



# Centro Studi Geologici

**GEOLOGIA TECNICA**

56024 Ponte a Egola (PI) – P.zza G.Rossa n.21

[geo@robertochetoni.com](mailto:geo@robertochetoni.com)

**Comune di Pomarance**

**Provincia di PISA**

**ISTANZA DI PERMESSO DI RICERCA PER ACQUE MINERALI E TERMALI  
DENOMINATO “SORGENTE SAN MICHELE”  
NEL COMUNE DI POMARANCE (PI)**

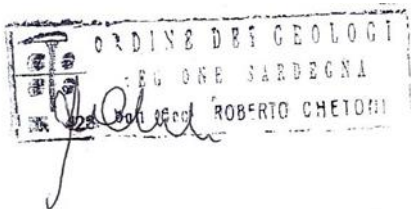
**RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA**

**ALLEGATO A – PUNTO F DEL DPGR 11/R/2009**

**SETTEMBRE 2021**

DR. GEOL. ROBERTO CHETONI

COMMITTENTE: SMAF SRL



GEOL. DEBORA LATINI



*Dr. Roberto Chetoni geologo*

**ISTANZA DI PERMESSO DI RICERCA PER ACQUE MINERALI E TERMALI**  
**DENOMINATO "SORGENTE SAN MICHELE"**  
**NEL COMUNE DI POMARANCE (PI)**  
**RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA**

---

**PREMESSA**

La presente relazione è parte integrante degli elaborati tecnici prodotti dalla Società SMAF SRL ai fini del rilascio del Permesso di ricerca per acque minerali e termali denominato "Sorgente San Michele" in località Bagni San Michele, nel Comune di Pomarance (PI), come richiesto dalla normativa regionale vigente in materia di sfruttamento delle acque minerali e termali.

In particolare il DPGR n.11/R del 24/03/2009, attuativo della L.R. 38/2004 e ss.mm.ii., disciplina la ricerca, la coltivazione e l'utilizzazione delle acque minerali, di sorgente e termali. Dal momento della pubblicazione del Regolamento sul BURT (n.9, parte I del 30 marzo 2009) la LR n.38/2004 diventa pienamente operativa, adeguando così la normativa regionale a quella dell'Unione Europea.

Il presente studio costituisce pertanto la "relazione geologica" richiesta dal suddetto regolamento per il rilascio del Permesso di Ricerca (Allegato A – punto F del DPGR 11/R/2009). Ha dunque lo scopo di evidenziare il quadro di dettaglio geo-morfologico, geologico strutturale e idrogeologico, l'ubicazione delle sorgenti e dei pozzi esistenti, le informazioni circa il loro stato attuale, la caratterizzazione chimico-fisica delle acque sotterranee affioranti nell'area e di quelle obiettivo della ricerca, e ogni altro elemento utile alla comprensione del modello idrogeologico alla scala del bacino di ricarica.

Una volta acquisite le conoscenze geologiche e soprattutto idrogeologiche dei terreni compresi nell'area richiesta in Permesso di Ricerca, sarà possibile risalire alle caratteristiche peculiari della falda da studiare e dunque individuare le aree e le metodologie migliori per un corretto e razionale sfruttamento della risorsa idrica mediante opere di captazione.

Come specificato nell'istanza, l'area richiesta in Permesso di Ricerca ha dimensioni pari a circa 185,70 Ha di terreno ed è stata delineata sulla base dell'assetto geologico-strutturale regionale e della presenza di evidenze idrogeologiche minerali locali, ovvero di alcune sorgenti captate e non, partendo da quanto già noto.

Trattandosi di uno studio geologico ed idrogeologico conoscitivo sono state prese in esame innanzitutto le evidenze geologiche ed idrogeologiche delle zone comprese nella spezzata tracciata nella planimetria allegata (su base CTR scala 1:25.000 e scala 1:10.000, e delle zone limitrofe); questo studio è stato basato essenzialmente sulla

verifica delle conoscenze attualmente note nell'area, nonché sulle conoscenze geologiche ed idrogeologiche acquisite attraverso la documentazione bibliografica esistente.

Sulla base dei risultati così ottenuti è stato redatto un programma dei lavori da svolgere durante il Permesso di Ricerca, grazie al quale sarà possibile acquisire una conoscenza dettagliata dell'assetto geologico ed idrogeologico dell'area in oggetto, nonché dei parametri idrochimici ed idrodinamici dell'acquifero che verrà individuato durante le indagini; il tutto servirà a verificare la possibilità e la potenzialità di sfruttamento della falda termo-minerale per creare i presupposti per una razionale e corretta protezione dell'acquifero. Inoltre il programma prevede la progettazione e la realizzazione di nuove captazioni esplorative nonché il monitoraggio della risorsa idrica captata o naturalmente fluente.

L'indagine è stata commissionata a questo studio dalla Società SMAF srl con sede legale e operativa in Via Atene 10 nel Comune di Ponsacco (PI).

### **INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOMORFOLOGICO E CLIMATICO DELL'AREA DI STUDIO**

Il Comune di Pomarance è situato nella parte sud-orientale della Provincia di Pisa e confina, nei suoi limiti meridionali, con le Province di Grosseto e Firenze. Il territorio comunale si estende per circa 230 km<sup>2</sup> tra il bacino del fiume Cecina, che ne segna il confine settentrionale, ed il bacino del fiume Cornia. Confina con i Comuni di Volterra, Castelnuovo Val di Cecina, Radicondoli, Monterotondo Marittimo, Monteverdi Marittimo e Montecatini Val di Cecina. Considerando l'area vasta Pisa, Firenze, Siena, Volterra, Massa Marittima, litorale tirrenico e Livorno, la posizione è strategicamente baricentrica.

Oltre al capoluogo il territorio comunale ospita 8 frazioni: da Nord a Sud Montegemoli, Micciano, Libbiano, S. Dalmazio, Montecerboli, Larderello, Serrazzano e Lustignano. Oltre a tali centri, le varie fasi di antropizzazione hanno dato origine a numerosi nuclei rurali sparsi in un'area dal grande valore ambientale e paesaggistico.

Il territorio del Comune di Pomarance si caratterizza per un'ampia serie di elementi geologici, morfologici, idrologici ed idrogeologici che lo identificano come una realtà di tipo intermedio tra quella collinare vera e propria, che predomina a Nord fino alla pianura del Cecina, a quella montana, che prevale invece verso Sud dove, in prossimità di Monte Gabbri, vengono superati i 550 m s.l.m.; da qui i rilievi salgono ancora fino a raggiungere i 700 m sulle pendici del Monte Vado la Lepre, ubicato però nel comune di Castelnuovo Val di Cecina.

Si possono quindi distinguere nel territorio di Pomarance due settori (Nord e Sud) con morfologia sensibilmente diversa.

Il limite tra i due settori coincide con un importante lineamento tettonico, avente direzione NWSE evidenziato dall'andamento delle valli dei Torrenti Trossa e Racquese. Infatti nel tratto compreso tra questi due torrenti ed il Fiume Cecina, zona Nord, affiorano prevalentemente terreni Neogenici di ambienti fluvio-lacustri e marini.

Il paesaggio che ne consegue è tipicamente collinare, caratterizzato da forme del terreno ondulate e da valli aperte lì dove prevalgono formazioni argilloso-sabbiose, da repentini salti di morfologia dove alle argille si intercalano formazioni ghiaiose o litoidi, e da ampie superfici pianeggianti al tetto dei calcari detritico-organogeni e delle formazioni sabbioso-ghiaiose dei terrazzi alluvionali. In questo settore le quote massime raggiungono circa i 370 ml in corrispondenza di Pomarance.

A Sud dei torrenti Racquese e Trossa, le quote sono sensibilmente più elevate ed il paesaggio assume il tipico aspetto montuoso. Le formazioni che affiorano in questa porzione di territorio sono principalmente litoidi e disegnano il paesaggio secondo una morfologia aspra, le pendenze si accentuano e le valli sono molto incassate; in presenza di formazioni calcareo-marnose le forme si attenuano ed i versanti presentano pendenze più deboli.

L'aspetto più noto del territorio di Pomarance è il fenomeno della geotermia, che si manifesta attraverso i soffioni boraciferi e le sorgenti d'acqua calda. Questi fenomeni, oltre ad avere una grande importanza scientifica e geologica, sono stati un importante motore di sviluppo per quel che concerne gli aspetti economici ed industriali del territorio. Altro elemento caratterizzante il territorio di Pomarance sono le aree boscate che ricoprono i rilievi più alti e che sono in parte ricomprese nelle aree protette che in varia forma riguardano il Comune (SIR – pSIC – ZPS e Riserve Provinciali).

Riguardo l'aspetto idrografico, i collettori principali che interessano il territorio comunale sono rappresentati dal Fiume Cecina, che scorre lungo il confine nord del Comune drenando la gran parte del territorio comunale, e dal Fiume Cornia, che scorre nella porzione sud del territorio comunale al confine con il Comune di Castelnuovo Val di Cecina. Il Fiume Cecina interessa, infatti, il territorio di Pomarance dalla confluenza del suo affluente di sinistra Pavone fino alla confluenza sinistra del Torrente Trossa. In questo tratto, all'interno del territorio comunale, il Cecina accoglie i suoi affluenti di sinistra e le acque che scolano dai loro bacini imbriferi: il Torrente Trossa, il Botro del Bonicolo, il Botro dell'Arbiaia, il Torrente Possera e il Torrente Pavone.

Il bacino del Fiume Cornia interessa, invece, la parte più meridionale del Comune di Pomarance con i suoi principali tributari di sinistra che risultano essere il Fosso dei Lagoni, il Rio di Lustignano e il Botro del Guardigiano.

Una porzione limitata del territorio fa invece riferimento al Bacino del Torrente Sterza con i suoi tributari di destra, Torrente Ritasso e Botro del Risecco.

Il letto alluvionale delle aste fluviali principali, costituite dai fiumi Cecina e Cornia, e dai torrenti Trossa, Pavone e Possera, presenta caratteristiche del tipo a "Rami divaganti" o "Braided stream", caratteristico dei corsi d'acqua in fase di accumulo. Il fondovalle è quindi pressoché piatto ed ampio con estensioni che possono arrivare ai 1000 m per il Fiume Cecina e ai 350 m per il Fiume Cornia.

Le valli percorse dai torrenti minori sono invece incise e prive di coltri alluvionali e tutte in fase di approfondimento. Talvolta le valli di alcuni torrenti, come quella del Botro del Bonicolo e del Botro dell'Arbiaia che provengono da zone dove affiorano terreni prevalentemente argillosi e facilmente aggredibili, presentano valli prive di ciottoli con corsi d'acqua tipici di canali di pianura.

Relativamente al sistema di regimazione e deflusso delle acque, si rileva che nel territorio comunale è ancora ben conservato il sistema idraulico principale costituito da fiumi, torrenti, botri e rii, e spesso marcato da una ampia fascia boschiva. Anche il sistema minore di regimazione, costituito da canalette e capofossi, è, nella gran parte del territorio aperto, ancora ben conservato, in quanto solo nelle zone dove la coltivazione è evoluta nell'ultimo secolo verso forme estensive, il sistema minore è stato cancellato. Tale modifica ha dato luogo a forme di ruscellamento diffuso e di soliflusso. Risultano a rischio di esondazione la gran parte del fondovalle dei Fiumi Cecina e Cornia e dei Torrenti Trossa, Pavone e Possera; in minor misura risultano a rischio di esondazione, relativamente alle zone di fondovalle più ampie, il Fosso Adio, il Botro del Fiascolla ed il Torrente Rimonese, nei tratti immediatamente a monte della loro confluenza con il Torrente Trossa. Infine il Botro del Riseco ed il Torrente Ritasso risultano anche loro a rischio di esondazione, sebbene per areali minimi in quanto scorrono all'interno di alvei fortemente incassati.

L'area richiesta in permesso di ricerca si sviluppa a sud dell'abitato di Pomarance ed è compresa tra Montecerboli, San Dalmazio a est e il Torrente Racquese a nord. Il Fosso Radicagnoli e il Botro Cereale che scorrono all'interno dell'area oggetto di studio si immettono a nord nel Torrente Racquese. L'area inoltre comprende la località Bagni San Michele e l'eremo di San Michele alle Formiche.

L'area è inserita nel "*Foglio 295 II Pomarance*", della carta topografica d'Italia in scala 1:25.000, e nella carta tecnica numerica regionale in scala 1:10.000 "*Foglio n.295110 – Pomarance Sud*". I vertici che delimitano l'area chiesta in permesso di ricerca per acqua termominerale sono geograficamente univoci ed individuati come riportato nella cartografia allegata (Tavole 1 e 2), e corrispondono alle coordinate di seguito elencate:

VERTICE	COORDINATE GAUSS BOAGA		COORDINATE UTM	
I	4 792 832 N	1 651 729 E	4793014 N	651784 E
II	4 792 401 N	1 652 713 E	4792583 N	652767 E
III	4 791 532 N	1 652 814 E	4791714 N	652869 E
IV	4 791 121 N	1 652 666 E	4791303 N	652721 E
V	4 791 209 N	1 651 785 E	4791391 N	651840 E
VI	4 792 413 N	1 651 206 E	4792595 N	651261 E

Il clima, in rapporto alla complessa morfologia, all'esposizione, alla vicinanza dell'Appennino è ovviamente variabile.

Il clima del bacino del fiume Cecina è di tipo mediterraneo, con deficit idrico nel periodo estivo; infatti, la piovosità risulta maggiormente concentrata nel periodo autunno-invernale e minime precipitazioni in quello estivo. Le temperature medie annue sono di circa 14°-15° nella parte collinare del bacino e un po' superiori nella porzione valliva. Il clima del Comune di Pomarance è di tipo temperato caldo-sub-umido.

I dati pluviometrici indicano una piovosità media annua di 700-800 mm/anno per una durata di circa 80-90 gg ed una T media di 10-12 ° C. I mesi più caldi sono Luglio e Agosto in cui si registra un periodo discretamente siccitoso, mentre il mese più piovoso è Novembre ed il più freddo Gennaio. I mesi autunnali sono quelli in cui le precipitazioni cadono con maggior abbondanza ed intensità, mentre nel periodo primaverile risultano meno intense, ma molto abbondanti. Con il procedere dell'inverno diminuisce l'abbondanza e l'intensità delle piogge, le temperature si fanno rigide ed aumenta la possibilità di manifestazioni nevose. Le massime escursioni termiche si verificano nei mesi estivi (12-13°C), mentre le differenze minime si riscontrano nel periodo invernale (8-9°C). Nella seguente tabella sono riportati in maniera schematica i dati climatici salienti dell'area di Pomarance-Larderello riferiti a medie trentennali.

### Stazione meteorologica di Pomarance Larderello

In relazione ai dati termometrici la media trentennale 1961-1990 calcolata dall'ENEA sulla base delle osservazioni meteorologiche effettuate nel medesimo trentennio riporta i dati seguenti. La temperatura media del mese più freddo, gennaio, si attesta a +6,1 °C; quella del mese più caldo, luglio, è di +22,6 °C. Le precipitazioni medie annue si attestano a 892 mm, distribuite mediamente in 89 giorni di pioggia.

POMARAN- LARDERELLO	Mesi												Stagioni				Anno
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Inv	Pri	Est	Aut	
T. max. media (°C)	9,3	10,4	13,0	16,7	21,4	25,4	28,7	28,6	24,5	19,0	13,5	9,8	9,8	17,0	27,6	19,0	18,4
T. min. media (°C)	2,9	3,3	4,6	6,9	10,5	13,8	16,5	16,7	14,1	10,3	6,7	3,3	3,2	7,3	15,7	10,4	9,1
Precipitazioni (mm)	76	83	76	61	70	52	42	51	70	114	118	79	238	207	145	302	892
Giorni di pioggia	9	9	9	8	8	6	4	4	6	8	10	8	26	25	14	24	89
Vento (direzione-m/s)	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	4,4	4,3	3,9	4,1	4,2

## **COERENZA DEL PROGETTO CON LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE VIGENTE**

La pianificazione in Regione Toscana, come normato dalla LR 65/2014 e ss.mm.ii., è strutturata a più livelli di dettaglio e prevede l'interazione di diversi strumenti di pianificazione territoriale a maglie sempre più strette.

Partendo dal PIT a livello regionale, ciascun progetto proposto deve risultare coerente anche con strumenti di maggior dettaglio quali il PTCP provinciale, per quanto ancora vigente, il PS/RU/PO comunale nonché con strumenti trasversali quali il PGRA per gli aspetti idraulici ed il PAI per gli aspetti geomorfologici redatti dal Distretto dell'Appennino settentrionale- Bacino Toscana Costa. Seguono poi una serie di piani di settore che non hanno sempre valenza prescrittiva ma spesso comunque di indirizzo, e pertanto utili per le valutazioni riportate nel presente studio. Dall'analisi degli strumenti di cui sopra, quindi, è possibile tracciare un quadro conoscitivo dettagliato dell'area di studio e valutare la fattibilità degli interventi proposti alla luce della verificata coerenza con gli strumenti stessi.

Per il caso in esame, come vedremo nei paragrafi successivi, la coerenza con i piani e programmi vigenti è chiaramente verificata, in quanto trattasi di indagini non invasive e finalizzate esclusivamente alla ricerca. Pertanto eventuali prescrizioni e direttive circa la compatibilità delle opere con le caratteristiche morfologiche, ambientali e urbanistiche tracciate negli strumenti suddetti, risultano appieno verificate.

Inoltre per il territorio richiesto in Permesso di ricerca, come concluso nello studio di massima per la valutazione delle modifiche ambientali che le attività di ricerca programmate comportano sull'ambiente (Allegato all'istanza di rilascio del permesso di ricerca stesso), è plausibile ritenere che la diffusione di eventuali agenti inquinanti, puntiformi o diffusi, avvenga al di fuori dalla zona in esame, caratterizzata invece da uno scarsissimo grado di insediamento umano e di interazione antropica. Di conseguenza appare dunque che anche la vulnerabilità degli acquiferi qui presenti sia da considerarsi di basso grado. Dallo studio delle caratteristiche geologiche e idrogeologiche dell'area, alla luce anche delle considerazioni in merito agli impatti potenziali sul suolo/sottosuolo e acqua prevedibili, si deduce quindi che la realizzazione delle indagini non comporterà neanche interferenze significative con l'assetto geologico-idrogeologico dell'area.

La realizzazione del progetto si giudica quindi compatibile anche con il quadro geologico al contorno, come dettagliato nei paragrafi successivi. Di seguito si riporta un breve approfondimento in merito a quanto previsto dagli strumenti di pianificazione comunale:

### ***Il Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico:***

Il Comune di Pomarance è dotato di Piano Strutturale (PS) ai sensi dell'art. 53 della Legge Regionale n. 1 del 3 gennaio 2005, adottato il 16 gennaio del 2007 con Del. C.C.

n.1 ed è stato approvato il 29 giugno 2007 con Del. C.C. n. 42 e pubblicato sul BURT n. 35 del 28 agosto 2007.

Il Regolamento Urbanistico del Comune di Pomarance è stato adottato il 16.04.2009 con D.C.C. n.24, è stato pubblicato sul BURT il 06.05.2009 ed è rimasto depositato, affinché tutti i cittadini ne potessero prendere visione, presso gli uffici comunali sino ad agosto del 2009. A seguito di una parziale riadozione di parte del RU la conclusione del processo pianificatorio si è avuta definitivamente nel ottobre 2011 con deliberazione di approvazione n. 67 del 07/11/2011.

Analizzandone gli elaborati emerge un quadro chiaro e puntuale del territorio che andremo a studiare con il Permesso di Ricerca richiesto, sia dal punto di vista idraulico-idrogeologico che dal punto di vista naturalistico-vincolistico. Per i dettagli cartografici si rimanda alle tavole allegate alla presente relazione, nella quale sono riportati gli estratti delle cartografie tematiche del P.S. e del RU comunale.

In merito all'uso del suolo, PIT – PTCP – PS confermano la presenza per l'area in esame di tre principali tipologie di utilizzo di suolo, ovvero boschi cedui fitti, bosco d'alto fusto di conifere rado e degradato, seminativo arborato a olivo e seminativo semplice asciutto.

Dal punto di vista geologico, come sarà descritto nel successivo paragrafo e visibile nella carta geologica a supporto del PS comunale, il territorio in esame appartiene per la sua interezza geologicamente ai terreni delle Unità Liguri caratterizzate dalle seguenti unità: Unità di Monteverdi Marittimo-Lanciaia (Formazione di Lanciaia CAA), Unità Ofiolitifera di Montaione (Formazione di Montaione MIO) e Unità Ofiolitifera delle Argille a Palombini (Formazione delle Serpentiniti  $\Sigma$ ).

Inoltre si riconoscono, nell'intorno dell'area in permesso di ricerca anche le Successioni plioceniche e Mioceniche del Neautoctono Toscano, in particolare le seguenti formazioni: Argille del T. Fosci (FOS-miocene), Formazione del T. Racquese (RAQ-miocene), calcareniti di San Mariano (CMA-pliocene), Formazione di Serrazzano (SRZ-SRZC-pliocene).

Dal punto di vista delle tipologie di dissesto l'area del permesso di ricerca è caratterizzata da due forme di paesaggio predominante, riconducibili alle diverse caratteristiche litologiche dei terreni che costituiscono il substrato:

- a) forme influenzate dalla struttura in rocce massive*
- b) forme delle colline neogeniche*

### Forme influenzate dalla struttura in rocce massive

Caratterizzano la parte centrale del territorio comunale, laddove affiorano estesamente rocce appartenenti al complesso ofiolitico quali serpentiniti, gabbri e basalti.

Queste rocce mostrano generalmente una struttura massiccia e danno origine a forme accidentate, caratterizzate da ripidi versanti, osservabili in prossimità degli abitati di Libbiano, Micciano e Montecerboli e nell'area dei bagni San Michele. I fenomeni di dissesto, quando presenti, sono comunque di estensione limitata.

### Forme delle colline neogeniche

Sono presenti nella parte settentrionale ed all'estremità meridionale del territorio comunale dove affiorano terreni riferibili al Miocene ed al Pliocene nei quali la componente argillosa è spesso prevalente.

La morfologia di queste zone risulta pertanto caratterizzata da forme arrotondate: sui versanti intensamente sfruttati a scopo agricolo, si sviluppa un elevato numero di dissesti come conseguenza delle mediocri caratteristiche meccaniche di questi terreni.

I movimenti interessano generalmente gli impluvi e sono causati dall'azione dell'acqua che si esplica nel rammollimento della componente argillosa e nella riduzione dell'attrito fra i granuli del terreno; la profondità delle superfici di scivolamento non è molto elevata ed i movimenti franosi si presentano spesso come "*decorticamenti*" che raggiungono generalmente uno spessore massimo di due metri. Per tale motivo i principali insediamenti si sono sviluppati in corrispondenza degli affioramenti dei litotipi neogenici più compatti come le calcareniti: Pomarance e San Dalmazio, o i conglomerati: Serrazzano e Lustignano.

Dal punto di vista geologico e geomorfologico l'area del permesso di ricerca risulta inserita per la maggior parte in classe G2 – pericolosità geomorfologica media: *"sono state inserite le aree in cui sono presenti fenomeni inattivi stabilizzati (naturalmente od artificialmente) e le aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto. Relativamente ai fenomeni inattivi stabilizzati, in sede di redazione della carta della pericolosità geomorfologica conforme al P.A.I. Bacino Toscana Costa (a supporto del Piano Strutturale), non essendo dettagliata una specifica classe di appartenenza per i suddetti fenomeni, questi sono stati inseriti in classe P.F.E., (vedasi Tavole 8) sovrastimando la loro fragilità geomorfologica e considerandole generalmente come "aree con indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'acclività, alla litologia.....".*

Nell' area del permesso di ricerca sono inoltre state cartografate n°4 frane inserite nella **Pericolosità Geomorfologica elevata G.3** e n°2 frane **nella Pericolosità Geomorfologica molto elevata G.4.**

Nella Pericolosità Geomorfologica elevata G.3 sono state inserite le: *aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza. Lo stato di attività delle "aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti" è indicato nella Tavola B del Piano strutturale, mentre per la loro perimetrazione si fa riferimento alla cartografia della Pericolosità geomorfologica (Tavola L) del Piano Strutturale dove sono indicate con la sigla P.F.E. (Pericolosità da Frana Elevata ai sensi del P.A.I. Bacino Toscana costa). Sempre nella Pericolosità Geomorfologica elevata, sono state inserite le porzioni di paleofrane che non possono essere considerate stabilizzate presentando effettivamente "indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'acclività, alla litologia.....", quali cigli di scarpata, impluvi in erosione, fenomeni di soliflusso o di ruscellamento, zone con pendenze medie >25%, zone vicine a frane attive o quiescenti.*

Nella Pericolosità Geomorfologica molto elevata G.4 del D.P.G.R. n°26/r sono stati inseriti: *i fenomeni attivi (frane attive ed aree calanchive denudate) e le relative aree d'influenza. Per la individuazione dello stato di attività dei fenomeni si fa riferimento alla Tavola B del Piano strutturale mentre per l'individuazione delle aree di influenza si fa riferimento alla Tavola I del Piano Strutturale. Per la individuazione del perimetro da classificare in G4 si fa riferimento alle perimetrazioni presenti nella Tavola L del Piano strutturale ed indicate con la sigla P.F.M.E. (Pericolosità da Frana Molto Elevata ai sensi del P.A.I. Bacino Toscana costa).*

*Per quanto riguarda la pericolosità idraulica il permesso di ricerca non ricade in nessuna classe di pericolosità; l'area di studio presenta una pericolosità idraulica PIME – pericolosità idraulica molto elevata (P3) solo lungo gli alvei dei fossi presenti in particolare del Fosso Radicagnoli e il Botro del Cereale (20<T<50anni: **alluvioni frequenti** – elevata probabilità di accadimento, pericolosità **P3**).*

Per quanto riguarda la Pericolosità sismica locale dell'area rientra per la maggior parte in classe S2-media, mentre dove sono presenti i fenomeni franosi la zona rientra sia in classe S3-elevata che in classe S4-molto elevata.

**Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4):** aree in cui sono presenti fenomeni di instabilità attivi (1) e che pertanto potrebbero subire una accelerazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici;

**Pericolosità sismica locale elevata (S.3):** aree in cui sono presenti fenomeni di instabilità quiescenti (2A) e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di effetti sismici; zone potenzialmente franose o esposte a rischio frana (2B) per le quali non si escludono fenomeni di instabilità indotta dalla sollecitazione sismica; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dal luogo a cedimenti diffusi (4); zone con possibile amplificazione sismica connesse a zone di bordo della valle e/o aree di raccordo con il versante (8); aree di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche significativamente diverse(12); presenza di faglie e/o contatti tettonici (13).

**Pericolosità sismica locale media (S2):** zone con fenomeni franosi inattivi (3); aree in cui è possibile amplificazione dovuta ad effetti topografici (6-7); zone con possibile amplificazione stratigrafica (9,10,11) in comuni a media sismicità (zone 3).

Gli interventi previsti, alla luce del quadro conoscitivo sopra brevemente descritto nonché della disciplina di Piano, risultano del tutto conformi a quanto indicato dal Piano Strutturale e RU comunale.

Le considerazioni su pericolosità e fattibilità riportate negli strumenti comunali, come descritto nel precedente punto relativo al PS, permettono di ritenere che l'intero programma dei lavori sia compatibile con le destinazioni urbanistiche previste per l'area, alla luce della relativa pericolosità e fattibilità assegnate all'area di studio.

### **VINCOLI DEL TERRITORIO**

In merito ai vincoli gravanti sul territorio, dall'analisi della cartografia tematica allegata al Piano Strutturale del Comune di Pomarance, al Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa, al Piano di Indirizzo Territoriale della Regione Toscana, risulta che l'area in esame rientra all'interno del vincolo idrogeologico per la presenza di aree boscate, ed è pertanto soggetta a quanto prescritto dal R.D. 3267/1923 e ss., dalla L.R. n.39 del 21/03/2000 e ss.mm.ii. – Titolo V/capo I, art. 37 ss. nonché dal relativo Regolamento di attuazione DPGRT 48/R del 08/08/2003.

Nel caso dell'istanza di permesso di ricerca, pertanto, si intende la necessità di recepire l'eventuale autorizzazione per il vincolo idrogeologico da parte degli uffici competenti al momento in cui verrà presentato il progetto di pozzo esplorativo definitivo, terminati gli studi preliminari (rilevamenti, campionamenti ed eventuali indagini geofisiche) che

avranno carattere non invasivo e non apporteranno alcun cambiamento/variazione di destinazione d'uso del territorio, e decisa l'area nella quale realizzare il pozzo stesso.

Si ricorda comunque l'art.75 del DPGR 48/R/2003 in merito alle indagini geologiche recita quanto segue:

*"1. la realizzazione di opere, l'esecuzione di scavi finalizzati alla modificazione dell'assetto morfologico dei terreni vincolati, con o senza la realizzazione di opere costruttive, nonché l'esecuzione di riporti di terreno devono essere precedute da indagini geologiche atte a verificare la compatibilità degli stessi con la stabilità dei terreni.*

*2. I sondaggi e le altre prove necessarie alle indagini geologiche di cui al comma 1 sono eseguibili senza autorizzazione o dichiarazione purché comportino limitati movimenti di terreno senza la realizzazione di nuova viabilità di accesso o l'estirpazione di piante o ceppaie forestali"*

In ogni caso già adesso possiamo affermare che la realizzazione del pozzo esplorativo non apporterà significativi cambiamenti d'uso del suolo né disboscamenti, non sono previsti importanti movimenti di scavo e/o riporto di terreni e non si modificherà l'assetto idraulico dell'area. Infine sarà posta particolare attenzione alla regimazione delle acque superficiali. Comunque una relazione dettagliata verrà inoltrata a seguito della ricerca effettuata ed aver ubicato il pozzo esplorativo.

Dalla cartografia allegata agli strumenti urbanistici suddetti, poi, si evince che l'area è gran parte sottoposta a vincolo paesaggistico ai sensi della normativa vigente in materia (D.Lgs. 42/04 e ss.mm.ii.), come visibile dalla cartografia allegata. In particolare il vincolo sussiste nelle aree boscate (art. 142 lettera g – *territori coperti da boschi e foreste*), fasce di rispetto dei corsi d'acqua dalle sponde e/o argini di 150 m (art. 142 lettera c). E' quindi fatto obbligo, nel caso in cui verranno scelte queste aree per la realizzazione di un qualsiasi intervento, presentare l'eventuale e adeguata pratica edilizia per il superamento del vincolo paesaggistico specifico, ma anche in questo caso non comportando significativi movimenti di terra né opere fuori terra impattanti, si ritiene che dovrà essere valutata la necessità di acquisire un'autorizzazione paesaggistica.

Il sistema delle Aree Naturali Protette della Provincia di Pisa, come riportato nella carta del territorio della Provincia di Pisa, che riporta, alla data dell'anno 2004, l'attuazione delle due Leggi della Regione Toscana, la n. 49/95 e la n. 56/00 - con cui sono state recepite, rispettivamente, la normativa italiana sulle Aree Protette e la Direttiva Comunitaria " Habitat " riguardante gli Habitat naturali e seminaturali - si può, facilmente, osservare come esso sia nettamente suddiviso una zona Nord (lato destro del Fiume Arno), con 1 Parco Regionale, 7 Aree Protette e 2 SIR, ed una Sud (lato sinistro del Fiume Cecina), con 4 Aree Protette e 8 SIR.

L'area di studio non rientra in alcuna delle precedenti aree afferenti alla Rete Natura 2000, né nelle aree naturali protette, parchi e riserve.

La Rete Natura 2000 è una rete ecologica europea coerente di Zone Speciali di Conservazione (ZSC), istituita nel 1992 con la Direttiva 92/42/CEE (Direttiva Habitat) con lo scopo di garantire il mantenimento ovvero, all'occorrenza, il ripristino, in uno stato di conservazione soddisfacente, dei tipi di habitat naturali e degli habitat delle specie interessati nella loro area di ripartizione naturale.

La Rete Natura 2000 comprende: - Zone a Protezione Speciale (ZPS), istituite dalla Direttiva 79/409/CEE (Direttiva Uccelli) per la tutela dei siti delle popolazioni di uccelli selvatici migratori. - Siti di Importanza Comunitaria (SIC), istituiti dalla citata Direttiva 92/43/CEE al fine di contribuire in modo significativo a mantenere o ripristinare in uno stato di conservazione soddisfacente un habitat naturale o una specie animale o vegetale di interesse comunitario.

Con la L. R. n. 56/2000 *"Norme per la conservazione e la tutela degli habitat naturali e seminaturali, della flora e della fauna selvatiche"* la Regione Toscana ha definito la rete ecologica regionale composta dall'insieme dei SIC, delle ZPS e da nuove aree chiamate SIR (Siti di Interesse Regionale). Queste ultime, non comprese nella Rete Natura 2000, sono state individuate al fine di contribuire in modo significativo a mantenere o ripristinare un tipo di habitat naturale o di una specie animale o vegetale di interesse regionale. Ai fini della citata L.R.56/2000 è considerato SIR anche un sito che nel corso dell'attuazione delle sopracitate Direttive viene classificato come SIC, ZPS o come ZSC.

Ai sensi dell'art. 3 della suddetta L.R. n. 56/2000 e nel rispetto delle norme tecniche di cui alla Delib.G.R. n. 644/2004, le Province provvedono all'attuazione delle misure di tutela e di conservazione dei SIC-SIR, anche mediante l'eventuale adozione di appositi Piani di Gestione, aventi la funzione di definire le azioni gestionali per la salvaguardia delle specie e degli habitat presenti nei siti, anche in relazione alle eventuali fonti di finanziamento disponibili. Al fine di garantire la conservazione della biodiversità e l'efficiente funzionamento della rete ecologica, le norme sopra citate attribuiscono un ruolo di primaria importanza alle aree di collegamento ecologico, ovvero le aree che, per la loro struttura lineare e continua o per il ruolo di collegamento, sono essenziali per la migrazione, la distribuzione geografica e lo scambio genetico di specie selvatiche, e che pertanto occorre tutelare mediante interventi di conservazione, riqualificazione e potenziamento.

L'area di studio è ubicata a est del sito Riserva naturale di Monterufoli Caselli (area naturale protetta di interesse locale), e quindi è esterna.

Situata al centro delle Colline Metallifere la Riserva Naturale Foresta di Monterufoli-Caselli si estende, su circa 4828 ettari, nei comuni di Pomarance, Monteverdi Marittimo e

Montecatini Val di Cecina, in Provincia di Pisa. Istituita nel 1997, ricompresa per gran parte nell'ambito del patrimonio agricolo-forestale regionale, l'area protetta costituisce oggi la più estesa Riserva Naturale della Toscana.

L'area del permesso di ricerca risulta esterna a n°4 importanti SIR, ubicati rispettivamente a ovest SIR 68 Complesso di Monterufoli, a Nord dell'abitato di Pomarance si trova il SIR 66 e 67 rispettivamente Macchia di Berignone-Tatti e Fiume Cecina e a est è presente il SIR B11 Rocca Sillana con un area archeologica.

## **EVOLUZIONE GEOLOGICA E PALEOTETTONICA**

### **INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE**

L'evoluzione geologica della Val di Cecina è legata alle vicende orogenetiche dell'Appennino Settentrionale, e gli affioramenti delle formazioni presenti in questo territorio permettono la ricostruzione della storia geologica di questo settore di Toscana da circa 250 milioni di anni fa ai giorni nostri.

L'ambito è stato interessato inizialmente da una tettonica compressiva che ha messo in posto le Unità Liguri sopra le Unità Toscane, e che ha determinato la strutturazione dei rilievi principali che delimitano l'ambito: la Dorsale medio Toscana, a nord di Volterra, la dorsale peri-tirrenica tra Chianni, Castellina e Montecatini Val di Cecina, e, a sud - est, le Colline Metallifere, che separano l'ambito dalla Val di Cornia.

Le litologie prevalenti nell'ambito appartengono al Dominio Ligure; rocce del Dominio Toscano affiorano solamente nei pressi di Castelnuovo Val di Cecina e sui rilievi tra Donoratico e San Vincenzo. Sono presenti diversi affioramenti di ofioliti, nelle unità Liguri, che rappresentano lembi del bacino oceanico ligure piemontese dislocati dai movimenti tettonici. I principali affioramenti si trovano nella zona di Monterufoli – Caselli, altri sono compresi in aree protette come la Macchia di Tatti e Berignone, Montenero e Valle del Pavone, e Rocca Sillana. A queste litologie spesso si associa la presenza di mineralizzazioni, in particolare di rame, che furono sfruttate fin dall'epoca etrusca, e che favorirono l'espansione di insediamenti come Montecatini Val di Cecina.

Alla fase compressiva seguì un processo distensivo che ha determinato la creazione di bacini (graben), separati da alti strutturali (horst), ancor oggi riconoscibili nel territorio. Questi bacini o fosse tettoniche, che nell'ambito della Val di Cecina sono rappresentate dal Bacino di Volterra – Val d'Era, della Val di Fine e della Bassa Val di Cecina, divennero inizialmente sede di bacini continentali, in cui si sedimentarono depositi di tipo fluvio lacustre, che con la prosecuzione della fase distensiva e dello sprofondamento si evolsero in bacini marini: a testimonianza di ciò restano numerosi rinvenimenti di fossili di organismi marini, tra cui lo scheletro di una balena. Tra i diversi ambienti che si erano

venuti a formare, l'alternanza di ingressioni marine e di ritiro delle acque, determinò la presenza di un dominio lagunare salmastro che favorì la deposizione di minerali come il gesso o il salgemma, particolarmente diffusi nella zona di Saline di Volterra, dove sono tuttora coltivati in miniera.

Circa 3 milioni di anni fa, nel Pliocene medio, l'area venne interessata da un lento e progressivo sollevamento che ha sollevato i sedimenti marini e fluvio-lacustri, e che ha determinato un assottigliamento della crosta terrestre che ha favorito l'insorgere di manifestazioni geotermiche per cui l'ambito è noto al mondo. In questa fase un corpo magmatico, dotato di varie ramificazioni, si intruse ad una profondità di circa 6/7 Km favorendo la nascita di un sistema idrotermale caratterizzato da emissioni di gas e acque termali, come soffioni, lagoni, fumarole, putizze e sorgenti termali, che caratterizzano le valli e i versanti dell'ambito tra Larderello e Lagoni Rossi. I fanghi e le acque ricche di minerali idrotermali vennero utilizzati a scopi terapeutici già dagli etruschi e dai romani, a cui seguì uno sfruttamento dei minerali associati alle manifestazioni geotermiche a partire dal Medioevo. Lo sfruttamento dell'energia geotermica per la produzione di energia elettrica iniziò a Larderello solo agli inizi del XX secolo quando il principe Ginori-Conti progettò un motore accoppiato ad una dinamo in grado di trasformare la forza del vapore in energia elettrica.

Questa fase venne accompagnata anche dalla messa in posto di corpi magmatici intrusivi che nel territorio dell'ambito sono rappresentati dalla Lamproite di Montecatini Val di Cecina o i Filoni porfirici a composizione trachandesitica e riolitica che si ritrovano sui Monti di Campiglia Marittima- San Vincenzo.

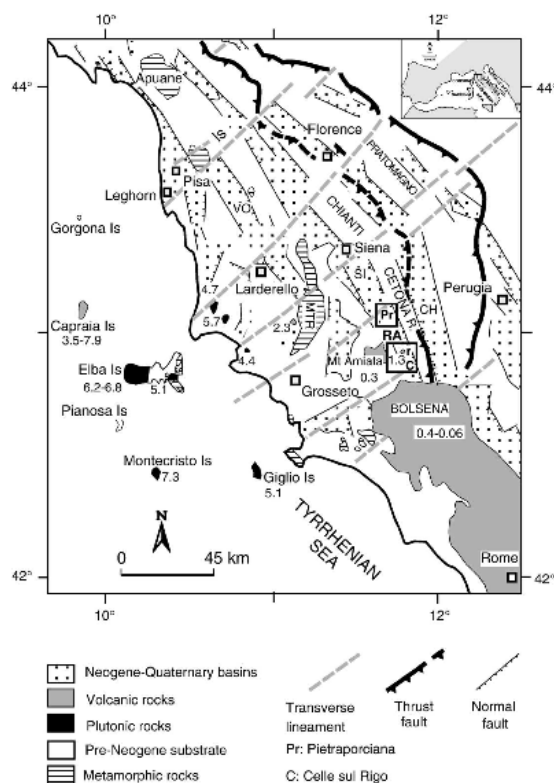
La pianura costiera è costituita da una copertura sedimentaria recente che sormonta un substrato costituito da unità liguri, sub liguri e toscane, ribassato da una serie di faglie ad alto angolo. Le unità che compongono la copertura sedimentaria appartengono a successioni continentali e marino lagunari Tortoniane e Pleistoceniche, organizzate in più cicli sedimentari. Questo sistema è sormontato da depositi fluviali recenti e da alluvioni terrazzate, depositi dal Fiume Cecina e dal Fiume Fine, e dalle sabbie di duna e di spiaggia della fascia costiera.

Molti autori si sono occupati dell'evoluzione tettonica dell'Appennino Settentrionale che può essere considerato come un frammento della cintura orogenica alpina (Sestini, 1970; Boccaletti et al. 1980; Carmignani and Kligfield, 1990; Fazzuoli et al. 1994; Bertini et al. 1994; Principi and Treves, 1984; Doglioni et al. 1998; Vai & Martini, 2001). Questa catena è il risultato derivante dalla convergenza (avvenuta nel Tardo Cretaceo-Eocene), dalla collisione (Oligocene-Miocene Inferiore) e dal serrage (Miocene Medio) dei margini continentali europeo (Blocco Sardo-Corso) ed africano (Microplacca Adria) in risposta alla subduzione dell'interposto dominio oceanico giurassico Ligure-Piemontese della Tetide

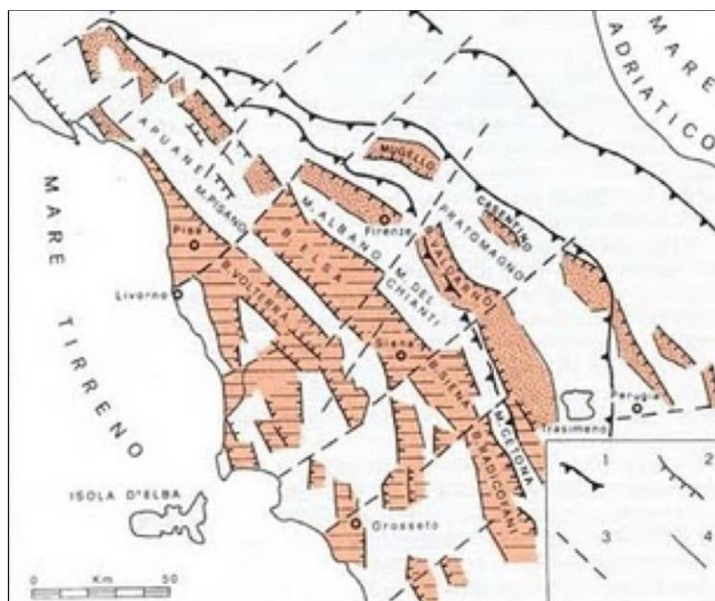
occidentale (Abbate et al. 1994; Fazzuoli et al. 1994; Bortolotti et al. 2001). L'attuale assetto tettonico dell'Appennino Settentrionale consiste nell'impilamento di unità oceaniche (Liguri non metamorfiche e Schistes Lustrés metamorfici di alta temperatura e bassa pressione, già arrangiati in un prisma di accrezione oceanico durante il Tardo Cretaceo-Eocene; Principi & Treves, 1984) sopra le differenti unità tettoniche-stratigrafiche derivate dal margine deformato ed accreto adriatico (Complesso Metamorfico Toscano, Falda Toscana, Unità Cervarola-Falterona, Cervarola-Falterona e Unità Umbre) dando origine ad un complesso sistema thrust-nappe (Carmignani and Kligfield, 1990), vedi figura sottostante. La più profonda delle unità adriatiche è il Complesso Metamorfico Toscano che fu interessato da metamorfismo tettonico polifasico fra alta pressione (HP) e bassa temperatura (LT) sino alla facies degli scisti verdi. Regionalmente affiorano nelle finestre tettoniche prevalentemente allineate lungo la così detta Middle Tuscan Ridge (=MTR, i.e. l'allineamento Alpi Apuane-Monti Pisani-Iano-Montagnola Senese/Mt. Leoni alignment) o come frammenti disomogeneamente distribuiti (e.g. Elba Orientale, Promontorio dell'Argentario, Monti Romani).

La maggior parte degli autori sostiene che la tettonica estensionale ha inizio durante il Miocene nel settore interno della catena attraverso faglie a basso angolo, seguita successivamente da faglie ad alto angolo (Lavecchia, 1988; Carmignani and Kligfield, 1990; Bertini et al. 1991, 1994; Decandia et al. 2001) che progressivamente andavano a spostarsi verso est, tracciando la migrazione del fronte orogenico con vergenza adriatica (Elter et al. 1975). I processi di fagliatura a basso angolo hanno prodotto un riarrangiamento dell'impilamento nell'Appennino Settentrionale attraverso elisioni tettoniche che hanno in particolare interessato la Falda Toscana (il così detto fenomeno della "Serie Ridotta" della Toscana meridionale: Lavecchia et al., 1984; Bertini et alii, 1991; Decandia et al., 1993, 2001; Elter & Sandrelli, 1994). Questo ha permesso la diretta sovrapposizione delle Liguridi sulle Evaporiti Triassiche Basali (Anidriti di Burano) o sul sottostante Complesso Metamorfico Toscano. Gli eventi estensivi hanno portato ad un importante assottigliamento crustale nella Toscana meridionale (sino a 20-22 km: Boccaletti et al. 1985; Morelli, 1998), alla formazione del Mar Tirreno settentrionale e ai bacini con andamento tettonico principalmente orientato in direzione NO-SE. Quest'ultimi sono stati riempiti da sedimenti fluvio-lacustri e marini dal Tardo Miocene al Quaternario (Carmignani et al., 1995; Bartole, 1995; Martini & Sagri, 1993; Bossio et al. 1993). Localmente, essi sono stati segmentati in direzione NNO-SSE da lineazioni tettoniche trasversali (Boccaletti et al., 1977; Fazzini & Gelmini, 1982) e considerate come delle transfer faults (Liotta, 1991) o strike-slip faults (Castellarin et al. 1986; Boccaletti et al., 1990). La risalita astenosferica al di sotto della Toscana meridionale e il Mar Tirreno settentrionale è contemporanea a quest'evento ed ha portato allo sviluppo di un

magmatismo di natura mantellica e crustale (la così detta Provincia Magmatica Toscana), ad anomalie di flusso di calore ( $>1000 \text{ mW/m}^2$  presso il campo geotermico di Larderello; Mongelli & Zito, 1991; Mongelli et al. 1998), ed alla formazione di skarn e depositi idrotermali (Tanelli, 1983), ed emissioni geotermali (e.g. Larderello-Travale e Monte Amiata geothermal fields: Durand Delga et al. 2001; Batini et al. 2003). La messa in posto di plutoni ha localmente prodotto fenomeni di sollevamento (Trevisan, 1950, 1951; Marinelli et al. 1993) che sono risultati in un processo regionale connesso di detachment e fagliatura ad alto angolo (Gianelli et al. 1988; Pasquarè et al. 1983; Pandeli et al., 2009). Altri autori hanno invece associato la complessa evoluzione geologica dei bacini del Tardo Miocene-Quaternario a ripetute riattivazioni del regime compressivo (Bernini et al. 1990; Boccaletti et al. 1992) o alla loro natura di "piggy-back" o "top-thrust" (Boccaletti & Sani, 1998; Bonini et al. 2001) a causa della persistenza del raccorciamento appenninico sino all'attuale parte recente dell'orogenesi (Finetti et al. 2001; Bonini & Sani, 2002).



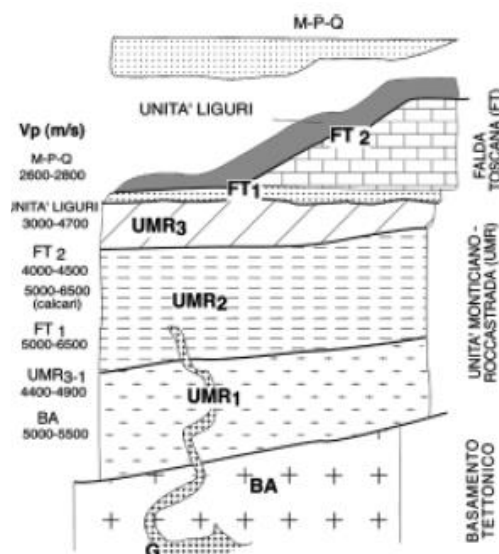
Mappa schematica strutturale dell'Appennino Settentrionale. Pr: Pietraporciana; C: Celle sul Rigo; r: rocce vulcaniche di Radicofani; CH: Val di Chiana; SI: Bacino di Siena; VO: Bacino di Volterra; Is: lineamento Livorno-Sillaro; MTR: Middle Tuscany Ridge; 1.3, ecc. età dei magmi in Ma.



Bacini della Toscana post-fase distensiva. La direzione preferenziale dei bacini è NNO-SSE e segmentati in direzione anti-appenninica da lineazioni tettoniche trasversali.

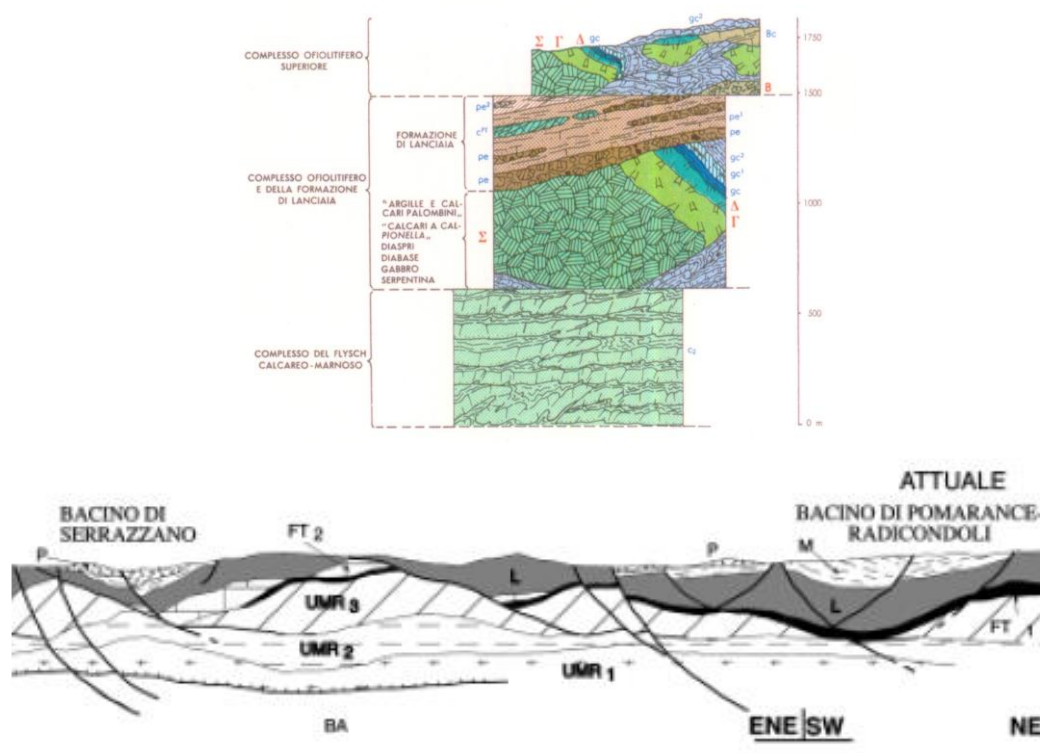
La zona di Pomarance-Larderello si colloca nella parte interna dell'Appennino settentrionale la cui evoluzione tettonica è riconducibile a due principali fasi: la prima è conseguente alla convergenza fra la microplacca Adriatica ed il Massiccio Sardo-Corso (Cretaceo superiore-Miocene inferiore) ed ha portato alla sovrapposizione delle unità tettoniche derivanti dai domini paleogeografici dell'Appennino settentrionale; la seconda (Miocene-Attuale) è conseguente alla tettonica distensiva post-collisionale che ha determinato lo smantellamento delle unità tettoniche precedentemente appilatesi (ROSSETTI et alii, 1999, cum bibl.; DECANDIA et alii, 2000 cum bibl.). Le deformazioni che derivano da questi processi sono riconoscibili anche nell'area di Larderello (BALDI et alii, 1994). Esistono comunque interpretazioni geodinamiche diverse da quella qui brevemente illustrata. Alcuni Autori ritengono che l'evoluzione mio-pliocenica della parte interna dell'Appennino settentrionale sia caratterizzata da alternanze di fasi compressive e distensive (BOCCALETTI et alii, 1998 cum bibl.), mentre altri Autori prevedono un ruolo nettamente subordinato della tettonica distensiva nella definizione dell'attuale assetto tettonico della Toscana (FINETTI et alii, 2001). Al di sotto dei depositi alluvionali del Quaternario Olocene, nell'area studiata affiorano sedimenti di età compresa fra il Trias superiore ed il Pliocene medio. A partire dai termini geometricamente superiori, essi sono costituiti da: (1) I depositi mio-pliocenici (BOSSIO et alii, 1993) che giacciono discordanti sulle sottostanti unità deformate. Questi depositi riempiono le depressioni tettoniche di Serrazzano e di Pomarance-Radicondoli; (2) Il complesso delle Liguridi s.l. – Con questo termine intendiamo sia le unità tettono-stratigrafiche derivanti dal Dominio Ligure sia quelle derivanti dal Dominio Subligure (ELTER, 1960; ELTER et alii, 1964). Il Dominio

Ligure è rappresentato da rocce appartenenti alla litosfera oceanica ed alla sua copertura sedimentaria di età Giurassico-Cretacico superiore, mentre il Dominio Subligure è rappresentato da rocce sedimentarie di età compresa fra il Cretacico superiore e l'Eocene superiore. Il Complesso delle Liguridi s.l. è sovrascorso verso est, al di sopra di quello toscano, durante l'Oligocene superiore-Miocene inferiore; (3) Il complesso Toscano composto da rocce sedimentarie di età compresa tra il Trias superiore (Formazione delle anidriti di Burano, Norico) e l'Oligocene superiore-Miocene inferiore (Formazione del Macigno).



Durante l'Oligocene superiore-Miocene inferiore parte del Complesso toscano è sovrascorso verso est definendo la Falda toscana. Nella zona di Pomarance-Larderello, il substrato metamorfico è prevalentemente conosciuto attraverso i sondaggi profondi. Sono state individuate due unità tettono-stratigrafiche (BERTINI et alii, 1991): una superiore, corrispondente all'Unità di Monticiano-Roccastrada (Paleozoico-Trias superiore) ed una inferiore (Paleozoico) corrispondente al Complesso degli Gneiss. L'Unità di Monticiano-Roccastrada è caratterizzata da deformazioni di età alpina e di età ercinica. Diversamente, nelle rocce del Complesso degli Gneiss non sono stati riconosciuti eventi deformativi di età alpina (ELTER & PANDELI, 1990) e pertanto esso è stato interpretato come parte del basamento dell'avampaese umbro-marchigiano (BERTINI et alii, 1991). Successivamente alla messa in posto dell'Unità Monticiano-Roccastrada (Oligocene superiore-Miocene inferiore), l'area è stata interessata da tre differenti eventi distensivi (BALDI et alii, 1994), l'ultimo dei quali (Pliocene-Attuale) è caratterizzato dallo sviluppo di faglie dirette, a geometria listrica, generalmente immergenti verso nord-est. Lo sviluppo di quest'evento distensivo è accompagnato dalla messa in posto di granitoidi, incontrati a differenti profondità e le cui età variano da 3,8 Ma a 2,2 Ma.

## RAPPORTI DI GIACITURA FRA I DIVERSI COMPLESSI ALLOCTONI



### **INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO**

Il territorio del Comune di Pomarance si estende su di una superficie di 230 km<sup>2</sup>.

In ragione della fragilità geologica e litotecnica la presenza di fenomeni franosi fa parte delle caratteristiche del territorio e numerose sono le porzioni di territorio interessate. Per quanto riguarda lo stato di attività, le forme ed i processi franosi cartografati sono stati distinti in attivi, quiescenti e stabilizzati (o paleofrane). I tipi di frana identificati sono stati raggruppati secondo le loro caratteristiche in: frane di scivolamento, frane di colamento, frane di crollo e frane complesse.

Per quanto riguarda l'ubicazione dei fenomeni franosi, questi sono omogeneamente distribuiti nel territorio a testimonianza di una notevole fragilità morfologica.

Questi fenomeni si impostano in preferenza sulle testate degli impluvi e dei corsi d'acqua in quanto in queste aree il fenomeno di arretramento morfologico è più attivo; tuttavia a causa del progressivo approfondimento ed erosione dei corsi d'acqua, provocato dai cambiamenti climatici e dal cambiamento nella gestione antropica del territorio di questi anni, anche i fianchi delle valli sono frequentemente interessati da frane.

Tra le frane attive, in considerazione della presenza nei terreni argillosi di frequenti intercalazioni sabbiose, sono prevalenti le tipologie di frana per scivolamento.

Le frane di colamento, anch'esse abbondanti, si rinvencono in numero minore, mentre costituiscono una particolarità le frane di crollo dislocate essenzialmente ai margini dei fondovalli dei corsi d'acqua (es. Fosso Adio, Torrente Trossa) che incidono formazioni litoidi. Molto frequenti sul territorio sono le frane quiescenti che costituiscono le forme ed i fenomeni in stasi che non avendo esaurito la loro evoluzione possono riattivarsi soprattutto a seguito di interventi antropici di modifica dell'equilibrio raggiunto oppure possono riattivarsi in quadri morfoclimatici o condizioni climatiche diverse da quelle attuali od eccezionali.

Probabilmente nel bacino di Pomarance questi fenomeni sono quelli più numerosi ed interessano tutto l'area in esame. Infine le paleofrane sono presenti in quantità molto minore rispetto alle altre, solitamente sono legate a vasti fenomeni che comprendono anche grandi impluvi e ampie zone. Talvolta, le paleofrane sono ancora in evoluzione nella parte più elevata con fenomeni di arretramento; questo si manifesta solitamente alle testate dei fossi e dei corsi d'acqua che continuano ad arretrare nella loro evoluzione morfologica.

#### Soliflussi o creep

L'abbondanza di terreni argillosi ha determinato oltre alle frane la presenza di estese aree soggette a soliflusso. Siamo in presenza di movimenti lenti della porzione più superficiale dei terreni argillosi che si manifestano con la deformazione dei versanti e la creazione delle tipiche montanature delle coltri argillose; spesso, in ragione della attività antropica, questi fenomeni evolvono in modeste e locali frane di colamento. Il soliflusso non interessa spessori di sedimento superiori ai due metri e genera le tipiche ondulazioni osservabili in un'ampia porzione del territorio; frequentemente se è presente una copertura erbosa essa rimane intatta e si deforma insieme al terreno. Nei depositi argillosi questo fenomeno, in forme più o meno accentuate, è presente ovunque e spesso viene mascherato dall'attività agricola.

#### **Lineamenti geologici del territorio di Pomarance**

Nell'area del comune di Pomarance l'assetto tettonico del risulta caratterizzato da quattro unità, che dal basso verso l'alto sono:

##### Unità della Falda Toscana non metamorfica

Appartengono a questa unità formazioni sedimentarie marine formatesi tra il Trias e l'Oligocene sup. in ambienti deposizionali diversi: evaporitici, ambienti di piattaforma carbonatica, ambiente pelagico, ambiente di avanfossa.

Questa unità è rappresentata esclusivamente da un unico affioramento di Macigno presente all'estremità meridionale del territorio comunale.

### Unità del dominio ligure

Sono costituite da una successione di unità alloctone di età compresa dal giurese al cretaceo ed all'eocene, nelle quali prevalgono i flysch; nell'area sono rappresentati in successione tettonica dall'unità ofiolitica del Flysch calcareo marnoso di Monteverdi Marittimo e Lanciaia, e dalla unità di Montaione a cui si sovrappone in discordanza l'unità ofiolitifera delle Argille a Palombini. Quest'ultima unità è molto ben rappresentata nella parte centrale del territorio comunale (ad est di Monterufoli) dove sono presenti estesi affioramenti di rocce ofiolitiche, in particolare serpentiniti.

Queste unità giacciono a loro volta in discordanza sui termini delle serie toscana non metamorfica.

### Unità neogeniche

Vi appartengono i sedimenti neoautoctoni della successione miocenica e della susseguente successione pliocenica, depositatisi all'interno di depressioni tettoniche che hanno poi dato origine a bacini subsidenti.

Presentano litologie che risultano notevolmente variabili a causa dei numerosi ambienti deposizionali che per motivi di assetto tettonico caratterizzano i numerosi bacini sedimentari sviluppatasi nell'area in esame, e giacciono in netta discordanza stratigrafica soprattutto sulle unità liguri del substrato, precedentemente deformate.

### Depositi quaternari

Sono costituiti da depositi fluviali antichi, terrazzati in vari ordini, che bordano a varie altezze le valli principali dell'area dove sono presenti i depositi fluviali attuali.

### **Assetto tettonico generale**

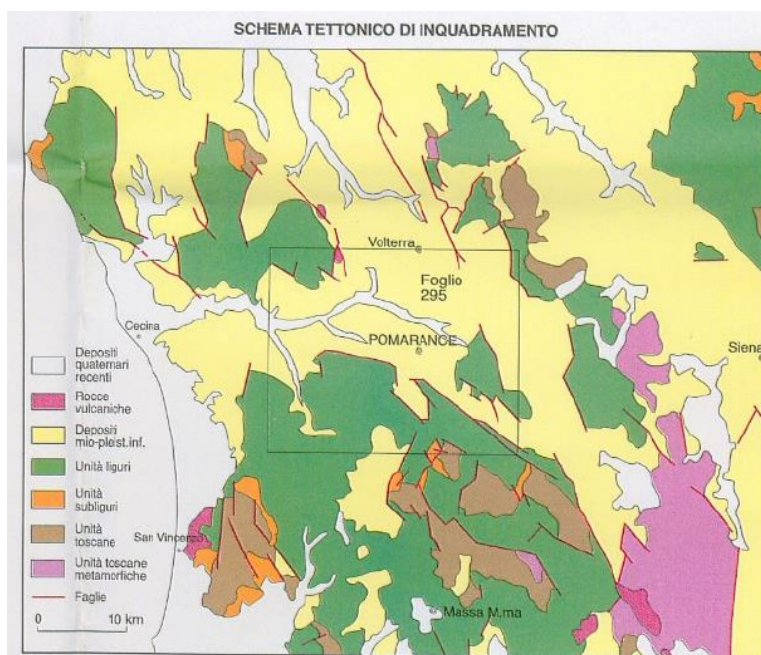
Nell'area in esame gli effetti della tettonica distensiva post-collisionale si sovrappongono decisamente a quelli degli eventi tettonici precedenti, rendendoli in alcuni casi del tutto incomprensibili. Quindi è necessario iniziare dagli eventi tettonici più recenti che maggiormente concorrono a definire l'assetto morfostrutturale dell'area.

Tettonica distensiva post-collisionale: i recenti studi del tirreno settentrionale, le nuove interpretazioni sui depositi epiliguri della toscana meridionale e la recente attribuzione ad un regime distensivo delle deformazioni duttili sin-metamorfiche legate allo sviluppo del core-complex apuano sono tutti elementi a favore di una ridefinizione delle fasi

deformative sin-post-collisionale; in particolare detti elementi implicano che la collisione continentale si sia conclusa nell'Aquitano e che nel versante tirrenico dell'appennino settentrionale gli eventi deformativi in regime di distensione abbiamo avuto inizio nel miocene inferiore. A partire da questo momento il tirreno settentrionale e la parte interna dell'appennino settentrionale sono stati interessati, fino al quaternario, da una intensa tettonica distensiva accompagnata da attività magmatica.

Nella regione boracifera di Larderello Bertini et Alii (1991), hanno riconosciuto nel processo distensivo due eventi principali che si sono susseguiti nel tempo. Durante il primo, collocabile tra il Miocene inf. ed il Tortoniano sup., si è prodotta una estensione di almeno il 60%, con imponenti elisioni nell'edificio a falde formatesi nella precedente fase collisionale; durante il secondo che inizia nel Tortoniano sup., il grado di estensione è valutato intorno al 7%, ed è caratterizzato dall'attivazione di faglie che dislocano tutte le strutture precedentemente realizzatesi. Una diversa ipotesi sulla evoluzione geodinamica dell'area considera che la tettonica compressiva sia stata attiva in tutto il neogene.

In tale contesto i bacini della parte interna dell'appennino settentrionale si sarebbero formati come piggy-back oppure come trust top basins.



### La tettonica fragile neogenico-quadernaria

Come si può osservare nello schema tettonico le faglie costituiscono nell'area in esame l'elemento strutturale di maggior rilievo. Dallo schema tettonico emerge anche che esse possono essere riunite in tre gruppi in base alla direzione (N130, N170 e N50), alle caratteristiche geometriche e verosimilmente, anche all'età.

### Faglie N130

Sulla base dei rapporti che intercorrono tra i tre gruppi appare evidente che le faglie a direzione N130, costituiscono nel loro insieme, le dislocazioni più recenti poiché tagliano le faglie a direzione sub-meridiana e quelle a direzione anti-appenninica. La master fault del sistema è la faglia di Anqua che immerge verso Nord-est e pone a contatto i sedimenti del Villafranchiano, al tetto con le unità Liguri, al muro. Ad essa si associa un fascio di faglie sintetiche e antitetiche che attraversa il comune di Pomarance nella sua parte centrale. La geometria di questo sistema di faglie è ben conosciuta attraverso l'esame delle sezioni sismiche e la stratigrafia dei sondaggi profondi eseguiti dall'Enel nell'area in oggetto: sono faglie a geometria listrica normalmente immergenti verso NE. In superficie hanno un'inclinazione superiore ai 60°; approfondendosi diminuiscono di inclinazione fino a che si appiattiscono ad una profondità media di circa 5000 m sotto il livello del mare.

### Faglie N170

Questo gruppo di faglie che oscillano tra N160 e N180, costituiscono l'elemento strutturale dominante del Bacino di Volterra, che su di esso si è impostato come fossa tettonica.

### Faglie a direzione antiappenninica (N50)

Il terzo gruppo di faglie ha direzioni variabili tra N45 e N60, si dispone trasversalmente ai sistemi di faglie dirette sopra descritti. Quelli concentrati nel centro dell'area appartengono ad un elemento strutturale regionale di notevole importanza, conosciuto come "linea Piombino-faenza". Sembra siano fasci di faglie parallele e vicarianti, che determinano evidenti discontinuità in senso trasversale alla catena, separando settori ad evoluzione tettonica e paleogeografica diversa.

### Tettonica distensiva del Pliocene

I sedimenti pliocenici affioranti hanno giaciture prevalentemente caratterizzate da direzione appenninica ed immersione verso Sud-ovest nel settore di Pomarance-Anqua e da direzione appenninica e immersione Nord-Est nel settore di Volterra. Questo aspetto indica che i sedimenti pliocenici hanno subito, successivamente o contemporaneamente alla loro deposizione, una rotazione opposta nei due settori citati. Il settore di Pomarance-Anqua è caratterizzato da faglie a direzione N130, mentre quello di Volterra da faglie a direzione N160-N180.

Sulla base delle numerose sezioni sismiche dell'area di Larderello, è stato riconosciuto che le faglie dirette plioceniche diminuiscono la loro pendenza con la profondità fino ad appiattirsi in corrispondenza di una superficie strutturale definita con il nome di "orizzonte K" (Batini et Alii 1978; Bertini et Alii, 1991).

### Tettonica distensiva del Miocene superiore

I sedimenti del Miocene superiore sono deformati sia in una blanda sinclinale nel bacino di Radicondoli, sia in una blanda anticlinale nell'area di Ponsano.

La contemporaneità fra l'attività di queste faglie e la sedimentazione miocenica è documentata nell'area di Pomarance dallo spessore dei sedimenti miocenici che tende a diminuire allontanandosi dal sistema di Faglie.

### Tettonica distensiva del Miocene inf. e medio "la Serie Ridotta"

Tutte le strutture precedentemente descritte dislocano le superfici tettoniche più antiche. Queste sono rappresentate o da superfici di discordanza tettonica, che mettono a contatto le Unità liguri con porzioni della successione Toscana o con il basamento toscano, o da superfici di discordanza tettonica che mettono a contatto le unità geometricamente superiori della successione toscana con il basamento toscano. Questi importanti fenomeni di elisione tettonica riguardano anche il complesso delle Liguridi. Ad esempio un importante elisione tettonica riguarda l'Unità ligure geometricamente superiore (Unità Ofiolitifera delle Argille a Palombini) che poggia sull'Unità ofiolitifera di Montaione, sull'Unità di Lanciaia, nell'area ad ovest di Larderello, ed infine sull'Unità di Monteverdi M.mo nell'area di Larderello.

### Caratteri evolutivi della tettonica distensiva

Gli eventi deformativi verificatisi dopo la fine della fase collisionale, sono stati schematicamente fissati in tre momenti significativi attraverso la retrodeformazione di una sezione collocata nella parte meridionale dell'area in direzione E-O. nell'evento più antico le faglie dirette tendono ad orizzontalizzarsi in una zona di taglio localizzata nel livello delle anidridi triassiche, durante questo evento si sarebbe sviluppata gran parte della "serie Ridotta". In un momento più recente localizzabile nel Miocene Sup. le faglie dirette tendono ad orizzontalizzarsi in corrispondenza delle filladi paleozoiche. Infine nella situazione attuale acquisita nel Pliocene e quaternario, le faglie dirette che delimitano le fosse tettoniche plioceniche si esauriscono in corrispondenza dell'attuale passaggio fra il dominio duttile e fragile, evidenziato dall'orizzonte K.

### Tettonica compressiva pre e sin-collisionale

Gli effetti della tettonica compressiva, riferibili alla chiusura dell'oceano Ligure e alla collisione dei margini Europeo ed Africano, sono osservabili nelle coperture di facies ligure, sub-ligure e toscana, che risultano piegate ed accavallate le une sulle altre, costituendo un importante edificio a falde. La disposizione delle unità tettoniche, prevede la seguente successione dall'alto verso il basso:

Tre unità Liguri: Unità ofiolitifera delle Argille a Palombini; Unità ofiolitifera di Montaione e Unità ofiolitifera di Monteverdi M.mo-Lanciaia.

Una unità Subligure: Unità delle argille e calcari.

Due Unità Toscane: Unità della Falda Toscana; Unità di Monticiano Roccastrada.

Un basamento cristallino privo di deformazione sinmetamorfica alpina, unità degli gneiss.

### *Tettonica distensiva mesozoica del dominio ligure*

Alcuni degli effetti della tettonica distensiva che hanno interessato il dominio oceanico ligure in espansione sono osservabili nelle litofacies di passaggio tra i diaspri e i calcari a calpionelle. All'interno delle brecce della formazione di Lanciaia, è stato infatti individuato un olistolite che si sviluppa arealmente per 150 metri ed è ben esposto in corrispondenza della scarpata a sud di Libbiano; in tale olistolite è evidente il passaggio graduale per alternanza tra le due formazioni mesozoiche.

Questa brecciatura di natura non tettonica, per l'assenza di qualsiasi marker strutturale, è dovuta ad una clastesi senza trasporto, legata ad eventi contemporanei alla sedimentazione e può essere attribuita all'attività sismica e vulcanica che in genere caratterizza i tratti di dorsale.

La fase distensiva riconosciuta all'interno di questa sequenza sedimentaria si localizza temporalmente al limite Giurassico Sup.-cretaceo inf., poiché la litofacies interessata dalla deformazione si colloca in questo intervallo di tempo.

### **QUADRO IDROGEOLOGICO GENERALE**

Le formazioni geologiche affioranti nell'area in esame possiedono caratteristiche idrogeologiche alquanto diverse. Sono presenti le seguenti unità classificate secondo la loro permeabilità:

- Ofioliti e arenarie di Montecatini Val di Cecina (permeabile per fratturazione)
- Alluvioni della medio - alta pianura del Cecina (permeabile per porosità)
- Ofioliti, brecce e flysch calcareo dell'Unità di Lanciaia (permeabile per fratturazione)

**I PRINCIPALI SISTEMI IDROGEOLOGICI: Acquifero Cecina (32CT050) –**  
*("Caratterizzazione geologica, idrogeologica e idrogeochimica dei corpi idrici sotterranei significativi della Regione Toscana-CISS, realizzato da LAMMA e CNR")*.

L'area all'interno della quale ricadono i CISS presi in esame (32CT030 Acquifero costiero tra Fiume Fine e Fiume Cecina, 32CT010 Acquifero costiero tra Fiume Cecina e S.Vincenzo, 32CT050 Acquifero del Cecina) si estende dall'alta Val di Cecina al settore di costa compreso tra Rosignano Solvay e S. Vincenzo.



I Corpi Idrici Significativi Sotterranei in mezzi porosi della Val di Cecina: Acquifero costiero tra F. Fine e F. Cecina (32CT030), Acquifero costiero tra F. Cecina e S. Vincenzo (32CT010) e Acquifero del Cecina (32CT050).

L'area corrispondente al CISS 32CT050 "Acquifero del Cecina", all'interno dell'acquifero del Cecina sono stati accorpati unicamente i depositi del materasso alluvionale, in quanto rappresentano quelli principalmente interessati dalle opere di captazione. La natura del substrato varia risalendo il corso del Fiume Cecina. Nel settore occidentale compreso tra il limite a valle del CISS e la confluenza del Torrente Rialdo nel Fiume Cecina, i depositi alluvionali poggiano sui termini permeabili sabbioso-ghiaiosi del Pleistocene. In questo settore i depositi alluvionali possono dunque esser interessati da scambi idrici con il loro substrato; in particolare, è plausibile aspettarsi che tali depositi ricevano una alimentazione per travaso sotterraneo dai termini pleistocenici, visto che quest'ultimi, sviluppandosi anche sui rilievi collinari, sono verosimilmente caratterizzati da carichi piezometrici maggiori. A monte della confluenza del Torrente Rialdo nel Fiume Cecina il substrato delle alluvioni è invece costituito dai depositi pliocenici da considerarsi nell'insieme impermeabili, anche se nel tratto compreso tra il Torrente Rialdo e il Torrente Lopia, il tetto della successione pliocenica è costituito dalla formazione di Guardistallo del Pliocene medio, caratterizzata da alternanze di limi, argille e sabbie potenzialmente permeabili. Continuando a risalire il corso del Fiume Cecina, all'altezza di P. San Maurizio, si oltrepassa il contatto tra le Argille azzurre plioceniche e la formazione miocenica delle Argille e Gessi del Fiume Era Morta, con il substrato dell'apparato

alluvionale che quindi, da qui fino al limite a monte, risulta costituito dai termini, anch'essi impermeabili, della successione miocenica.

L'acquifero del sistema alluvionale del Fiume Cecina può essere suddiviso in due settori, uno a valle e uno a monte del restringimento dell'alveo fluviale che si verifica a valle della confluenza tra il Torrente Lopia e il Fiume Cecina. I due settori si distinguono per un diverso substrato, costituito dai depositi permeabili pleistocenici verso valle, come detto interconnessi idraulicamente all'apparato alluvionale, mentre nel settore a monte il substrato è rappresentato dai depositi pliocenico-miocenici prevalentemente impermeabili. I due settori si differenziano inoltre per i diversi spessori del materasso alluvionale, significativamente superiori verso valle dove si raggiungono 35-40 m di depositi alluvionali al di sopra del substrato pleistocenico. La ricostruzione geometrica ha evidenziato nel settore a valle la presenza di una lente di argilla che solo localmente separa la successione ghiaioso-sabbiosa in due orizzonti (orizzonte 30, superiore, e orizzonte 10, inferiore). I due livelli di ghiaia si perdono in corrispondenza delle alluvioni prospicienti alla località San Martino, a causa dell'interferenza con apparati di conoide complessi del Torrente Le Botra. Nel settore a monte lo spessore totale delle alluvioni si riduce notevolmente, superando raramente i 15m. In questo tratto l'acquifero alluvionale è costituito da un unico livello di ghiaie prevalenti e sabbie, con rari orizzonti di argille di spessore generalmente inferiore al metro.

Nell'insieme il CISS del Cecina è in definitiva da ritenersi un acquifero freatico monostrato, dal momento che i livelli argillosi, per le loro caratteristiche geometriche, non ricoprono un ruolo idrogeologico significativo.

Relativamente ai parametri idrodinamici dell'acquifero alluvionale in esame, dati derivanti da prove di emungimento eseguite su pozzi posti tra Saline e Ponteginori mettono in evidenza valori medi di conducibilità idraulica (K) e di trasmissività (T) dell'ordine rispettivamente di  $10^{-3}$  m/s e  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s, nonché una porosità efficace (ne) del 16% (Pranzini, 2004 e riferimenti bibliografici).

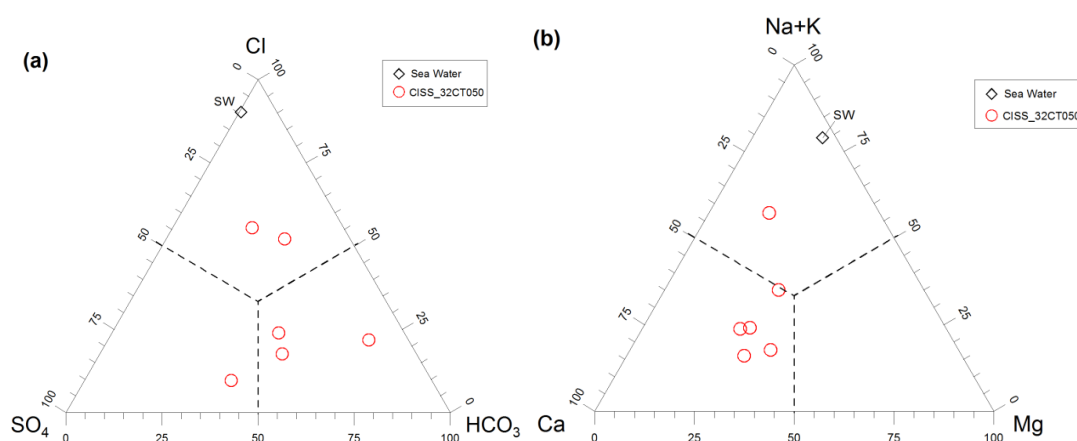
La carenza ed il tipo di distribuzione dei punti di misura disponibili, pongono dei limiti alla ricostruzione della superficie piezometrica lungo la valle del Fiume Cecina. Ad accentuare questo aspetto è il fatto che, almeno in buona parte dell'anno, il corso d'acqua regola significativamente la superficie piezometrica e di conseguenza sarebbero opportune misure di dettaglio del livello idrografico.

Nel corso del 2003, Pranzini (2004b) ha effettuato due campagne di rilevamento piezometrico lungo la valle del Fiume Cecina (tra Molino di Berignone e la foce), basandosi su 105 e 66 punti di misura rispettivamente nelle campagne di Luglio e Dicembre. Lo stesso autore nel relativo lavoro mette in evidenza le problematiche legate

alla scarsa e non uniforme densità dei pozzi ai fini di una dettagliata ricostruzione della superficie piezometrica.

In totale sono stati oggetto di elaborazione solamente 6 analisi chimiche di acque di pozzi per l'aggiornamento del CIS regionale 32CT030. La classificazione chimica dei 6 campioni di acque selezionati (P204, P205, P506, P534 e P535) è stata compiuta facendo riferimento sia ai diagrammi triangolari fra i principali costituenti anionici e cationici, sia ai grafici quadrangolari di Langelier-Ludwig.

Sintetizzando le deduzioni tratte dai diagrammi classificativi delle nuove analisi delle acque sotterranee, provenienti dai 32CT050 "Corpo idrico del Cecina", possono essere ricondotte alle tre facies idrogeochimiche seguenti: bicarbonato – calciche, solfato – calciche e clorurato – sodiche, la cui origine è stata ampiamente discussa e descritta nel report di Cerrina et al., (2009). Pertanto, per ulteriori approfondimenti sulla natura idrochimica delle acque (P204, P205, P506, P534 e P535) si rimanda al rapporto citato.



### **Geologia strutturale e stratigrafia dell'area di studio**

Nell'area del permesso di ricerca affiorano le seguenti formazioni appartenenti a: Unità Ofiolitifera di Monteverdi-Lanciaia (Formazione di Lanciaia); Dominio Ligure, Unità ofiolitifera di Montaione (Formazione di Montaione) e Unità ofiolitifera di M. di Canneto (formazione delle Serpentiniti); Successione neogenica (Formazione Argille e gessi del F. Era Morto, Formazione di Podernuovo, Argille del T. Fosci). All'esterno dell'area affiora anche la formazione di Serrazzano facente parte della successione neogenica (miocene e pliocene).

In dettaglio dal punto di vista stratigrafico avremo:

**UNITÀ OFIOLITIFERA DELLE ARGILLE A PALOMBINI** - Complesso ofiolitifero del Monte di Canneto:

Formazione delle Serpentiniti: si tratta di rocce di colore variabile dal verde chiaro al verde molto scuro, quasi bluastro, con tessitura massiccia o debolmente foliata. Eccezionalmente sono visibili limitate porzioni a struttura cataclastica con elementi di dimensioni da decimetriche a centimetriche, cementati da un fitto reticolato di vene di carbonato e/o serpentino.

In prima istanza possiamo definire le *ofioliti* come un complesso di rocce basiche ed ultrabasiche (povere di silice: le basiche, 45-52% di  $\text{SiO}_2$ ; le ultrabasiche, fino a 45%), spesso scompaginato, costituite da gabbri, diabasi, ma anche e specialmente da serpentiniti composte da silicati complessi di ferro e magnesio, prodotte da leggero metamorfismo di fondo oceanico a partire dalle peridotiti del mantello, nella fattispecie Lherzoliti, e di questo antico fondo oceanico rappresentano oggi gli unici frammenti rimasti. Le ofioliti della Val di Cecina sono rocce che tutti più o meno conoscono, perché costituiscono per es. i "Gabbri" per andare a Larderello, le rocce su cui sono arroccati i paesi di Micciano, Libbiano, Montecastelli, i poggi del Monte Aneo, della Rocca Sillana e di buona parte della zona di Monterufoli e dei bagni di San Michele. Tutti pensano che siano rocce collegate a raffreddamento di magmi in loco, per cui spesso sentiamo dire che la nostra zona è vulcanica. In effetti le manifestazioni dei campi geotermici rimandano al raffreddamento di qualche 'plutone' granitico in profondità, ma la terra di origine degli ofioliti era invece il pavimento di un mitico oceano (*oceano Tetide*) che esisteva verso ovest, allineato come la zolla europea (ENE-OSO) e che 37 milioni di anni fa (37 MAF), sprofondò definitivamente nelle viscere della terra insieme con la litosfera che lo sosteneva, eccetto alcuni frammenti, le ofioliti appunto. Le ofioliti si trovano incluse nelle cosiddette *falde alloctone o Unità Liguri*, formazioni rocciose essenzialmente argilloso-silicee-marnoso-arenacee trasportate lontano dal posto dove avevano avuto origine. Esse si depositarono a partire dal Giurese sup. (all'inizio del Malm, circa 160 MAF, quando il Tetide, già mare misterioso fin dal Trias medio, si aprì come oceano) nelle fosse più interne (più a nord verso l'antico blocco europeo), nel cosiddetto Dominio Ligure-Piemontese dello stesso Tetide, oceano allora pressoché allungato ENE-OSO, circa alle latitudini a cui si formeranno il Mediterraneo e la Penisola italiana, confinante a nord-ovest col blocco euro-asiatico e a sud-est col promontorio africano dell'Adria. Le ofioliti sarebbero pezzi delle rocce che costituivano il fondo di questo antico oceano sulle quali si depositarono le suddette formazioni, venendo verso nord a costituire il basamento di quella che sarà l'Unità Ofiolitica Interna con ofioliti in *posizione primaria* (diffusa oggi in Liguria orientale, all'isola d'Elba e nella zona costiera della Toscana meridionale) e, più a sud, intercalazioni nell'Unità Ofiolitica Esterna a guisa di olistoliti (grossi massi ofiolitici anche di qualche km con parziale copertura) con ofioliti per lo più in *posizione secondaria*, cioè incluse in formazioni sedimentarie torbidiche del Cretaceo-Eocene. Quest'ultime formazioni sono

rappresentate in zona dal Flysch Calcareo-Marnoso del Cretaceo inf.-Paleocene che insieme a quello di Lanciaia (Paleocene medio-Eocene), costituiscono oggi la Liguride dominante nella Toscana meridionale e nell'ambiente in studio. La paragenesi relitta delle serpentiniti in studio, che fa riferimento ad *ol* (olivina), *opx* (ortopirosseno di Fe e Mg) e *cpx* (un clinopirosseno augitico con Mg, Fe e scarso Ca e Al a costituire il *diallagio*), ridotte per lo più a serpentino fibroso (crisotilo, fillosilicato con fogli arrotolati a tubo), indica una peridotite "madre", tipo *Lherzolite a spinello* ( $A''B_2'''O_4$ , es., magnetite  $Fe''Fe_2'''O_4$ ). Così le Liguridi più interne hanno ofioliti più giovani e quelle più esterne, deposte più lontano dal rifting, più vecchi (nella fattispecie sembra abbiano cristallizzato qualche milione di anni prima delle altre); le ofioliti delle interne, cristallizzando dopo, devono essere derivate da peridotiti del mantello più impoverite di clinopirosseni (componenti più basso-fondenti), cioè di Ca, Fe, Al, per processi di fusione parziale (contengono meno del 10% di clinopirosseni a fronte di un 15% nelle esterne). Se gli ortopirosseni dominanti nelle peridotiti, sono silicati ferro-magnesiaci  $(Fe,Mg)_2[Si_2O_6]$  e i clinopirosseni sono in generale più ricchi in calcio e alluminio (diallagio), potrebbe sembrare che le ofioliti in studio contengano rispetto alle altre più marittime una maggiore quantità di questi due elementi. Poiché però la nostra Unità Ofiolitica Inferiore esterna, contiene grandi quantità di brecce ofiolitiche diffuse a tutti i livelli e il complesso ofiolitico inglobato (ofioliti e in parte la copertura), quando esiste, è fortemente interessato da azioni meccaniche e compreso in sedimenti torbidici, è plausibile che tali brecce ed ofioliti provengano da zone più interne.

## UNITÀ OFIOLITIFERA DI MONTAIONE

### Formazione di Montaione (MIO):

la formazione di Montaione rappresenta un flysch ad Elmintoidi simile alla formazione di Monteverdi marittimo dalla quale tuttavia si differenzia per un maggior sviluppo della componente arenacea e per la presenza di frequenti e talora potenti livelli di brecce ofiolitifere (MIOb). Essa è in massima parte costituita da sequenze torbiditiche di spessore compreso da pochi centimetri a 1-2 metri. In ciascuna di queste sequenze, da una arenaria fillosilatica alla base si passa verso l'alto ad una siltite e infine ad una marna o calcareo marnoso; più raramente al tetto della sequenza è presente un'argilla marnosa o un calcare di debole spessore. Nelle arenarie, gradate nella parte basale, sono presenti laminazioni piano parallele e convolute; alla base dello strato torbiditico si rinvengono anche controimpronte da corrente.

Una caratteristica di questa formazione è la presenza di brecce poligeniche costituite essenzialmente da elementi ofiolitici e in subordine da elementi di diaspri, e di calcari palombini. Le brecce sono distribuite in modo non uniforme per tutto lo spessore della formazione e contengono localmente olistoliti di dimensioni limitate della formazione delle Argille a palombini. Ad esse sono associate, frequentemente, arenarie grossolane ad elementi ofiolitici. Lo spessore della formazione di Montaione è stato valutato in circa 500 metri.

## **UNITÀ DI MONTEVERDI MARITTIMO-LANCIAIA**

Formazione di Lanciaia (CAA): si compone di quattro litofacies breccie (CAAb), arenarie (CAAr), argilliti (CAAa) e calcari marnosi (CAAc). Affiora estesamente nel settore meridionale del comune di Pomarance al di sopra di potenti spessori di ofioliti. Nelle aree di Micciano e a nord di Montecerboli e Montecastelli sono presenti solo le litofacies CAAb, CAAc e CAAr e in particolare nell'area di Canneto si alternano la prima e la terza litofacies mentre a sud di La Sassa sono presenti con rapporti di eteropia la litofacies arenacea e quella calcareo marnosa al di sopra del Complesso ofiolitifero di Montecastelli. La litofacies CAAb è particolarmente presente a sud di Micciano e con affioramenti minori a nord di Montecerboli e Montecastelli. In genere poggia sulle Serpentiniti del Complesso ofiolitifero di Montecastelli e passa verso l'alto alle Arenarie del Fosso Radicagnoli (CAAr). Questa litofacies è costituita da breccie poligeniche, clasto-sostenute, con elementi provenienti dal Complesso ofiolitifero.

## **SUCCESSIONE NEOGENICA – FORMAZIONI MIOCENICHE**

Formazione delle Argille del T. Fosci (FOS): Questa formazione giace sulla Formazione del Torrente Sellate; con questa mostra anche rapporti laterali, come documentato dalla presenza al suo interno di numerose lenti di arenarie della Caprereccia e di conglomerati di Monte Soldano. E' costituita da argille di colore grigio-plumbeo e grigio-nocciola, generalmente massicce, localmente siltose, spesso interessate da sottili intercalazioni di calcari marnosi, color arancio sulla superficie alterata e grigi in frattura fresca; talvolta presentano piccoli ciottoli dispersi e sottili lenti di conglomerati minuti, arenarie e marne siltoso-argillose. Al loro interno si rinvencono frustoli carboniosi e straterelli o piccole sacche di lignite, sia picea che xiloide. Lo spessore massimo osservabile dell'unità è di circa 300 metri. L'unità è attribuibile al Tortoniano inferiore (Tortoniano sup. - Messiniano inf.).

Formazione Argille e gessi del F. Era Morta (EMO): L'unità è caratterizzata da una litofacies argilloso-sabbiosa; in subordine, sono presenti livelli e lenti di gesso sia alla base della formazione sia al suo interno, e di conglomerati (Conglomerati di Uignano). Il livello basale dei gessi è visibile con continuità in buona parte del Bacino di Radicondoli. E' costituito prevalentemente da gesso a struttura microcristallina (alabastro) e di colore ceruleo, contenente sottili intercalazioni di argille grigie, a volte laminate, più frequentemente massicce, talora fetide e sterili. Lo spessore di questo livello varia da 10 a 30 metri.

La litofacies argilloso-sabbiosa si tratta di argille grigio-nocciola e, in minor misura, di argille sabbiose e siltiti marnose dello stesso colore oppure di colore giallo-ocra. Queste ultime, in strati di spessore variabile da 10 centimetri ad un metro, presentano, talvolta, laminazione piano-parallela leggermente ondulata o anche incrociata, e spesso contengono resti di vegetali carbonizzati. I Conglomerati di Uignano risultano poco organizzati, in strati di spessore variabile

da 30 a 100 cm occasionalmente alternati a livelli arenacei di spessore centimetrino. I Conglomerati di Uignano si sono depositi in ambiente continentale e sono da relazionarsi allo sviluppo di conoidi deltizie. Dal punto di vista dell'età, essa è riferibile al Turoliano superiore (Messiniano superiore).

Formazione di Podernuovo (PDN): è presente unicamente nella porzione centrale dell'area di pomarance. La formazione di Podernuovo si rinviene intercalata nella porzione superiore oppure al tetto delle argille e gessi del F. Era Morta, in quest'ultimo caso soggiace direttamente ai depositi marini del Pliocene. Essa è costituita da argille e argille sabbiose cui si alternano sottili strati e lenti di arenarie grossolane e di conglomerati. I clasti sono rappresentativi in genere delle formazioni del Dominio ligure. All'interno della formazione non è infrequente rinvenire livelli e lenti di gesso, esso si ritrova anche in forma di ciottoli e talvolta costituisce il cemento di arenarie e conglomerati. Lo spessore è compreso tra 100 e 150 metri.

### **Geomorfologia locale**

Dal punto di vista geomorfologico, per quanto riguarda la classificazione dei fenomeni gravitativi in senso stretto (frane) il quadro conoscitivo, preso come punto di partenza, è stato aggiornato oltre che negli areali anche nella classificazione secondo lo standard IFFI/PAI ( il progetto IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosì in Italia, è stato realizzato dall'ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome e fornisce un quadro dettagliato sulla distribuzione dei fenomeni franosi sul territorio italiano).

Quindi come visibile dalla carta geomorfologica l'area richiesta in permesso di ricerca è caratterizzata dalle seguenti forme geomorfologiche:

frana quiescente di scorrimento : in questi terreni la presenza di minerali argillosi, che tendono a trattenere grandi quantità di acqua, possono determinare caratteristiche geotecniche piuttosto scadenti e portare a deformazioni gravitative con caratteristiche prevalenti di colata e subordinatamente di scorrimento. Si sottolinea come in questi terreni la predisposizione al dissesto sia comunque elevata anche nei settori dove non si riconoscano forme e morfologie di frana: in particolare risultano a rischio molto elevato le zone dove siano presenti coltri di detrito derivate da queste formazioni.

Fenomeni di soliflusso (creep): L'abbondanza di terreni argillosi ha determinato oltre alle frane la presenza di estese aree soggette a soliflusso. Siamo in presenza di movimenti lenti della porzione più superficiale dei terreni argillosi che si manifestano con la deformazione dei versanti e la creazione delle tipiche montanature delle coltri argillose; spesso, in ragione della attività antropica, questi fenomeni evolvono in modeste e locali frane di colamento. Il soliflusso non interessa spessori di sedimento superiori ai due metri e genera le tipiche ondulazioni osservabili in un'ampia porzione del territorio; frequentemente se è presente una copertura erbosa essa

rimane intatta e si deforma insieme al terreno. Nei depositi argillosi questo fenomeno, in forme più o meno accentuate, è presente ovunque e spesso viene mascherato dall'attività agricola.

orlo di scarpata o rottura di pendio. Sono state evidenziate scarpate naturali, connesse alla litologia e/o ad elementi tettonici disgiuntivi, oppure a forme di deposito o erosive nell'ambito di accumuli di detrito e di frane quiescenti. Si tratta di forme presenti in tutte le litologie rilevate.

Erosione incanalata: Forma di erosione determinata dalle acque correnti lungo gli alvei fluviali minori, che producendo un approfondimento verticale del corso d'acqua e talora lo scalzamento laterale, favoriscono l'instaurarsi di fenomeni di creep e piccole frane sui versanti a monte.

### **Idrogeologia locale**

Nell'area del permesso di ricerca non si hanno emergenze significative dal punto di vista uso idropotabile. L'unica emergenza significativa dal punto di vista termominerale è data dalla presenza dei Bagni di San Michele, che saranno oggetto del nostro studio.

L'antico bagno di Spartacciano oggi conosciuto come Bagni di San Michele è situato nella valle scavata dal Fosso di Radicagnoli alla base del Poggio di Gabbro, alle cui sommità vi sono i ruderi dell'antica abbazia di San Michele, è stato un importante centro termale probabilmente facente parte del complesso delle acque Volaterranae segnalate nella tavola Peutigeriana, antica carta stradale di epoca romana, insieme alle Terme del Bgno a Morba e a quelle del Bagnone di Sasso Pisano.

Nel medioevo i bagni sono esistenti e funzionanti attestati da documentazione del 1200 e sono in uso della Abbazia di San Michele dopo che questa fu costruita nel 1377.

La leggenda racconta che le sue acque solfuree, ideali per curare malattie come la lebbra, paralisi, malattie artritiche e piaghe, sgorgarono dalla terra da un buco causato dalla campana dell'abbazia che un giorno cadde a valle. La struttura fu acquistata e restaurata da De Larderel, ma agli inizi del XX secolo fu abbandonata. L'edificio è diviso in due parti dal torrente Radicagnoli, le due parti sono unite da un piccolo ponte coperto che permetteva agli avventori di passare dalla camere alle terme senza dover attraversare il fiumiciattolo. L'albergo aveva otto camere e un ristorante/osteria dove fino agli inizi del secolo scorso coloro che dovevano partire per fare il militare andavano a cena dopo essersi bagnati nelle acque termali. La parte che ospitava i bagni ancora oggi conserva alcune vasche termali: in una stanza con le mura dipinte di celeste c'è ancora una vasca quadrata piena di acqua solfurea, ancora oggi alimentata da un pozzo che è in un angolo. Il Repetti, nel suo dizionario ce lo descrive come ...*"un piccolo fabbricato situato alla base orientale di un monte di gabbro, sulla cui sommità sono gli avanzi di una chiesa dedicata a S. Michele. Le polle sgorgano in piccola quantità fra il gabbro e il calschisto. Sono termali, acidule, al gusto disgustose, limpide, inodorose, di 25 gradi di temperatura, e col*

*riposo depositano un calcareo tartaroso compatto e biancastro*". Questo antico bagno fu descritto da Mengo Faentino, da Falloppio (quello delle tube) e dal Targioni Tozzetti (come bagno delle doglie). Immergersi nelle sue acque giovava ai dolori artritici, paralisi, e piaghe alle gambe.

Il bagno è stato studio di importanti naturalisti per le virtù terapeutiche delle sue acque che scaturivano da tre sorgenti distinte: L'acqua della Rogna, sulfurea a 34°; l'acqua di San Giuseppe, inodore e insapore a 44° e la sorgente con odore di idrogeno solforato a 51°C.

## **CONCLUSIONI**

L'area richiesta in permesso di ricerca si colloca nel comune di Pomarance, si sviluppa a sud dell'abitato di Pomarance ed è compresa tra Montecerboli, San Dalmazio a est e il Torrente Racquese a nord. Il Fosso Radicagnoli e il Botro Cereale che scorrono all'interno dell'area oggetto di studio si immettono a nord nel Torrente Racquese. L'area inoltre comprende la località Bagni San Michele e l'eremo di San Michele alle Formiche.

L'area è inserita nel "*Foglio 295 II pomarance*", della carta topografica d'Italia in scala 1:25.000, e nella carta tecnica numerica regionale in scala 1:10.000 "*Foglio n.295110 – Pomarance Sud*". I vertici che delimitano l'area chiesta in permesso di ricerca per acqua termominerale sono geograficamente univoci ed individuati come riportato nella cartografia allegata (Tavole 1 e 2).

Dal punto di vista vincolistico l'area in esame rientra all'interno del vincolo idrogeologico (R.D. 3267/1923 e ss. e dalla L.R. n.39 del 21/03/2000 e ss.mm.ii. – Titolo V/capo I, art. 37 ss.) e del vincolo paesaggistico (D.Lgs. 42/04 e ss.mm.ii.), come visibile dalla cartografia allegata.

Attraverso l'analisi preliminare dei dati raccolti riguardanti gli aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici e geologico strutturali dell'area richiesta in permesso di ricerca, si può affermare che vi siano le condizioni per effettuare la ricerca e rendere potenzialmente sfruttabile la risorsa idrica sotterranea.

Pertanto con la ricerca potremo studiare più in dettaglio il circuito idrogeologico locale ed in particolare il circuito di alimentazione delle falde acquifere profonde. In particolare sono emersi i seguenti aspetti:

Nell'area del permesso di ricerca e nei dintorni affiorano le formazioni geologiche appartenenti al dominio Ligure. Sono rappresentati in successione tettonica dall'unità ofiolitica del Flysch calcareo marnoso di Monteverdi Marittimo e Lanciaia, e dalla unità di Montaione a cui si sovrappone in discordanza l'unità ofiolitifera delle Argille a Palombini. Quest'ultima unità è molto ben rappresentata nella parte centrale del territorio comunale (ad est di Monterufoli) dove sono

presenti estesi affioramenti di rocce ofiolitiche, in particolare serpentiniti.

Queste unità giacciono a loro volta in discordanza sui termini delle serie toscane non metamorfiche. La sorgente dei Bagni San Michele sgorga dalle fratture presenti nella formazione ofiolitica delle Serpentiniti, caratteristica peculiare geologica dell'area.

Dal punto di vista strutturale sono presenti sistemi di faglie sia a direzione appenninica che a direzione anti-appenninica, che rappresentano vie preferenziali di risalita di acque termominerali. Tutta la zona è caratterizzata da tre classi principali di strutture: la più importante tra N130°, N150° e la N50° (antiappenninica).

Pertanto attraverso le strutture tettoniche presenti nel sottosuolo, che mettono a contatto le ofioliti con le formazioni sottostanti dell'Unità della Falda Toscana, come ampiamente dimostrato nei paragrafi precedenti, è possibile captare un'acqua profonda veicolata da queste strutture; la circolazione termale è ampia e profonda, tale da rendere pressoché influente la ricarica meteorica sulla composizione delle acque.

**Con lo studio da sviluppare durante il permesso di ricerca si intende pertanto aggiornare le conoscenze idrogeologiche dell'area e valutare le potenzialità qualitative e quantitative della falda acquifera termominerale presente, allo scopo di raggiungere le conoscenze geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e idrochimiche necessarie ad una corretta e razionale fase di sfruttamento del giacimento minerario; gli studi saranno pertanto mirati a definire la struttura geologica che caratterizza la falda acquifera termominerale, i parametri idrodinamici dell'acquifero stesso, nonché l'area di alimentazione e l'entità della ricarica con lo scopo di individuare il bacino idrogeologico e calcolare successivamente il bilancio idrogeologico.**

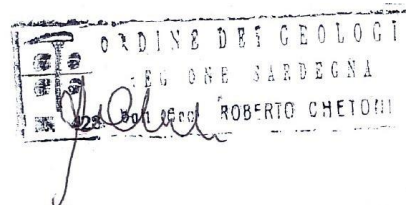
**Dopo aver ricostruito il percorso sotterraneo della falda che attualmente alimenta Bagni San Michele, ed aver individuato l'area di ricarica del bacino, sarà presentata la documentazione necessaria ad effettuare una nuova captazione ed indicare i presupposti per proteggere la vulnerabilità dell'acquifero da qualsiasi possibile contaminazione animale o antropica, nel rispetto della vincolistica presente sul territorio e della normativa nazionale e regionale in merito.**

**ALLEGATI:**

1. Corografia in scala 1:25.000 con riportati il perimetro del permesso di ricerca con i vertici numerati, ed i confini comunali e provinciali;
2. Estratto cartografico dell'area in cui si intendono svolgere le ricerche, redatta su carta tecnica regionale alla scala 1:10.000, con indicati i vertici numerati in ordine progressivo, i lati che uniscono i vertici evidenziati con linea rossa, le coordinate Gauss Boaga ed UTM dei vertici;
3. Carta Geologica progetto CARG nazionale scala 1:10.000 e estratto CARG scala 1:50.000;
4. Carta geologica – estratto dal PS comunale;
5. Carta geomorfologica – estratto dal PS comunale;
6. Carta della vulnerabilità degli acquiferi – estratto PS
7. Carta idrogeologica e della permeabilità – estratto PS
8. Carta pericolosità geologica e geomorfologica – estratto da PS e RU comunale, da PAI
9. Carta Zone ZMPLS – estratto RU comunale
10. Carta della pericolosità idraulica – estratto da PS, RU e PAI
11. Carta PGRA – estratto da Autorità Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale e Carta PAI Autorità Bacino Toscana Costa 2 – fenomeni franosi
12. Carta Litotecnica, dei sondaggi e dati di base – estratto da PS
13. Carta del vincolo idrogeologico – estratto PS
14. Carta sintesi vincoli esistenti
15. Carta della fattibilità – estratto da RU comunale.

Ponte a Egola, 20 Settembre 2021

*Dott. Geol. Roberto Chetoni*



*Geol. Debora Latini*



Dr. Roberto Chetoni  
geologo