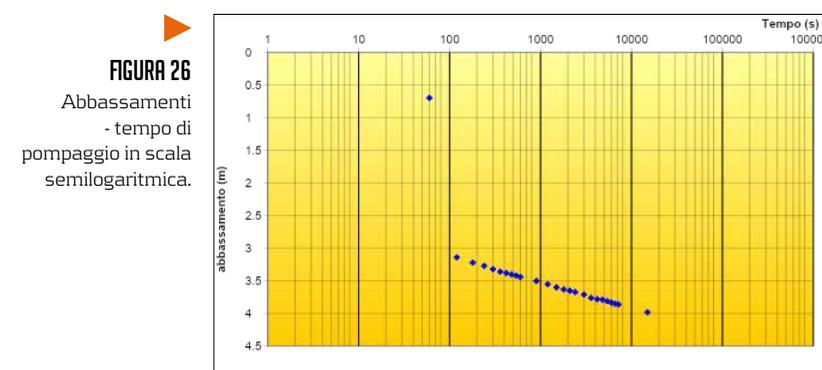
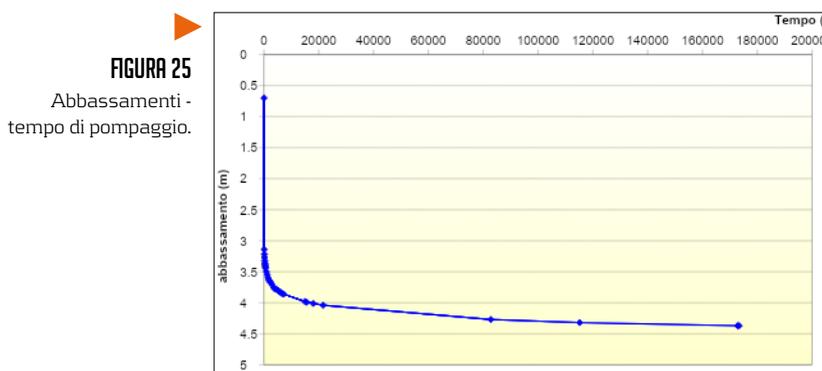
**FIGURA 24**  
Confezione di pellets bentonitici utilizzati per formare il setto impermeabile nell'intercapedine (25 - 22 m).

Si consideri che questo valore (elevato) è, nei fatti, una media di tutto il settore filtrato, non delle sole ghiaie. Considerando che una prova a gradini di portata crescente (non riportata per brevità) individua il punto critico alla portata di 17,5 l/sec, si ritiene la produttività del pozzo pienamente soddisfacente.

## 5. CONCLUSIONI

Come precedentemente specificato l'ubicazione della perforazione è stata individuata mediante l'analisi delle curve di conducibilità idraulica definite dalla indagine sismo elettrica e dalla contemporanea valutazione delle compatibilità logistiche, fattori che hanno determinato la scelta del sito SE2.

La profondità del pozzo è stata definita in base al report stratigrafico che, avendo individuato un consistente livello di ghiaie acquifere ed un sottostante orizzonte di sabbie, ha portato a ritenere soddisfacente la portata prevista. Le prove di pompaggio eseguite hanno confermato la previsione individuando nella portata di 12,5 l/sec la portata di esercizio, inferiore ai 17,5 l/sec segnalata come portata critica.



Il confronto tra la stratigrafia rilevata e la curva di conducibilità idraulica relativa al sito SE2 mostra una ottima corrispondenza tra la previsione geofisica e quanto realmente intercettato dalla perforazione: si nota infatti che il picco principale della curva di conducibilità idraulica [- 30 m dal PC] mostra uno scarto di soli due metri dal tetto dell'acquifero in ghiaia intercettato dalla perforazione a - 32 m dal PC.

La curva di conducibilità idraulica ha segnalato con precisione anche il modesto livello di sabbie pulite intercettato a - 15 m dal piano campagna.

Le variazioni di conducibilità idraulica segnalate dall'indagine in corrispondenza del livello di sabbie presente tra -38 m e - 60 m sono imputabili all'anisotropia interna al medesimo livello, con possibili intervalli di materiali fini e meno permeabili che la perforazione a circolazione inversa non

ha permesso di individuare con precisione.

La discrepanza tra la profondità del tetto dell'acquifero riscontrato nella perforazione e quella prevista dal rapporto tecnico di Sismoelettrica Srl dipende sostanzialmente dall'accuratezza del modello di velocità in prof. in quanto le velocità sismiche variano in base al mezzo di trasmissione. Dai risultati è chiaro che il rilievo elettro sismico fornisce risultati accurati se si utilizza la corretta velocità sismica per la scala di profondità. Il rilievo elettro sismico fornisce informazioni preziose in merito alle possibili presenze di orizzonti acquiferi e alla stratificazione fisica del mezzo. Queste informazioni possono essere utilizzate per costruire un modello concettuale del sottosuolo per la gestione e la protezione dell'acquifero e per posizionare strategicamente i fori di trivellazione.

## BIBLIOGRAFIA

Francesco Baldacci (dip. di Scienze della terra, UNIFI) - Struttura e piezometria del "1° acquifero in ghiaia" della Pianura di Pisa. In "La macro - area: La pianura di Pisa", Vol. 1 - Pubblicazione a cura del comune di Pisa.

Giovanni Sarti (Dip. Di Scienze della terra, UNIFI) - La Pianura di Pisa. In "La macro - area: La pianura di Pisa", Vol. 1 - Pubblicazione a cura del comune di Pisa.

Luciano Sergiampietri (libero professionista, Pisa) - Indagine idrogeologica per il reperimento di nuove fonti di approvvigionamento idrico nell'area dei Monti D'oltre Serchio e margine occidentale del Monte Pisano - studio commissionato da "Acque Ingegneria" - Pisa, 2005

Niels Grobbe and André Revil - The microscale origin of the seismoelectric effect: Electrokinetics, Streaming Potential - in "Seismoelectric Exploration: Theory, Experiments and application, Geophysical Monograph 252, First edition - American Geophysical Union, 2021.

Garambois S and Dietrich M 2002. Full waveform numerical simulations of seismoelectromagnetic wave conversions in fluid-saturated stratified porous media. Journal of Geophysical Research, 107 (B7).

Oleg V, Mikhailov OV, Haartsen MW and Toksoz MN 1997. Electro seismic investigation of the shallow subsurface: Field measurements and numerical modeling. Geophysics, 62(1): 97 - 105.

Pride SR 1994. Governing equations for the coupled electromagnetics and acoustics of porous media. Phys. Rev. B, 50(15): 678 - 696.



**Geognostica e  
consolidamento terreni**

[www.mappogeognostica.it](http://www.mappogeognostica.it)

**Mappo Geognostica srl**

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

email: [mappogeognostica@virgilio.it](mailto:mappogeognostica@virgilio.it)





**ogt**  
ORDINE dei  
GEOLOGI della  
TOSCANA



ANNO XXXVI N°125 • LUGLIO 2025

Periodico d'informazione dell'Ordine dei Geologi della Toscana

#### **DIRETTORE RESPONSABILE**

Riccardo Martelli

#### **COORDINAMENTO EDITORIALE**

Alessandro Danesi

#### **CONSIGLIO DELL'ORDINE**

Alessandro Cortopassi, Alessandro Danesi, Daria Duranti, Simone Frosini, Chiara Lapira, Elisa Livi, Gaddo Mannori, Riccardo Martelli, Samuel Medoro, Iacopo Parenti, Monica Salvadori

#### **COMMISSIONE SCIENTIFICA**

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

#### **COMITATO DI REDAZIONE**

Giancarlo Lari, Guido Lavorini, Stefano Farinelli, 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](mailto:il_geologo@geologitoscana.it)  
[www.geologitoscana.it](http://www.geologitoscana.it)

#### **PUBBLICITÀ**

Agicom srl  
Viale Caduti in Guerra, 28 - 00060 Castelnuovo di Porto (RM)  
Tel. 069078285 - fax 069079256  
[agicom@agicom.it](mailto:agicom@agicom.it)  
[www.agicom.it](http://www.agicom.it)

#### **CREATIVITÀ E GRAFICA**

Agicom Graphic Ideas

#### **STAMPA**

Spadamedia Srl

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

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





**+** KELLER

# KELLER PRESSURE

THE ORIGINAL SINCE 1974



## KELLER QUALITY

- Piezoresistive pressure measurement technology of the highest quality
- Pressure sensors with maximum accuracy
- Half a century of experience
- Unique measuring and testing expertise
- Custom Solutions
- Swiss Made

[keller-pressure.com](http://keller-pressure.com)

