

Servizio di consulenza relativo all'Acquisizione dati e realizzazione del *geodatabase* delle risorse geotermiche e dei processi idrotermali rilevanti ai fini dell'applicazione dei criteri CE14 e CA1 della GT 29 ISPRA – Studio Terra Energy

Codice DN GS 00194

Fase del progetto -

Data 27/01/2015 Pag. 1



***Servizio di consulenza relativo all'Acquisizione dati e
realizzazione del geodatabase delle risorse
geotermiche e dei processi idrotermali rilevanti ai
fini dell'applicazione dei criteri CE14 e CA1 della GT
29 ISPRA***



Pisa, li 19/12/2014

INDICE

Obiettivi del report	3
Acquisizione dati	3
Realizzazione della banca dati	6
Caratterizzazione geotermica delle aree di interesse	10
Area PI-3	11
Area GR-2	14
Area SI-5	17
Area VT-35	20
Area VT-22 e Area RM_VT-21	23
Area VT-14 e Area VT-13	26
Area VT-12, Area VT-15, Area VT-16, Area VT-17, Area VT-20, Area VT-10, Area VT-19, Area VT-11	29
Area VT-1, Area VT-2, Area VT-3, Area VT-4, Area VT-5, Area VT-6, Area VT-18	33
Aree VT-7, VT-8, VT-9, VT-23, VT-24, VT-25, VT-26, VT-27, VT-28, VT-29, VT-30, VT-31, VT-32, VT-33, VT-34, VT-36	38
Aree localizzate nelle regioni Puglia e Basilicata	42
Aree localizzate nella Regione Sardegna	44
Tabella riassuntiva della classificazione geotermica delle singole aree	48
Bibliografia	52

Obiettivi del report

L'attività specifica richiesta è legata all'acquisizione di dati geotermici e alla realizzazione di un geodatabase delle risorse geotermiche e dei processi idrotermali rilevanti al fine di verificare l'esistenza di risorse geotermiche, della loro tipologia nel sottosuolo, in aree potenzialmente favorevoli alla localizzazione del Deposito Nazionale di rifiuti radioattivi a bassa e media attività ed alle implicazioni che la presenza di risorse geotermiche più o meno concentrate può avere sulla localizzazione dello stesso. L'attenzione è stata richiesta in particolare sulle risorse geotermiche in quanto espressione di attività vulcanica e/o magmatica e sulla potenziale interferenza tra utilizzazione industriale di risorse geotermiche presenti e presenza in un determinato sito del Deposito Nazionale.

Scopo di questo lavoro è la raccolta e l'elaborazione di dati geotermici e la realizzazione di un geodatabase dei dati rilevanti al fine della caratterizzazione geotermica delle aree indicate.

Acquisizione dati

La ricerca e la realizzazione della banca dati per la caratterizzazione geotermica delle aree in questione si è svolta essenzialmente utilizzando dati preesistenti. La ricerca bibliografica per la caratterizzazione regionale e locale delle aree di interesse ha riguardato sia la reinterpretazione di dati già presenti nelle banche dati in nostro possesso che la ricerca e l'acquisizione di nuovi dati ad hoc presenti in rete o nelle biblioteche statali. Si citano a titolo di esempio le banche dati geotermiche e per la ricerca di idrocarburi del Ministero dello Sviluppo Economico (UNMIG), le banche dati geologiche, idrogeologiche, minerarie della Regione Toscana, la vasta letteratura geotermica legata all'esplorazione dei campi geotermici del Lazio e della Toscana pubblicata da ENEL e molte altre pubblicazioni di carattere geologico, idrogeochimico e geofisico sia a carattere regionale che locale presenti su riviste nazionali e internazionali di settore. Dopo un primo approccio a livello regionale si è passati allo studio di dettaglio delle aree di interesse e delle zone limitrofe. I dati reperiti per questo studio sono di varia natura (vettoriali e raster) e con diversi livelli di dettaglio. I dati reperiti sono stati selezionati, digitalizzati e organizzati all'interno di un progetto GIS ad hoc realizzato in ambiente ESRI ArcGis.

La scelta dei dati da reperire è ricaduta ovviamente principalmente sulle tipologie di dati fondamentali per la caratterizzazione geotermica, i quali sono rappresentati principalmente da

misure di temperatura, flusso di calore e gradiente geotermico, i quali permettono di individuare le zone in cui si ha un'anomalia geotermica positiva e quindi la possibilità di avere nel sottosuolo un serbatoio geotermico anche laddove non esistano indizi superficiali che indichino la presenza di un sistema idrotermale nel sottosuolo. Dati diretti e indiretti (perforazioni profonde e prospezioni geofisiche) permettono invece di verificare o meno la presenza di un serbatoio geotermico nel sottosuolo (rocce serbatoio porose e permeabili).

I dati principali su cui si è basato lo studio sono quindi i dati termometrici relativi alle aree di interesse; i dati termometrici reperiti sono relativi a temperature misurate in pozzi di gradiente, in pozzi profondi, carte del gradiente geotermico ricavate dalle misure nei pozzetti, carte del flusso di calore, carte delle temperature a diverse profondità estrapolate sulla base delle misure del gradiente superficiale, carte delle temperature attese al tetto del serbatoio geotermico regionale ricavate sulla base di misure dirette all'interno di pozzi profondi o estrapolate a partire dalle misure di gradiente superficiale. I dati termometrici permettono di individuare le aree in cui si ha un'anomalia geotermica positiva e quindi la possibilità di rinvenire una risorsa geotermica nel sottosuolo. Questi dati provengono principalmente dalla banca dati del Ministero dello Sviluppo Economico pubblicata nell'Inventario delle Risorse Geotermiche (ENEL, ENI-AGIP, CNR e ENEA, 1988) all'interno del quale sono resi pubblici i dati relativi ai pozzi profondi e ai pozzetti di gradiente geotermico (con importanti informazioni circa le temperature misurate nel sottosuolo) oltre che a nuove elaborazioni effettuate ad hoc di carte del flusso di calore, di carte della temperatura stimata o misurata al tetto del potenziale serbatoio geotermico, di carte delle temperature a varie profondità (1000, 2000, 3000 metri dal piano campagna). Ulteriori dati termometrici provengono dalla vasta letteratura geotermica legata all'esplorazione dei campi geotermici del Lazio e della Toscana pubblicata da ENEL e molte altre pubblicazioni di carattere geologico, idrogeochimico e geofisico sia a carattere regionale che locale presenti su riviste nazionali e internazionali di settore. Grazie a questi elaborati è stato quindi possibile implementare ulteriormente la banca dati ministeriale con nuovi dati (ad es. nuovi pozzi non presenti all'interno dell'Inventario delle Risorse Geotermiche, aggiunta di dati termometrici e stratigrafici se mancanti) e correggere eventuali errori presenti (si citano ad esempio le errate ubicazioni di alcuni pozzi profondi, tra i quali due di questi mostrano un errore macroscopico nell'ubicazione di 18 e 28 km rispettivamente, errori riguardanti le misure termometriche e stratigrafiche). Inoltre è stato possibile reperire carte del gradiente geotermico e carte del flusso di calore di dettaglio su alcune aree investigate in passato per la ricerca di risorse geotermiche. Dati di temperatura sono inoltre presenti nell'Atlas of Geothermal Resources in Europe (European Commission, 2002) nel quale i dati termometrici disponibili sono stati rielaborati

alla luce delle nuove perforazioni e delle nuove misure di temperatura e flusso di calore su tutto il territorio italiano e in particolare in Toscana e nel Lazio.

Fondamentali oltre alle misure termometriche, risultano le stratigrafie incontrate dai pozzi nel sottosuolo, al fine di individuare la profondità e lo spessore del potenziale serbatoio geotermico. Oltre ai dati diretti forniti dai pozzi profondi, distribuiti su aree molto limitate del territorio in esame, l'individuazione della profondità del tetto del serbatoio geotermico regionale avviene mediante prospezioni geologiche di superficie e prospezioni geofisiche. Sono state quindi reperite e digitalizzate le carte relative all'andamento del tetto del serbatoio geotermico regionale, le quali unitamente alle mappe termiche permettono di individuare le aree più favorevoli a una possibile ricerca industriale della risorsa geotermica presente nel sottosuolo. Questi dati derivano sia dal precedente citato Inventario delle Risorse Geotermiche che da articoli scientifici pubblicati da vari autori circa i risultati dell'esplorazione geotermica nelle regioni italiane di maggior interesse o ancora su articoli scientifici di carattere geofisico.

Sono inoltre stati reperiti i dati riguardanti le emergenze legate alla presenza di circuiti idrotermali superficiali o impostati lungo faglie di importanza regionale, rappresentate da sorgenti termali, manifestazioni di gas e acqua, pozze gorgoglianti, manifestazioni fredde di anidride carbonica ecc. Attorno a molte di queste manifestazioni superficiali, soprattutto nei dintorni delle sorgenti termali con portata rilevante, sono sorte in passato strutture per lo sfruttamento delle stesse a fini balneoterapeutici. L'analisi idrogeochimica delle acque e dei gas permette di ricostruirne l'origine, i circuiti idrici sotterranei, la temperatura massima che hanno raggiunto nel sottosuolo. Molte delle emergenze termali derivano dall'Inventario delle Risorse Geotermiche, nel quale sono riportate l'ubicazione, la temperatura e il chimismo delle stesse. Altre emergenze derivano da articoli scientifici di carattere idrogeochimico; molte sorgenti e manifestazioni presenti in letteratura coincidono con quelle presenti nella banca dati del Ministero: questo ha permesso di correggere eventuali errori presenti all'interno della banca dati (ad es. si è potuto correggere l'ubicazione di molte sorgenti, tra le quali vale la pena citare l'ubicazione errata di circa 8 km di una di queste) o di implementare le informazioni presenti (con dati termometrici ad es. se mancanti). Per quanto riguarda le sole manifestazioni gassose inoltre si è utilizzata la banca dati "Googas Catalogue". Se disponibili sono state inoltre reperite le temperature misurate all'interno di pozzi superficiali per acqua.

Altri dati reperiti riguardano dati geofisici di varia natura (sismica, geoelettrica e gravimetria), elaborazioni riguardanti la ricostruzione degli spessori e dell'uplift subito dai sedimenti marini neogenici, la ricostruzione della base e degli spessori dei depositi vulcanici (per la Regione Lazio), carte idrogeologiche, ubicazione dei principali siti minerari.

Molto importanti sono inoltre i perimetri dei titoli minerari vigenti, i quali sono rappresentati dalle concessioni di coltivazione, dai permessi di ricerca rilasciati, dalle istanze di permesso di ricerca e dalle istanze per la sperimentazione degli impianti pilota. Queste aree sono o saranno interessate da prospezioni per la ricerca di fluidi geotermici nel sottosuolo e dall'eventuale sfruttamento industriale degli stessi se reperiti e con caratteristiche chimico-fisiche idonee.

Realizzazione della banca dati

I dati geotermici reperiti di maggiore interesse sono stati selezionati, digitalizzati e organizzati all'interno di un progetto GIS realizzato in ambiente ESRI ArcGis. Questo ha permesso di confrontare tra di loro all'interno di una banca dati geografica i dati reperiti, permettendo così di scartare i dati meno significativi e meno precisi. In alcuni casi invece il confronto tra i diversi dati acquisiti ha permesso una migliore definizione dei dati stessi, come già descritto nel paragrafo precedente, permettendo per esempio di migliorare la localizzazione delle manifestazioni termali o dei pozzi profondi. Dopo aver selezionato i dati geotermici più significativi sono stati realizzati dei progetti per le singole regioni di interesse (Toscana, Lazio, Sardegna).

Nei singoli progetti sono presenti solo gli shapefile più significativi per la caratterizzazione geotermica delle aree in esame, i quali rappresentano solo una minima parte dei dati già a disposizione o reperiti ad hoc per la stesura di questo rapporto. E' importante sottolineare che i dati reperiti non sono purtroppo sempre di ottima qualità, in alcuni casi per una erronea trascrizione come nel caso di alcune coordinate relative all'ubicazione dei pozzi geotermici presenti nella banca dati UNMIG, in altri casi perché le mappe sono volutamente schematiche e/o poco chiare.

Gli shapefile presentano una vestizione volta alla più chiara visualizzazione possibile. Per esempio le sorgenti e manifestazioni termali della banca dati del Ministero sono state discriminate con colore diverso, a seconda che la temperatura fosse maggiore o minore di 20°C, mentre i titoli minerari vigenti sono stati discriminati con colore diverso sulla base della tipologia di appartenenza. Attivando le label (etichette) dei singoli shapefile viene mostrato in partenza il dato più significativo: per le manifestazioni termali la temperatura, per i titoli minerari la denominazione, per gli shapefile lineari (ad es. le temperature al tetto del potenziale serbatoio geotermico) il valore associato all'isolinea.

Ad ogni shapefile è stato attribuito un nome chiaro e il riferimento bibliografico se unico (per il riferimento bibliografico completo si rimanda al capitolo "Bibliografia" di questo elaborato). Se ad un singolo shapefile sono associati più riferimenti bibliografici, questi sono specificati in un

campo specifico ("Fonte") nella tabella degli attributi. Anche in questo caso si rimanda al capitolo "Bibliografia" di questo elaborato per il riferimento bibliografico completo.

La descrizione del contenuto dello shapefile e i relativi riferimenti bibliografici, la descrizione dei singoli campi contenuti nella tabella degli attributi e degli eventuali codici utilizzati e la descrizione delle modifiche apportate allo shapefile, sono invece memorizzate all'interno dei metadati associati ai singoli shapefile e redatti secondo la direttiva INSPIRE, così come previsto dal DM 10/11/11 (oltre ad altri metadati fondamentali quali i responsabili della risorsa e le informazioni di contatto).

In ambiente GIS sono stati inoltre confrontati gli shapefile riguardanti i pozzi e le sorgenti del database UNMIG e le manifestazioni superficiali in nostro possesso, con gli stessi set di dati fornitoci dalla committenza: dal confronto effettuato, per quanto riguarda i pozzi e le sorgenti termali del database UNMIG abbiamo convenuto che il dataset già in nostro possesso, fosse più preciso, in quanto era già stato modificato da noi sulla base di precedenti studi, mentre per quanto riguarda l'ubicazione delle manifestazioni gassose da un confronto con il dataset fornitoci abbiamo riscontrato che i due set di dati sono uguali, salvo una discrepanza relativa all'ubicazione legata alla proiezione dei punti.

Gli shapefile presenti nella banca dati sono:

- perimetri dei titoli minerari vigenti (shapefile poligonale); le informazioni riportate sono la denominazione, la società titolare o richiedente, la tipologia, l'eventuale concorrenza nel caso di istanze di permesso di ricerca;
- temperature al tetto del potenziale serbatoio (shapefile lineare): sono riportati sia lo shapefile relativo alla ricostruzione delle temperature al tetto del potenziale serbatoio derivanti dall'Inventario delle Risorse Geotermiche sia lo shapefile derivante dall'Atlas of Geothermal Resources in Europe, il quale risulta più aggiornato essendo incluse anche le temperature misurate nei pozzi profondi perforate dopo la pubblicazione della banca dati del Ministero; per la Regione Sardegna, dove non è riconosciuto un serbatoio geotermico questo shapefile non è riportato; le informazioni riportate sono il valore della temperatura in °C per ciascuna isoterma;
- temperature stimate o misurate a diverse profondità rispetto al piano campagna (shapefile lineari): sono riportate le temperature a 500, 1000, 2000, 3000 metri di profondità derivanti dall'Inventario delle Risorse Geotermiche (1988) e dal successivo aggiornamento (1994); per la Regione Toscana e per la Regione Lazio sono disponibili tutti questi shapefile mentre per la Regione Sardegna non sono disponibili gli shapefile relativi alle temperature a 500 e 3000 metri di profondità; le informazioni riportate sono il valore della temperatura in °C per ciascuna isoterma;

- gradiente geotermico (shapefile lineare): per le regioni Lazio e Toscana sono riportate le isolinee di gradiente geotermico derivanti da articoli scientifici e ricostruite a partire dalle misure effettuate nei pozzetti di gradiente geotermico; le informazioni riportate sono il valore del gradiente in °C/km per ciascuna isolinea;
- heat flow (shapefile lineare): le isolinee del flusso di calore riportate derivano dall'Inventario delle Risorse Geotermiche (aggiornamento 1994) per Toscana e Sardegna e da una pubblicazione scientifica per la Regione Lazio; le informazioni riportate sono il valore del flusso di calore in mW/m² per ciascuna isolinea;
- tetto del potenziale serbatoio geotermico (shapefile lineare); per le sole regioni Toscana e Lazio è riportata la ricostruzione dell'andamento del potenziale serbatoio geotermico, derivante dall'Inventario delle Risorse Geotermiche e dal Progetto Finalizzato Energetica (CNR, 1982); le informazioni riportate sono la quota dell'isobata del tetto del potenziale serbatoio geotermico in metri s.l.m.;
- uplift e spessore dei sedimenti marini neogenici (shapefile lineari): le quote raggiunte dai sedimenti marini deposti nel Neogene sono importanti per comprendere l'evoluzione del margine tirrenico dell'Appennino Settentrionale, avendo subito un uplift che dal livello del mare li ha portati a quote talvolta superiori agli 800 metri; lo spessore dei sedimenti neogenici è invece correlabile all'estensione che la crosta continentale ha subito; gli shapefile derivano da diversi articoli scientifici e sono disponibili per le regioni Toscana e Lazio; le informazioni riportate sono il valore in metri della quota raggiunta dai sedimenti neogenici e il valore in metri dello spessore degli stessi;
- pozzi (shapefile puntuale): questo shapefile deriva dall'Inventario delle Risorse Geotermiche ma come già detto è stato implementato con le informazioni reperite su pubblicazioni di settore; le informazioni riportate sono nome del pozzo, la quota, la localizzazione (comune e provincia di appartenenza), la tipologia, la società proprietaria, la data di completamento, la profondità, lo scopo, l'esito minerario, la temperatura massima misurata e la profondità e il metodo con cui è stata misurata, solo per i pozzi della Sardegna inoltre, essendo presenti qui quasi esclusivamente pozzetti di gradiente e non essendo presente una carta del gradiente geotermico, è riportato anche il valore del gradiente geotermico misurato;
- sorgenti banca dati del Ministero (shapefile puntuale): questo shapefile deriva dall'Inventario delle Risorse Geotermiche ma come già detto è stato implementato con le informazioni reperite su pubblicazioni di settore; le informazioni riportate sono nome della sorgente, la quota, la localizzazione (comune e provincia di appartenenza), la tipologia di emergenza, la litologia di emergenza, lo stato, la temperatura indicativa;

- manifestazioni gassose (shapefile puntuale): questo shapefile deriva da diverse fonti bibliografiche; le informazioni riportate sono il nome dell'emergenza, la tipologia, la fonte del dato e la temperatura;
- altre sorgenti termali (shapefile puntuale): questo shapefile è disponibile solo per la Regione Lazio, e contiene sorgenti e pozzi di cui è nota la temperatura, le cui informazioni derivano da diverse fonti bibliografiche; le informazioni riportate sono il nome, la temperatura misurata, la fonte del dato e la tipologia;
- complessi idrogeologici (shapefile poligonale): questo shapefile deriva dalla semplificazione di carte idrogeologiche presenti in letteratura; lo shapefile è disponibile per le regioni Lazio e Toscana; le informazioni riportate sono la sigla attribuita a ciascun complesso idrogeologico e la descrizione estesa delle sigle riportate;
- siti minerari (shapefile puntuale): questo shapefile è disponibile solamente per la Regione Toscana; le mineralizzazioni indicano la presenza di circolazione idrotermale presente e/o passata; rappresenta l'ubicazione dei maggiori siti minerari della regione e deriva dallo shapefile "Risorse Minerarie" pubblicato dalla Regione Toscana nei suoi open data; le informazioni riportate sono la località mineraria, gli elementi maggiori e il link al sito web della Regione Toscana da cui è possibile scaricare la risorsa.

Una volta reperiti tutti i dati necessari si è quindi proceduto ad una valutazione della risorsa geotermica dapprima da un punto di vista regionale e in seguito da un punto di vista locale focalizzandoci sulle aree di interesse forniteci dalla committenza. La risorsa geotermica è stata quindi valutata secondo la classificazione proposta dall'Australian Geothermal Reporting Code sulla base dei dati a disposizione, ed è stata quindi valutata la possibilità o meno di un futuro interesse industriale della risorsa presente nel sottosuolo. Con i dati a disposizione si specifica che non è possibile indicare se la risorsa presente nelle aree in esame possa essere o meno di interesse nazionale come indicato nel Decreto Legislativo 11 febbraio 2010, n. 22.

Per una migliore chiarezza di esposizione, le aree individuate saranno trattate a gruppi sulla base della loro ubicazione e delle caratteristiche geotermiche omogenee.

Caratterizzazione geotermica delle aree di interesse

Nei successivi paragrafi si procederà alla descrizione geotermica delle singole aree di interesse o di gruppi di aree geotermicamente affini. Per ciascuna area o gruppo di aree sarà quindi descritta l'anomalia geotermica presente, la presenza o meno di una risorsa a profondità economicamente interessanti e il tipo di risorsa presente.

- Regione Toscana: sono presenti tre aree, delle quali una localizzata in provincia di Pisa, una in provincia di Grosseto e una in provincia di Siena.
- Regione Lazio: sono presenti 34 aree, delle quali 33 sono localizzate in provincia di Viterbo e una a cavallo tra le province di Roma e Viterbo.
- Regione Sardegna: sono presenti 22 aree, distribuite nelle province di Cagliari, Medio Campidano, Oristano e Ogliastra.
- Regioni Puglia e Basilicata: sono presenti 40 aree, distribuite tra le province di Matera, Bari, Potenza, Taranto, Lecce e Foggia, alcune delle quali ricadono a metà tra le due regioni.

Area PI-3

L'area PI-3 (Figura 1) si trova in Toscana all'interno del bacino del Tora-Fine in provincia di Pisa. Il bacino del Tora-Fine è un bacino estensionale delimitato da faglie dirette ad orientazione appenninica (NW-SE) di età mio-pliocenica (Figura 2). Il bacino è delimitato ad ovest dai rilievi dei Monti Livornesi, ad est dalla dorsale Casciana Terme-Orciatico e a nord e a sud da due importanti lineazioni tettoniche trasversali (NE-SW): la linea Livorno-Pistoia a nord e il bacino del fiume Cecina a sud. Nel bacino del Tora-Fine affiorano i sedimenti legati al ciclo del neoautoctono mentre sui rilievi circostanti affiorano le Unità Liguri (Figura 3). La Falda Toscana affiora nei pressi di Casciana Terme a NE e a Quercianella ad ovest. Come tutta la Toscana meridionale anche questa zona è stata interessata da uplift nella parte superiore del Pliocene.

La zona è interessata da un'anomalia geotermica positiva, legata alla vicinanza con il margine tirrenico e all'assottigliamento crostale dovuto all'estensione che interessa la zona interna dell'Appennino settentrionale dal mio-pliocene. Il flusso di calore è di circa 100 mW/m^2 e il gradiente geotermico è di circa $60\text{-}65^\circ\text{C/km}$ (misura nei pozzi Solvay di Rosignano, posti a circa 10 km di distanza dall'area in esame in direzione SW). Sui Monti Livornesi nelle vicinanze di Gabbro e di Nibbiaia sono presenti delle sorgenti a debole termalità ($20\text{-}24^\circ\text{C}$), legate alla circolazione di acque meteoriche in profondità all'interno delle ofioliti fratturate qui affioranti. Altre manifestazioni termali si trovano a Casciana Terme posta a circa 11 km a NE dell'area in esame. Il tetto del serbatoio geotermico (ENEL, ENI-AGIP, CNR e ENEA, 1988) in corrispondenza dell'area PI-3 si trova tra i -1800 e i -2000 metri (s.l.m.), e risale con un forte gradiente orizzontale a profondità minori a mano a mano che ci si allontana dal depocentro del bacino. Non vi sono nella zona dati di sottosuolo diretti, ma sulla base delle conoscenze dei bacini estensionali della Toscana meridionale si possono fare alcune considerazioni:

- al di sotto delle successioni neogeniche che colmano il bacino del Tora-Fine sono presenti le Unità Liguri, in continuità con gli affioramenti presenti sui Monti Livornesi e sulla dorsale di Casciana Terme; entrambe le unità costituiscono la copertura impermeabile del serbatoio geotermico;
- al di sotto delle Unità Liguri si trova il serbatoio geotermico regionale: sulla base delle conoscenze relative agli altri bacini della Toscana meridionale si suppone che l'unica formazione appartenente alla Falda Toscana qui presente sia il Calcere Cavernoso (assetto a "serie ridotta");
- il bacino è interessato da un'intensa anomalia gravimetrica negativa legata all'elevato spessore di sedimenti neogenici a bassa densità che lo colmano: il minimo gravimetrico è

posto leggermente più a nord rispetto alla zona più ribassata individuata sul tetto del serbatoio geotermico;

- sulla base della profondità del tetto del serbatoio e sulle misure di gradiente geotermico si stima una temperatura al tetto del serbatoio compresa tra i 100 e i 150°C.

Sulla base delle precedenti considerazioni si può concludere che in corrispondenza dell'area PI-3 è presente a profondità di circa 2000 metri un serbatoio regionale con temperature che potrebbero permettere uno sfruttamento industriale del calore ivi presente. Questo interesse è evidenziato dalla presenza immediatamente ad ovest del perimetro individuato, del permesso di ricerca denominato "Rosignano" della società Iterna, volto al reperimento di fluidi a media entalpia per la produzione di energia elettrica tramite centrali a ciclo binario. Si sottolinea inoltre la presenza, ad est dell'area, di una mineralizzazione a ferro e rame un tempo sfruttata.

In corrispondenza dell'area PI-3 è presente una risorsa geotermica presunta di bassa temperatura. Non esistono dati diretti o indiretti relativi all'esistenza o meno di un serbatoio geotermico superficiale. Potrebbe essere presente il serbatoio geotermico regionale a profondità di 1600 - 2000 metri.

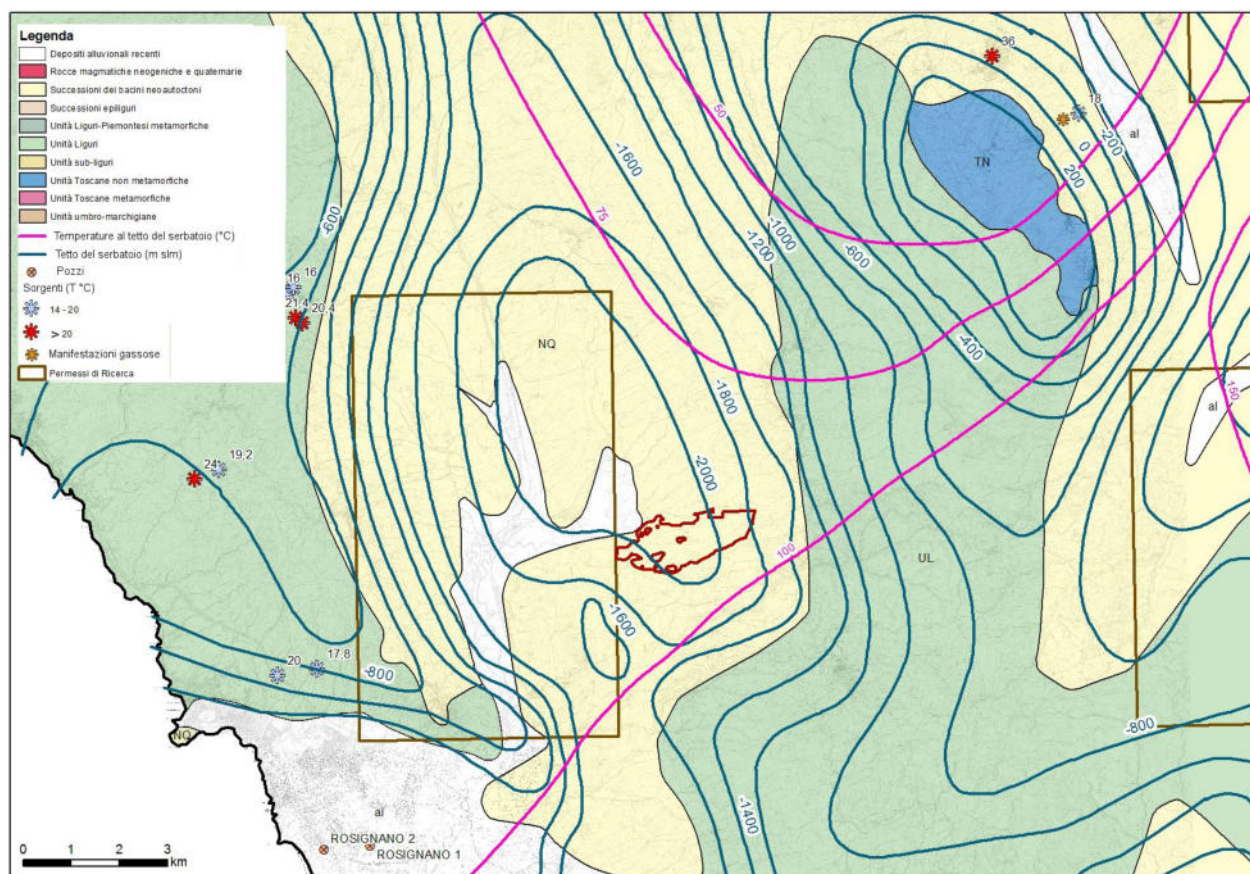


Figura 1 - Area PI-3 e principali dati geotermici.

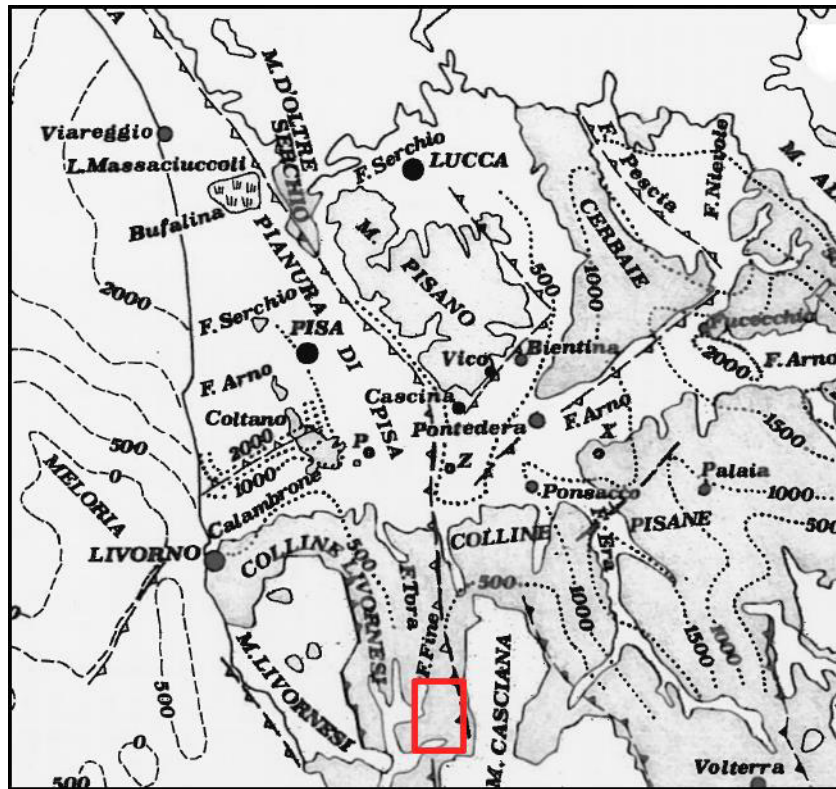


Figura 2 - Carta geologica schematica dell'area PI-3 (da Mazzanti R., 2000). I simboli con i dentini indicano le principali faglie distensive.

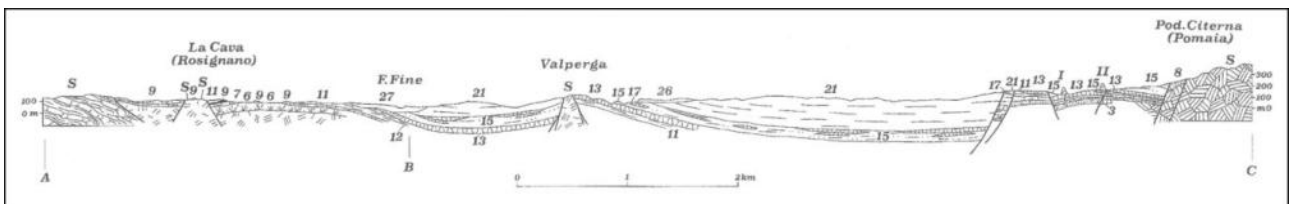


Figura 3 - Sezione schematica della parte meridionale della val di Fine, nella quale si evidenziano ad ovest e ad est gli alti strutturali rappresentati dagli affioramenti delle Unità Liguri (da Bossio et al., 1999). S, substrato pre-neogenico; i numeri indicano le varie formazioni del Miocene, Pliocene e Quaternario.

Area GR-2

L'area GR-2 (Figura 4) si trova in Toscana in provincia di Grosseto, nei pressi dell'abitato di Campagnatico, all'interno del bacino di Cinigiano-Baccinello. Il bacino di Cinigiano è uno dei bacini estensionali neogenici che caratterizzano la Toscana meridionale; ha un andamento circa NNE-SSW ed è solcato dal fiume Ombrone (Figura 5). Il bacino è delimitato ad est dalla dorsale Monticiano-Monti Leoni e ad ovest dalla dorsale Monte Aquilaia-Semproniano, a sud il bacino chiude contro i rilievi di Scansano: tutti questi rilievi sono caratterizzati dalla presenza in affioramento delle unità toscane; in corrispondenza dei Monti Leoni affiorano anche le unità toscane metamorfiche le quali si trovano a contatto con le Unità Liguri ("serie ridotta", Figura 6). L'area si colloca nella porzione meridionale di un alto strutturale in cui affiorano sia le Unità Liguri che le Unità Toscane (rappresentate dalla formazione del Macigno, che parzialmente affiora all'interno del perimetro dell'area GR-2), e i sedimenti alluvionali recenti del fiume Ombrone. Nel bacino affiorano per lo più i sedimenti di età miocenica. Anche questa area è stata sollevata nel Pliocene sup., come dimostrato dalle quote dei sedimenti neogenici (da + 100 a + 300 metri s.l.m.).

Nel suo insieme l'area si colloca ad ovest del Monte Amiata ed è stata investigata in passato con la perforazione di alcuni pozzetti geotermici (tra i 7 e i 15 km di distanza dall'area GR-2 in direzione est e sud-est) per verificare la prosecuzione verso ovest dell'anomalia geotermica del Monte Amiata. Trovandosi in una posizione molto vicina agli affioramenti della Falda Toscana, il gradiente geotermico risulta parzialmente "depresso" rispetto agli alti gradienti misurati nella zona amiatina, ma i valori stimati in prossimità dell'area in esame sono comunque dell'ordine dei 75°C/km. Il gradiente diminuisce a 50°C spostandoci verso nord e verso est. Il flusso di calore nell'area interessata è inferiore ai 100 mW/m². Non vi sono dati di sottosuolo diretti, ma sulla base della ricostruzione riportata in Figura 4 (ENEL, ENI-AGIP, CNR e ENEA, 1988) il serbatoio geotermico dovrebbe trovarsi a profondità comprese tra i - 600 e i - 800 metri (s.l.m.). Le temperature attese all'interno del serbatoio geotermico sono stimate tra i 75 e i 100°C. Non sono presenti nelle immediate vicinanze dell'area di studio sorgenti e manifestazioni termali, non essendo presenti in affioramento le unità rappresentative del serbatoio geotermico regionale; le sorgenti termali più vicine si trovano presso Roselle (13 km in direzione SW, 37°C).

Sulla base delle considerazioni effettuate in precedenza si può concludere che in corrispondenza dell'area GR-2 il serbatoio geotermico regionale si troverebbe a una profondità inferiore ai 1000 metri e con temperature comprese tra i 75 e i 100°C: la profondità e la temperatura stimate fanno supporre che in questa zona non dovrebbero esserci i presupposti per un eventuale interesse industriale di sfruttamento dei fluidi per la produzione di energia elettrica, ma potrebbero

essere invece interessanti per altri usi diretti del calore. L'area GR-2 ricade per intero all'interno del permesso di ricerca per risorse geotermiche denominato "Cinigiano" di proprietà della società "Gesto": il programma dei lavori prevede il rinvenimento di fluidi nel serbatoio geotermico regionale posto a profondità comprese tra 1000 e 1800 metri dal piano campagna con temperature previste di 100 - 150°C; sulla base di queste dichiarazioni è possibile che l'interesse della società sia rivolto alla parte centrale del bacino di Cinigiano, dove il serbatoio geotermico si trova a profondità maggiori e risulta quindi interessato da temperature più alte.

La risorsa geotermica relativa all'area GR-2 è una risorsa presunta di bassa temperatura. Non esistono dati diretti (pozzi) nell'area in esame, che permettano una conoscenza diretta della stratigrafia e delle temperature nel sottosuolo.

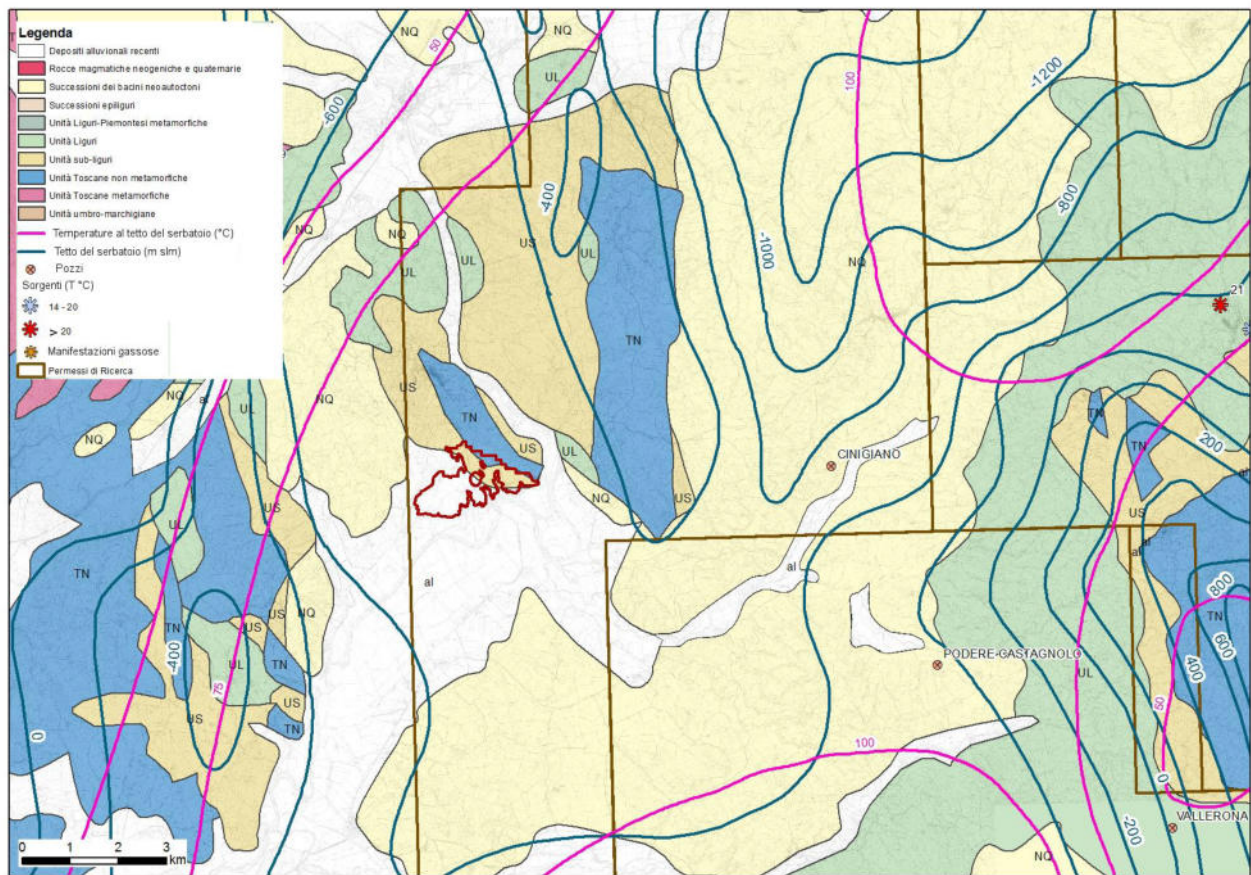


Figura 4 - Area GR-2 e principali dati geotermici.

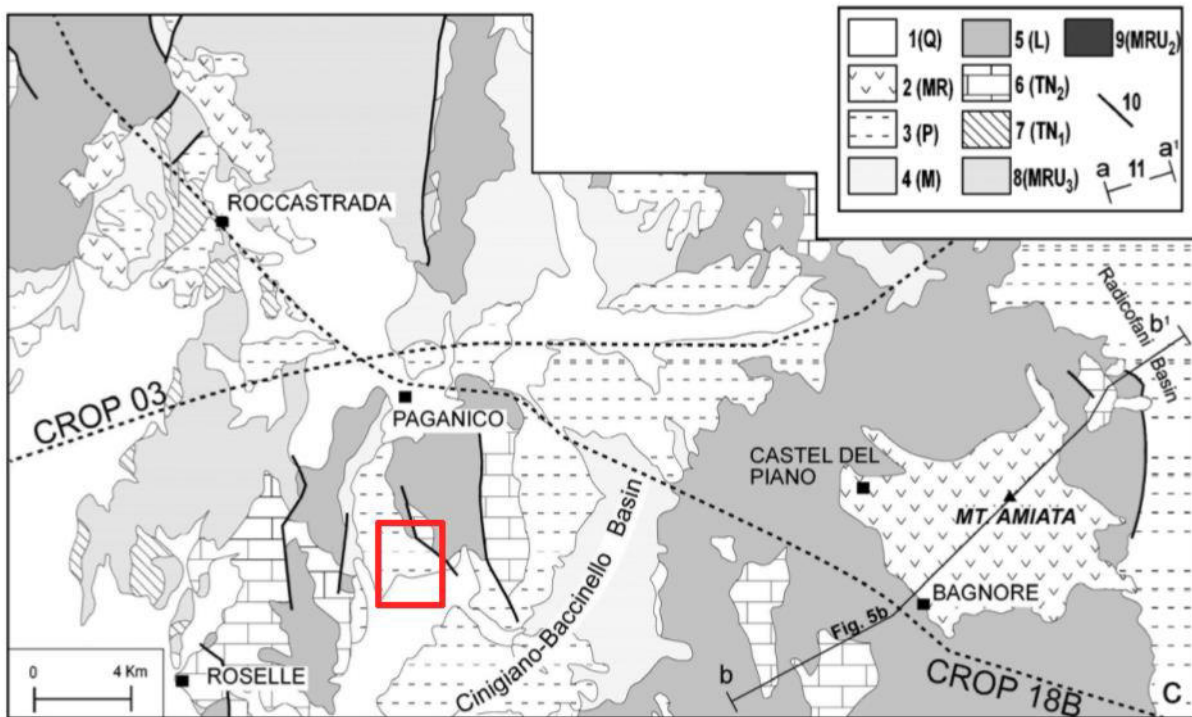


Figura 5 - Carta geologica schematica del bacino di Cinigiano (da Brogi et al., 2005). Q, quaternario; MR, rocce magmatiche; P, sedimenti Pliocene; M, sedimenti Miocene; L, Unità Liguri; TN2 e TN1, Falda Toscana, MRU2 e MRU3, Falda Toscana metamorfica.

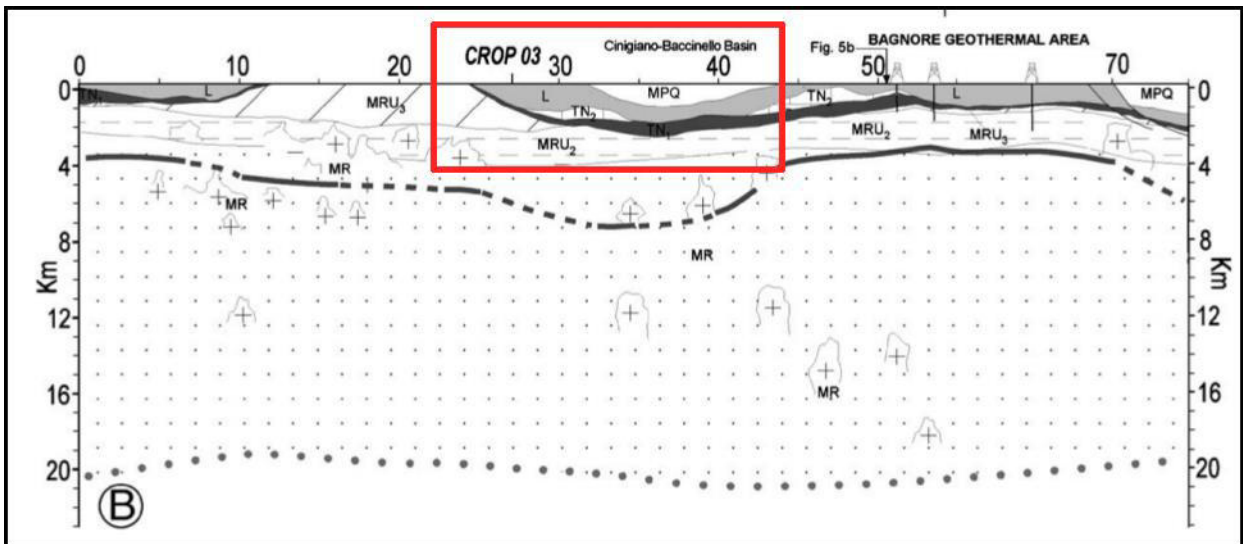


Figura 6 - Profilo sismico CROP18B passante dal bacino di Cinigiano (da Brogi et al., 2005). MPQ, sedimenti Miocene, Pliocene, Quaternario; L, Unità Liguri; TN2 e TN1, Falda Toscana, MRU, Falda Toscana Metamorfica.

Area SI-5

L'area SI-5 (Figura 7) si trova in Toscana in provincia di Siena. L'area è ubicata al margine orientale del bacino di Siena, un'ampia depressione strutturale che assieme al bacino di Radicofani, forma una struttura allungata in direzione NW-SE che si estende dai Monti del Chianti a nord fino al Lazio a sud. Ad est il bacino di Siena è bordato dalla dorsale Rapolano-Monte Cetona-Torre Alfina, ad ovest dalla dorsale medio-toscana. Il bacino di Siena-Radicofani è stato nel mio-pliocene sede di un'importante sedimentazione continentale e marina con spessori che possono superare i 2000 metri. L'area SI-5 è localizzata ai margini della dorsale Rapolano-Monte Cetona in corrispondenza della quale affiorano tutte le formazioni appartenenti alla Falda Toscana. Il bordo orientale del bacino di Siena è delimitato dalla faglia di Rapolano (in prossimità dell'abitato di Rapolano Terme a circa 20 km a nord dall'area, Figura 8), struttura tettonica distensiva che ha guidato l'estensione del bacino, la quale prosegue verso sud riaffiorando in corrispondenza del Monte Cetona. Lungo la faglia di Rapolano, dove questa è interessata da strutture tettoniche trasversali di età quaternaria (orientate NE-SW), si ha deposizione di travertino ed emergenza di acque termali, con temperature fino a 38°C (Figura 9).

L'area si colloca in corrispondenza di depositi del ciclo pliocenico e in prossimità dell'affioramento di rocce appartenenti alla Falda Toscana, in particolare alle formazioni che, per fratturazione, costituiscono dove presenti nel sottosuolo il serbatoio geotermico regionale assieme al Calcere Cavernoso (Calcere Massiccio, Calcari e Marne a Rhaetavicula contorta). Questi piccoli affioramenti non sono altro che la prosecuzione verso ovest dell'affioramento più importante lungo la dorsale Rapolano-Monte Cetona: in tutta la zona le formazioni appartenenti alla Falda Toscana sono sub-affioranti al di sotto di una esigua coltre di sedimenti neogenici (Figura 7, ENEL, ENI-AGIP, CNR e ENEA, 1988). Il serbatoio si approfondisce poi verso ovest all'interno del bacino. L'area è interessata da un flusso di calore anomalo con valori compresi tra 50 e 100 mW/m² e un gradiente geotermico compreso tra i 40 e i 50°C/km: le formazioni appartenenti alla Falda Toscana presenti in affioramento sono sede di infiltrazione di acque meteoriche. Le temperature attese nel serbatoio non dovrebbero superare i 50°C nella parte sepolta nei dintorni dell'area. Si sottolinea la presenza a circa 4 km a NW dell'area SI-5 di una sorgente termale con temperatura di 27°C captata da un agriturismo.

Sulla base di queste considerazioni si può concludere che l'area SI-5, trovandosi in una posizione in cui le rocce appartenenti al serbatoio geotermico sono sub-affioranti e in cui le temperature massime previste non dovrebbero superare i 50°C, non risulta interessante da un punto di vista industriale per la produzione di energia elettrica dai fluidi presenti nel primo serbatoio, ma

potrebbe essere interessante per usi diretti dei fluidi a bassa entalpia qui presenti, come testimoniato dall'agriturismo sorto nelle vicinanze di una scaturigine a 27°C. Nelle immediate vicinanze dell'area, ad est e a sud, sono presenti dei permessi di ricerca e delle istanze di permesso di ricerca per risorse geotermiche: non di tutte è stato possibile reperire la documentazione. Nelle istanze reperite l'obiettivo minerario è il rinvenimento di fluidi caldi all'interno del serbatoio geotermico regionale, posto in queste zone a profondità maggiori.

La risorsa geotermica relativa all'area SI-5 è una risorsa presunta di bassa temperatura. Il serbatoio carbonatico regionale è affiorante. Non esistono dati diretti (pozzi) nell'area in esame, che permettano una conoscenza diretta della stratigrafia e delle temperature nel sottosuolo.

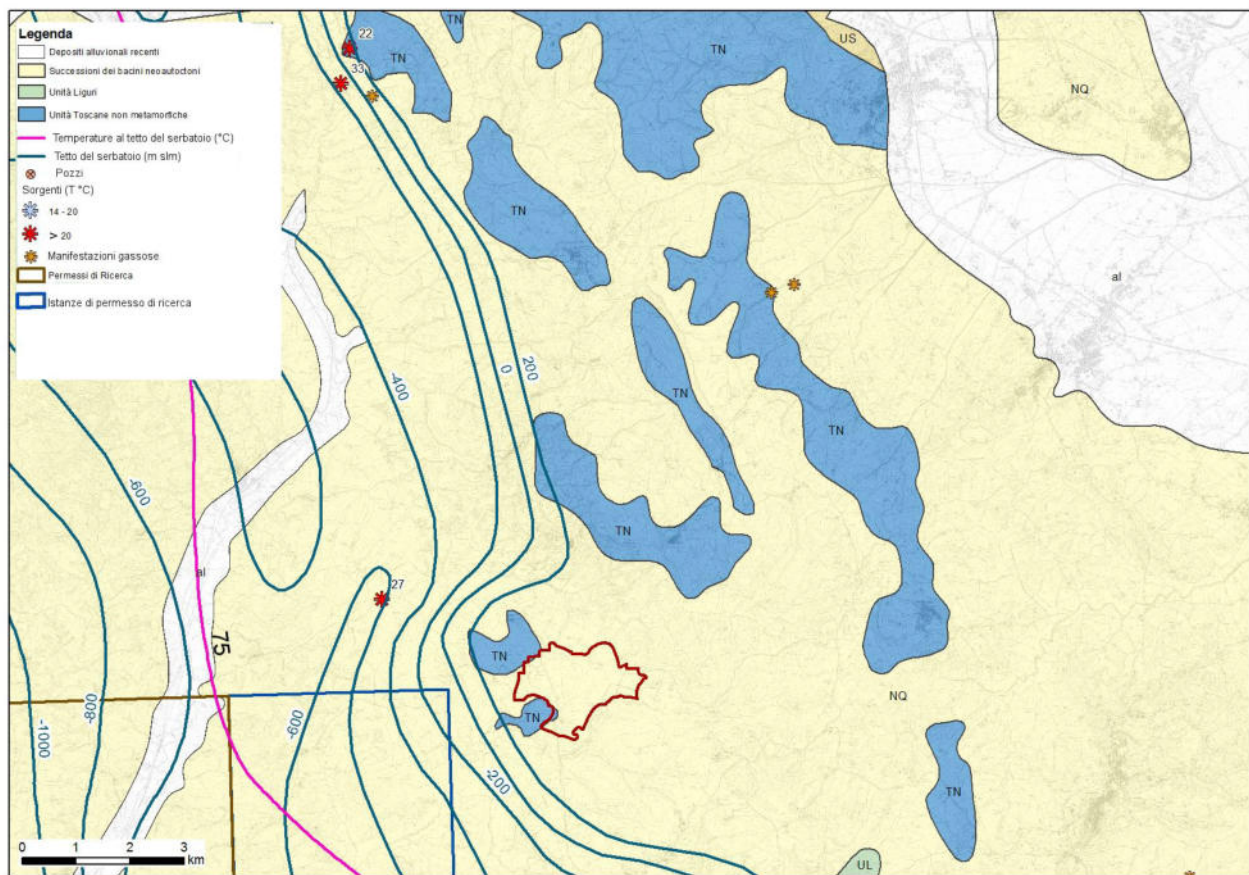


Figura 7 - Area SI-5 e principali dati geotermici.

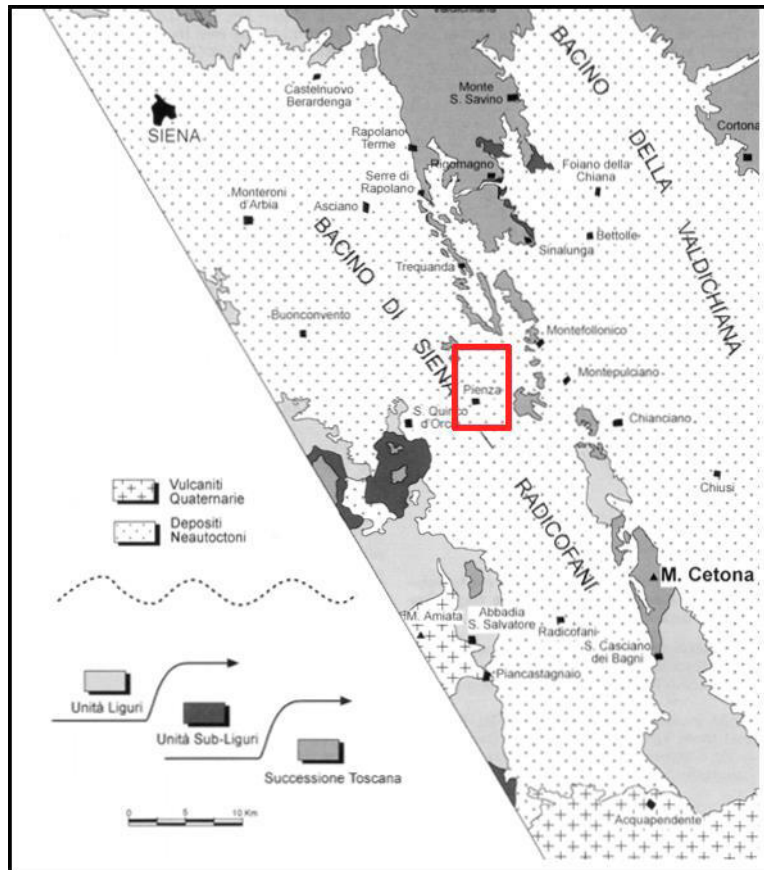


Figura 8 - Carta geologica schematica in corrispondenza dell'area SI-5 (da Aque e Brogi, 2002).

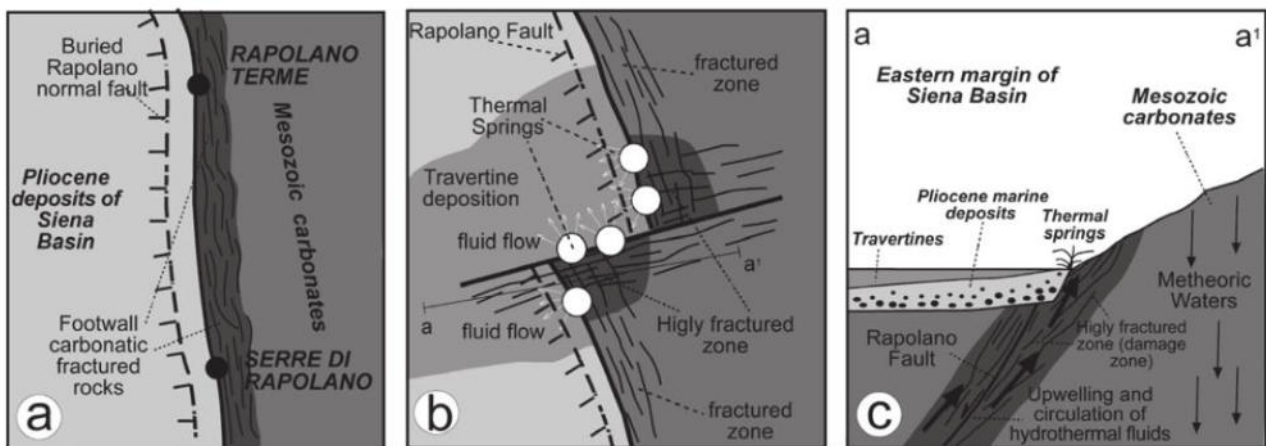


Figura 9 - Schema della circolazione idrotermale in corrispondenza di Rapolano Terme (da Brogi, 2004).

Area VT-35

L'area VT-35 (Figura 10) è ubicata nel Lazio, in provincia di Viterbo, al confine con la regione Toscana. L'area si colloca all'interno del bacino di Radicofani, importante struttura estensionale di età mio-pliocenica, compresa tra la dorsale Monte Amiata-Castell'Azzara a ovest e la dorsale Monte Cetona-Torre Alfina a est (Figura 11). Il bacino è orientato all'incirca in direzione NW-SE e nel depocentro è stato stimato uno spessore dei sedimenti neogenici di circa 2500 metri (il pozzo Radicofani1 situato a circa 8 km dell'area di interesse) ha perforato 2000 metri di sedimenti neogenici senza toccare il sottostante substrato). A sud il bacino di Radicofani confluisce assieme al bacino della Valdichiana nel bacino del fiume Tevere. Nelle immediate vicinanze dell'area sono presenti in affioramento due grandi complessi magmatici: il Monte Amiata (circa 11 km a NW) e il complesso magmatico vulsino (a meno di 4 km a sud). Il bacino di Radicofani è stato densamente investigato tramite prospezioni sismiche negli anni '80 da parte di AGIP-FINA per la ricerca di idrocarburi, le quali hanno permesso di individuare al di sotto della spessa coltre di sedimenti neogenici, la presenza delle unità liguri, e al di sotto il serbatoio geotermico regionale, costituito solamente dal Calcare Cavernoso ("serie ridotta", Figura 12). La strutturazione del bacino di Radicofani è ha horst e graben, con gli horst (alti strutturali) costituiti dalle dorsali che lo bordano e il graben che è rappresentato dal bacino stesso. Sugli alti strutturali si rinviene la serie toscana completa, la quale risulta invece delaminata ("serie ridotta") all'interno del bacino. Sul lato orientale del bacino in corrispondenza degli affioramenti di Falda Toscana del Monte Cetona è riconosciuta una scarpata di faglia diretta immergente verso il centro del bacino il cui rigetto complessivo è stimato in oltre 2000 metri. L'evoluzione del bacino di Radicofani è da ricondurre a quella di un semigraben bordato da faglie dirette a geometria listrica; i sedimenti che lo colmano poggiano in discordanza sul substrato pre-neogenico.

L'area VT-35 si trova in un'area interessata da un'anomalia geotermica positiva, trovandosi a meno di 3 km a SE dalla concessione di coltivazione della società ENEL Green Power di Piancastagnaio. L'area è interessata da un flusso di calore compreso tra i 100 e i 150 mW/m² e un gradiente geotermico compreso tra i 50 e i 75°C/km. L'anomalia geotermica è da relazionare all'intrusione granitica al di sotto della regione amiatina, ed in parte ai sistemi magmatici dei vulcani del complesso vulsino. Non vi sono nelle immediate vicinanze dell'area VT-35 manifestazioni termali, trovandosi il serbatoio geotermico in questa zona a notevole profondità (tra i -1600 e i - 2000 metri s.l.m.) e non essendo l'area posta nelle vicinanze di alcun lineamento tettonico importante. Le temperature al tetto del serbatoio geotermico sono stimate attorno ai 150°C ma potrebbero essere anche superiori.

Sulla base di queste considerazioni possiamo affermare che nell'area VT-35 è presente una risorsa a medio-alta entalpia all'interno del serbatoio geotermico regionale posto a profondità comprese tra i - 1600 e i - 2000 metri, che potrebbe essere interessante per uno sfruttamento industriale e la produzione di energia elettrica. Si esclude la possibilità che nell'area siano presenti risorse geotermiche più superficiali, essendo presenti spessori notevoli di sedimenti impermeabili. L'interesse geotermico che quest'area riveste è testimoniato dalla presenza di numerosi permessi di ricerca e di istanze attorno all'area in esame. L'area stessa ricade all'interno dell'istanza denominata "Ponte Rigo" della società Iterna in concorrenza con l'istanza "Centeno" della società Sorgenia Geothermal e in parte all'interno del perimetro del permesso di ricerca "Montorio" sempre della società Sorgenia Geothermal, entrambi richiesti per la ricerca e l'eventuale sfruttamento dei fluidi rinvenuti all'interno del serbatoio geotermico regionale per la produzione di energia elettrica. Nelle zone limitrofe sono inoltre presenti altri permessi di ricerca a coprire l'intera anomalia geotermica positiva che interessa la regione amiatina, a riprova dell'elevato interesse industriale per questa zona geotermica.

L'area VT-35 è sede di una risorsa geotermica presunta di medio-alta temperatura.

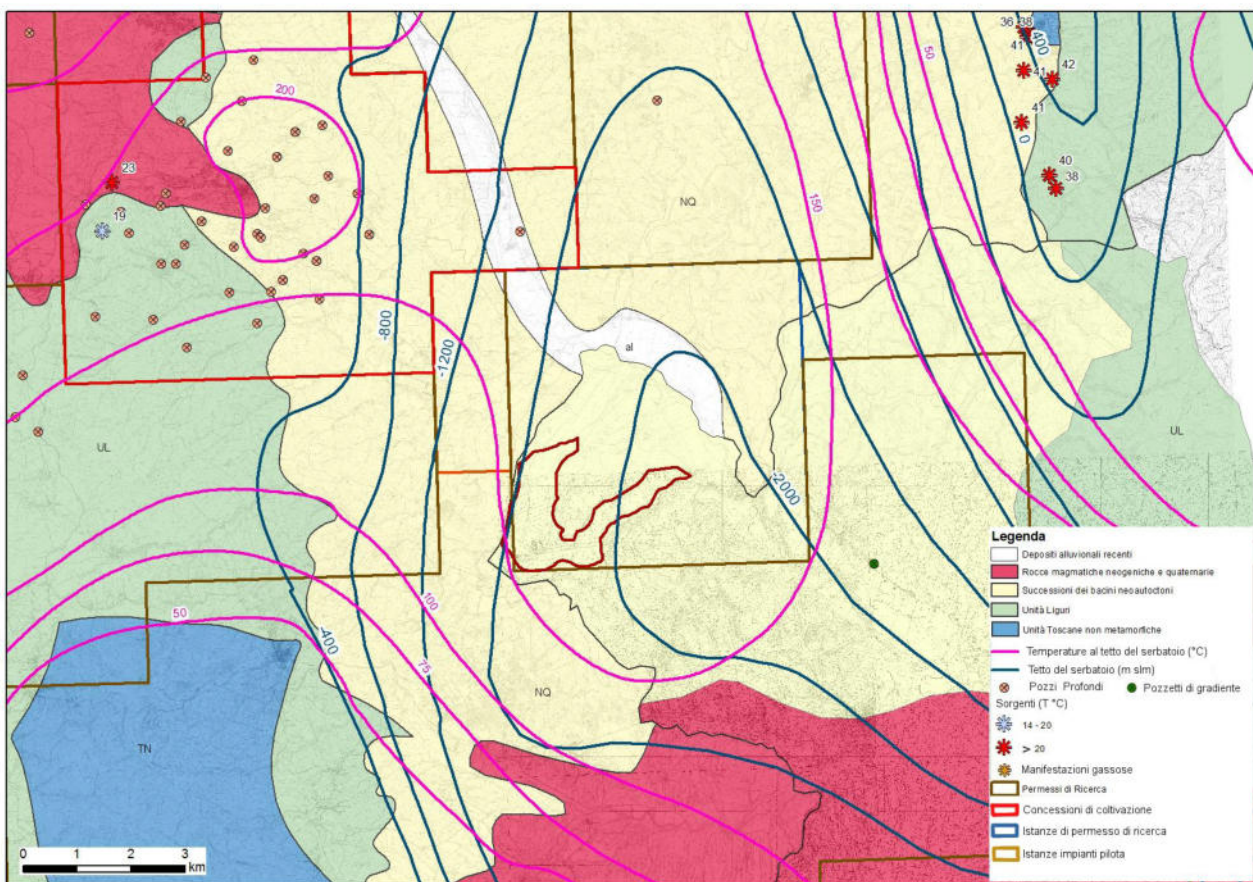


Figura 10 - Area VT-35 e principali dati geotermici.

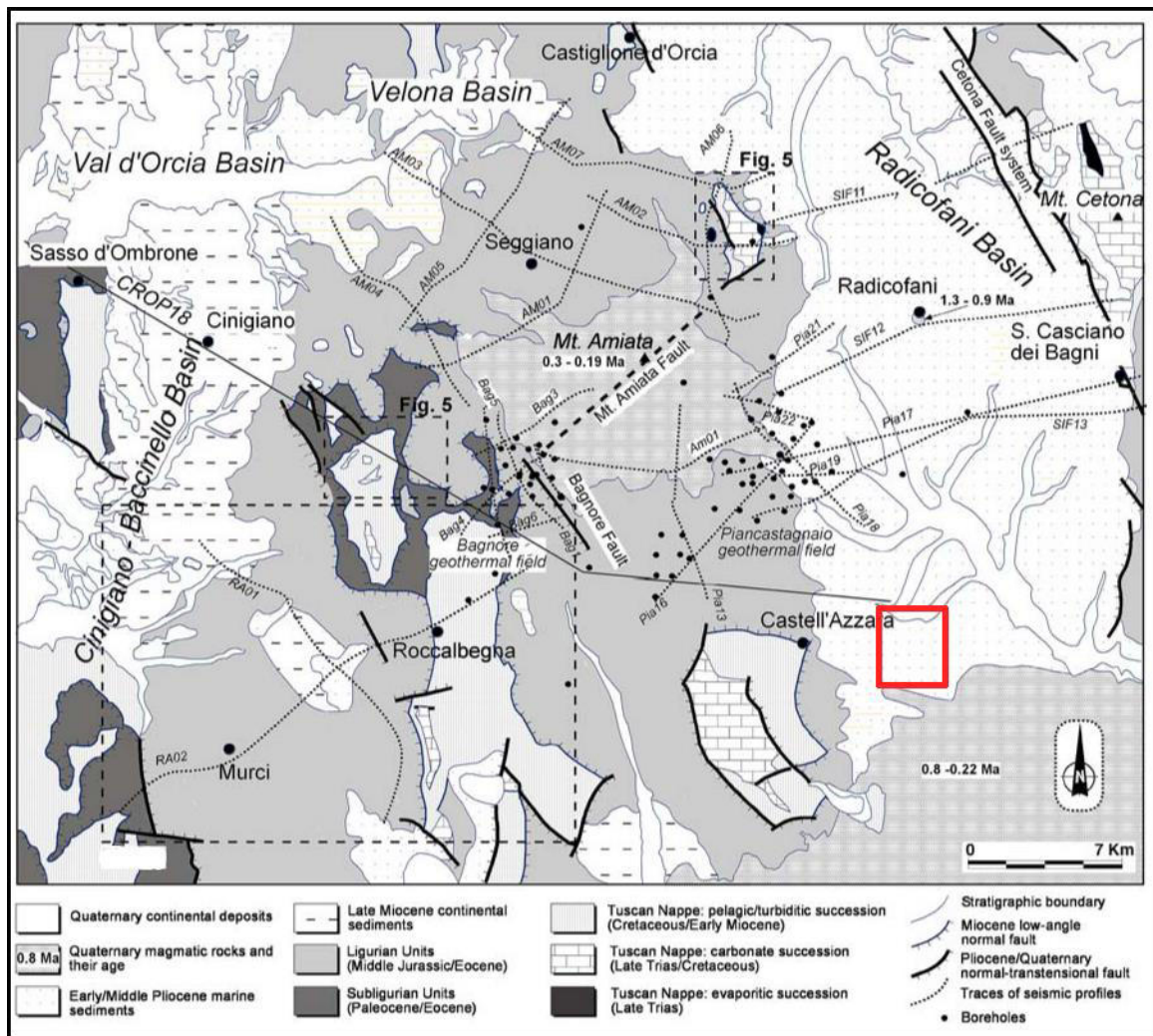


Figura 11 - Carta geologica schematica dell'area in esame (da Brogi A., 2008).

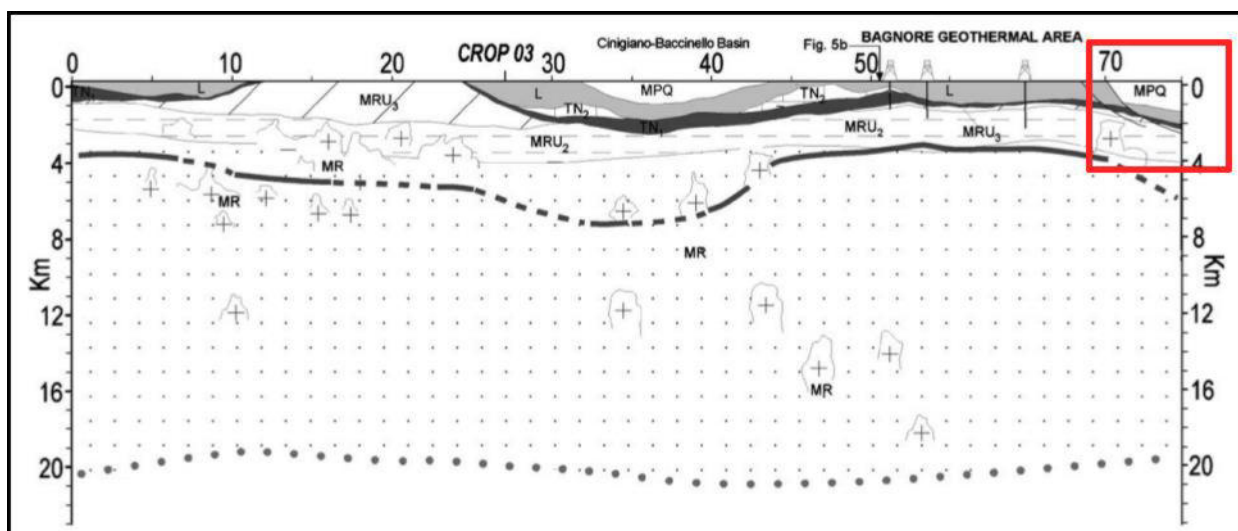


Figura 12 - Profilo sismico CROP18B passante dal bacino di Radicofani (da Brogi et al., 2005). MPQ, sedimenti Miocene, Pliocene, Quaternario; L, Unità Liguri; TN2 e TN1, Falda Toscana, MRU, Falda Toscana Metamorfica.

Area VT-22 e Area RM_VT-21

Le aree VT-22 e RM_VT-21 (Figura 13) sono localizzate nella valle del medio Tevere nel Lazio, a cavallo tra le provincie di Roma e Viterbo. Le litologie sulle quali queste aree insistono sono rappresentate dalle rocce magmatiche appartenenti al distretto sabatino, travertini, rocce carbonatiche appartenenti alla successione umbra e depositi del complesso del neoautoctono. Le rocce carbonatiche affiorano in corrispondenza del Monte Soratte e di Sant'Oreste, in un alto strutturale del serbatoio geotermico regionale, i quali costituiscono una dorsale che dal Monte Soratte prosegue lungo i Monti Cornicolani con direzione NW-SE, e delimita il complesso vulcanico dei Monti Sabatini verso est (Figura 14). Lungo lo stesso allineamento NW-SE rappresentato dall'affioramento del Monte Soratte sono presenti dei depositi di travertino, i quali indicano che in passato la zona è stata interessata da una circolazione idrotermale o da fenomeni di carsismo. Immediatamente ad est delle aree di interesse si trova l'attuale alveo del Fiume Tevere. La dorsale Monte Soratte - Monti Cornicolari si eleva all'interno del graben del Tevere - Paglia, costituendo un horst isolato: la strutturazione a horst e graben deriva dall'estensione plio-pleistocenica che ha interessato tutta la zona. All'interno del graben del Tevere si sono sedimentati i depositi del neogene e parzialmente al di sopra di questi i depositi vulcanici dei Monti Sabini (Figura 15). La dorsale di Monte Soratte rappresentava nel Pliocene un'isola emersa. La prima attività vulcanica del complesso sabatino si imposta nella zona più est proprio in prossimità del Monte Soratte, ma di questo antico centro eruttivo non rimane oggi nulla. In prossimità del Monte Soratte le vulcaniti poggiano direttamente al di sopra delle rocce carbonatiche.

Le aree VT-22 e RM_VT-21 si trovano in una zona in cui si hanno valori di heat flow (40-50 mW/m²) e di gradiente geotermico (inferiore ai 50 °C/km) molto bassi rispetto alla fascia tirrenica della Regione Lazio. Questa situazione è dovuta alla lontananza dai centri eruttivi laziali e alla vicinanza con gli affioramenti di rocce carbonatiche che costituiscono il serbatoio geotermico regionale. Il Monte Soratte rappresenta infatti un'area sollevata e di ricarica del serbatoio geotermico. Una lieve termalità nella zona è testimoniata dalla presenza di depositi di travertino fossili, dalla presenza di una sorgente ad est con una temperatura di 20°C e dalla presenza di alcuni pozzi all'interno dei quali sono state registrate temperature comprese tra i 15 e i 20°C (o superiori) ma che non sono caratterizzati da acque con bassa conducibilità elettrica (scarsa salinità, circuiti idrogeologici brevi). Il serbatoio geotermico affiora in corrispondenza del Monte Soratte per poi sprofondare verso profondità notevoli all'interno del graben del Paglia-Tevere. Nelle aree in questione il serbatoio geotermico regionale è sub-affiorante o si trova a profondità massime di 600

metri. La temperatura all'interno del serbatoio geotermico è in questa zona inferiore ai 50°C, la quale è fortemente influenzata dall'infiltrazione di acqua fredda meteorica.

Sulla base delle precedenti considerazioni si può affermare che le due aree non ricadono in una zona in cui possa svilupparsi un interesse per la produzione di energia elettrica, a causa della presenza in affioramento o a bassa profondità del serbatoio geotermico, e a causa della mancanza di un'anomalia geotermica positiva spiccata. Possono essere presenti acque a debole termalità con temperature di circa 20°C.

Le aree VT-22 e RM_VT-21 non sono sede di risorse geotermiche.

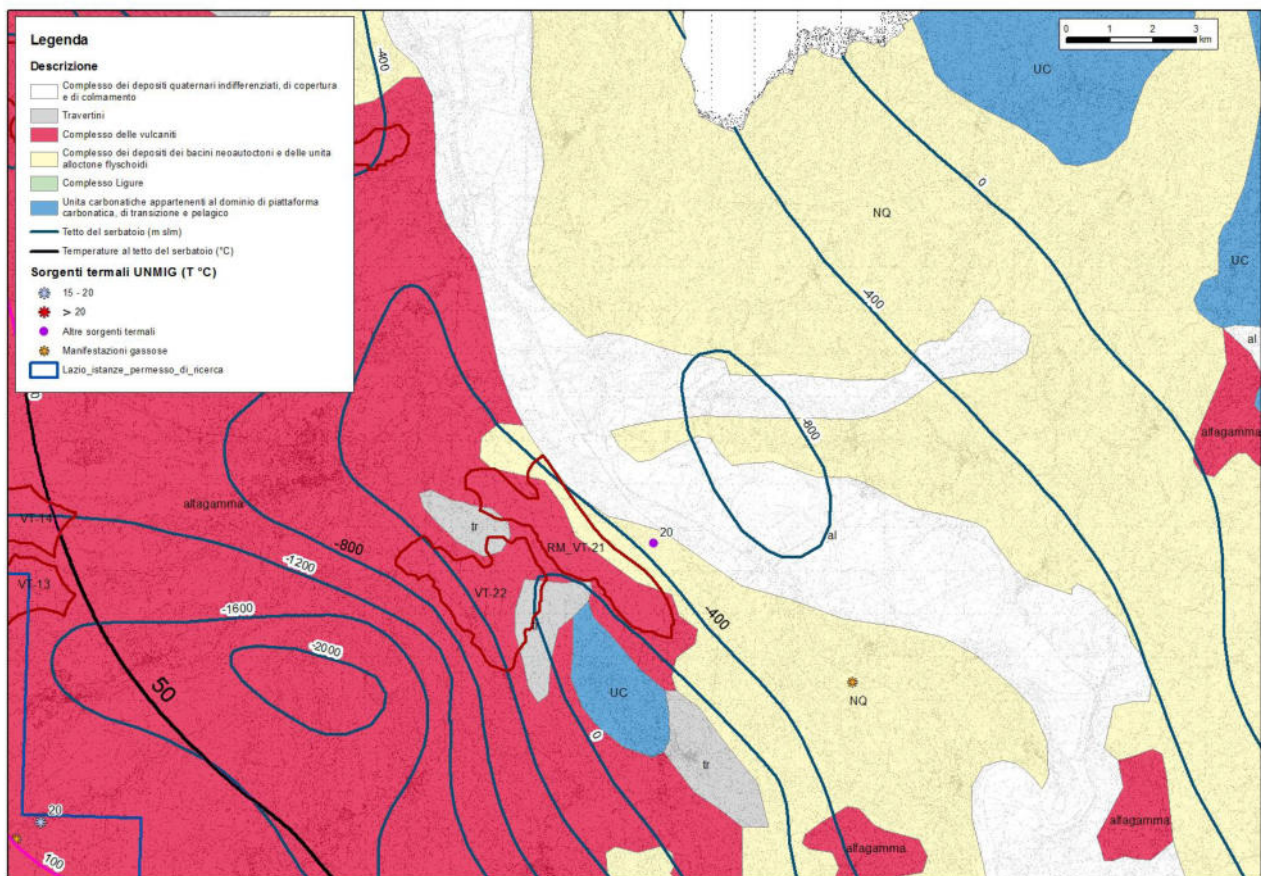


Figura 13 - Area VT-22 e Area RM_VT-21 e principali dati geotermici.

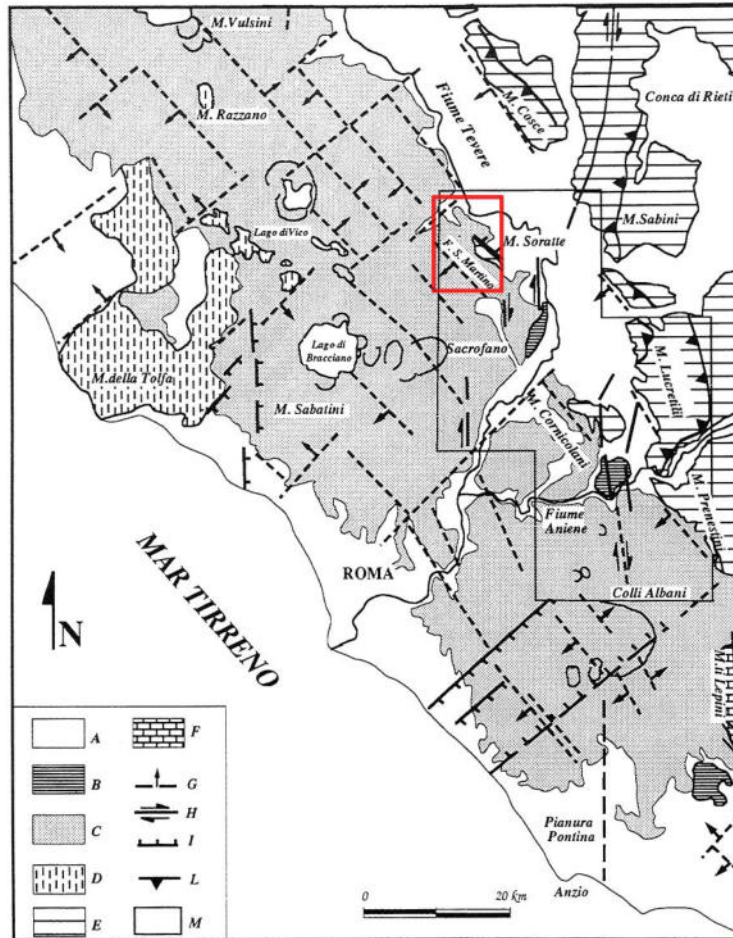


Figura 14 - Carta geologica schematica delle aree in esame (da Faccenna e Funicello, 1993). A, sedimenti neogenici; B, travertino; C, rocce magmatiche; D, Flysch della Tolfa; E e F, successioni carbonatiche; G, principali faglie sepolte; H, faglie trascorrenti; I, faglie normali; L, sovrascorrimenti.

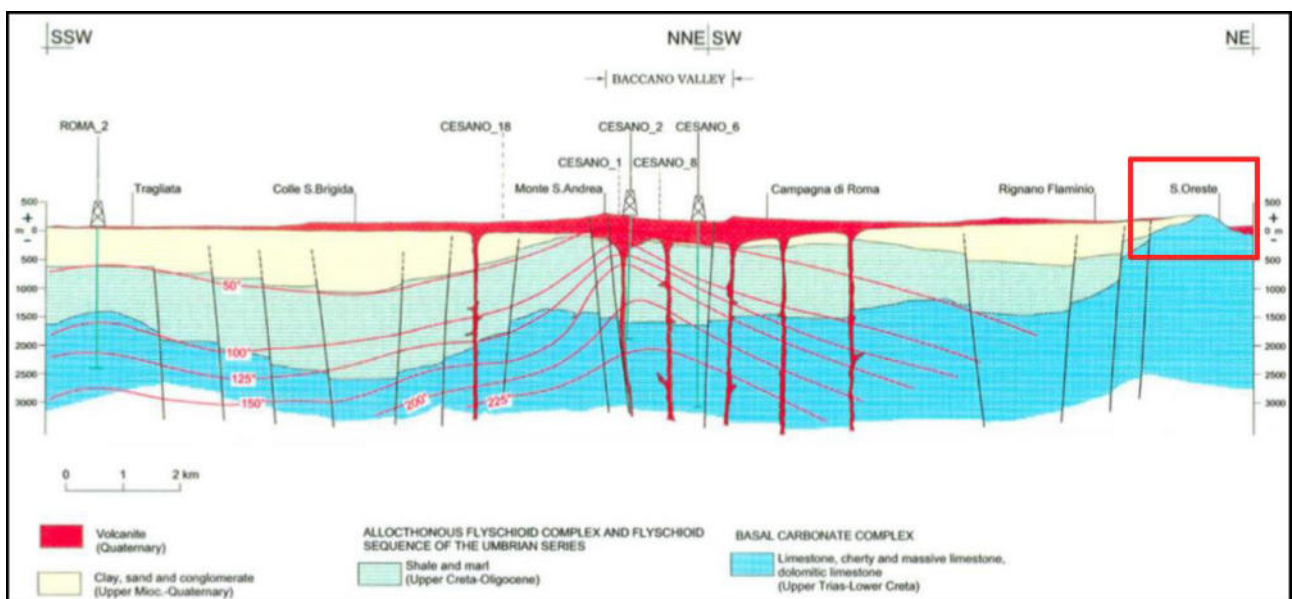


Figura 15 - Sezione geologica schematica dal Monte Soratte (emergenza del serbatoio geotermico e zona di ricarica) alla caldera di Baccano (da Baldi et., 1982).

Area VT-14 e Area VT-13

Le aree VT-14 e VT-13 sono localizzate tra i 7 e gli 11 km di distanza in direzione SSE rispetto al lago di Vico (provincia di Viterbo), nella Regione Lazio. Le aree sono localizzate interamente all'interno dei prodotti magmatici appartenenti al complesso vicano, e sono rappresentati da tufi litoidi; circa 3 km a SSW affiora la successione ligure rappresentata dal Flysch della Tolfa. Le aree ricadono all'interno della struttura ribassata rappresentata dal graben del Tevere. Questa struttura è limitata verso SW dagli affioramenti presso Sutri di Unità Liguri, le quali fanno parte di una più importante struttura rialzata, non sempre affiorante, con direzione circa N-S i cui affioramenti si rinvengono in corrispondenza di Monte Razzano (ad ovest del Lago di Vico), Vetralla, Capranica e Sutri (Figura 17). Nella zona è inoltre riconosciuta un'importante struttura trasversale con andamento NE-SW che disloca la strutturazione ad horst e graben qui presente, e prosegue in direzione NE fino a separare l'alto strutturale di Orte dall'alto strutturale di Monte Soratte. Al di sotto delle vulcaniti sono presenti i sedimenti neogenici e le unità liguri, che costituiscono la copertura impermeabile del sottostante serbatoio geotermico regionale (Figura 18).

L'andamento del tetto del serbatoio riflette la strutturazione ad horst e graben descritta in precedenza, la quale deriva dall'estensione plio-pleistocenica che ha interessato la regione. Il tetto del serbatoio infatti mostra un basso strutturale in corrispondenza del graben del Tevere e tende a risalire verso l'alto strutturale di Sutri. Le aree in esame si trovano in una sella, molto probabilmente in corrispondenza di una struttura trasversale con andamento NE-SW. Il serbatoio geotermico regionale in corrispondenza delle aree VT-14 e VT-13 si trova tra i - 1200 e i -1600 metri (s.l.m.). Le aree sono interessate da un'anomalia geotermica positiva con valori di flusso di calore fino a 150 mW/m² e di 100 mW/m², nella parte più occidentale dell'area VT-14, ovvero quella posta più vicina al Lago di Vico, nei dintorni del quale si concentra l'anomalia geotermica. Verso est il flusso di calore diminuisce (in corrispondenza dell'area VT-13) con valori compresi tra i 75 e i 50 mW/m². Nelle immediate vicinanze dell'area VT-14 è presente un pozzetto di gradiente geotermico, nel quale è stato misurato un gradiente geotermico di 85°C/km. Anche il gradiente geotermico diminuisce nelle due aree da ovest a est, portandosi sui 50°C/km. L'area più a est risente quindi maggiormente dell'influenza delle infiltrazioni di acque meteoriche fredde dai rilievi di Narni, Amelia e Monte Soratte. Le temperature attese nel serbatoio geotermico variano dai 50°C (a est) a 150°C (a ovest). Le manifestazioni termali presenti a 4-5 km di distanza a sud rispetto alle aree di interesse, mostrano una debole termalità e una composizione chimica che non è riferibile ad una circolazione all'interno del serbatoio geotermico regionale, ma piuttosto ad una circolazione

superficiale all'interno delle vulcaniti e delle formazioni del substrato sedimentario, se localmente permeabili.

Sulla base delle precedenti considerazioni si può affermare che l'area VT-14 nella sua porzione più occidentale mostra sicuramente un interesse industriale per lo sfruttamento dei fluidi geotermici eventualmente presenti nel serbatoio geotermico regionale, trovandosi questo a profondità economicamente accessibili e a temperature consone ad uno sfruttamento per la produzione di energia elettrica. La parte più orientale dell'area VT-14 e l'area VT-13 sembrano invece mostrare un generale raffreddamento, evidenziato dai dati di flusso di calore e di gradiente geotermico, mantenendo comunque una temperatura stimata nel serbatoio geotermico attorno ai 100°C. L'interesse industriale per questa zona è evidenziato dalla presenza di permessi di ricerca e di istanze di permesso di ricerca per risorse geotermiche che ricoprono la quasi totalità delle due aree in esame. La presenza di un elevato flusso di calore e di manifestazioni termali nelle vicinanze fanno supporre che in presenza di condizioni favorevoli all'interno delle vulcaniti possano svilupparsi dei locali acquiferi termali con temperature attorno ai 20-25°C.

Le due aree sono sede di risorse geotermiche presunte di bassa e media temperatura.

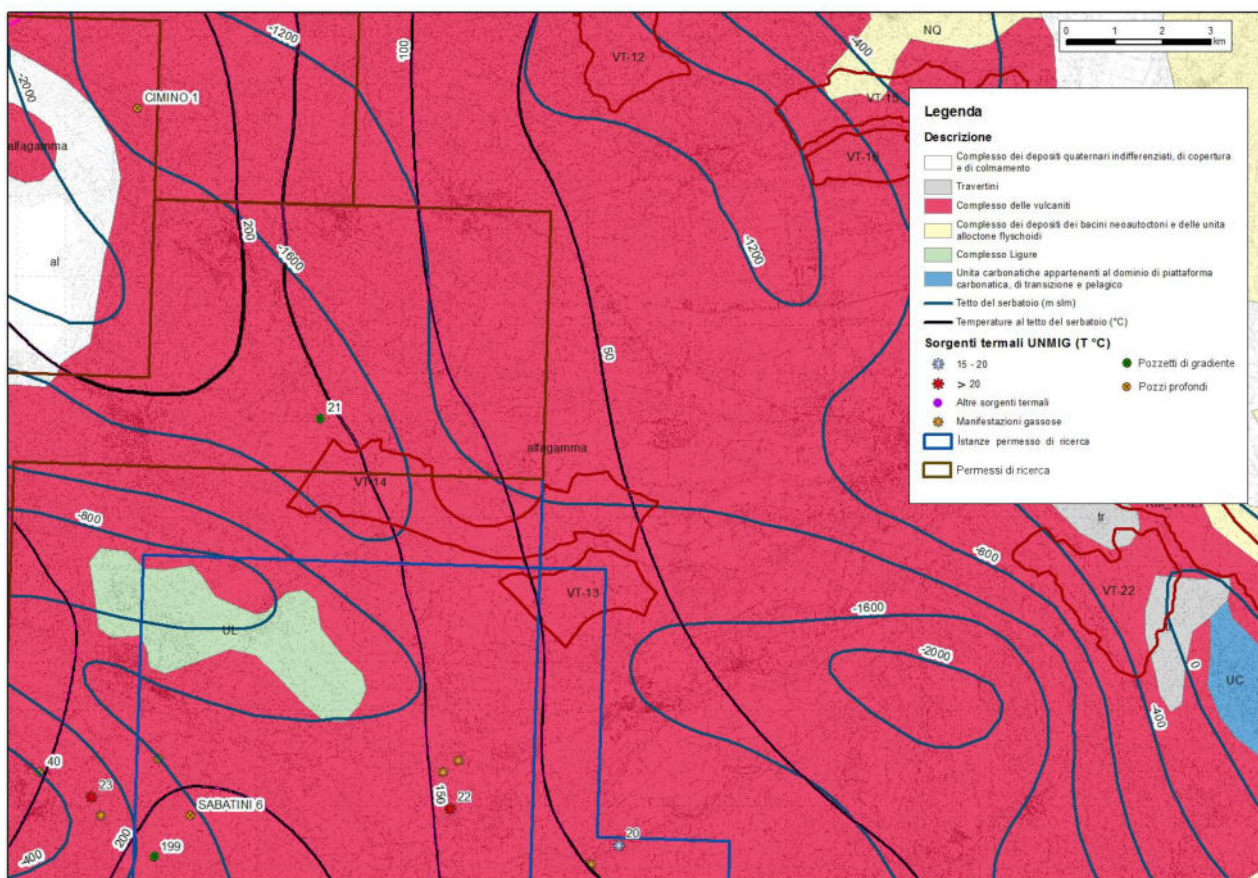


Figura 16 - Area VT-14 e Area VT-13 e principali dati geotermici.

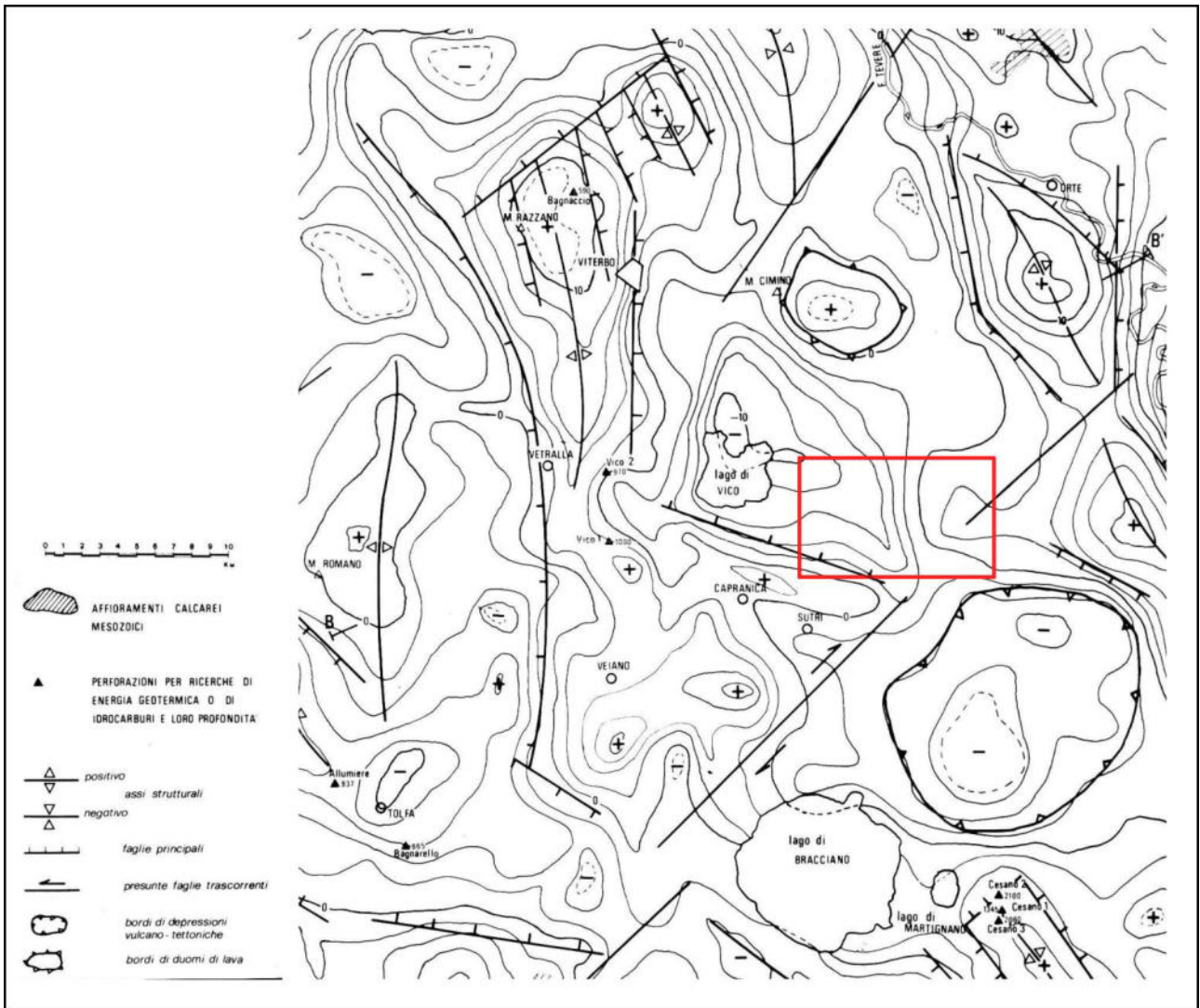


Figura 17 - Carta delle anomalie residue di gravità, isolinee in mgal, e delle principali strutture profonde (da Toro B., 1978).

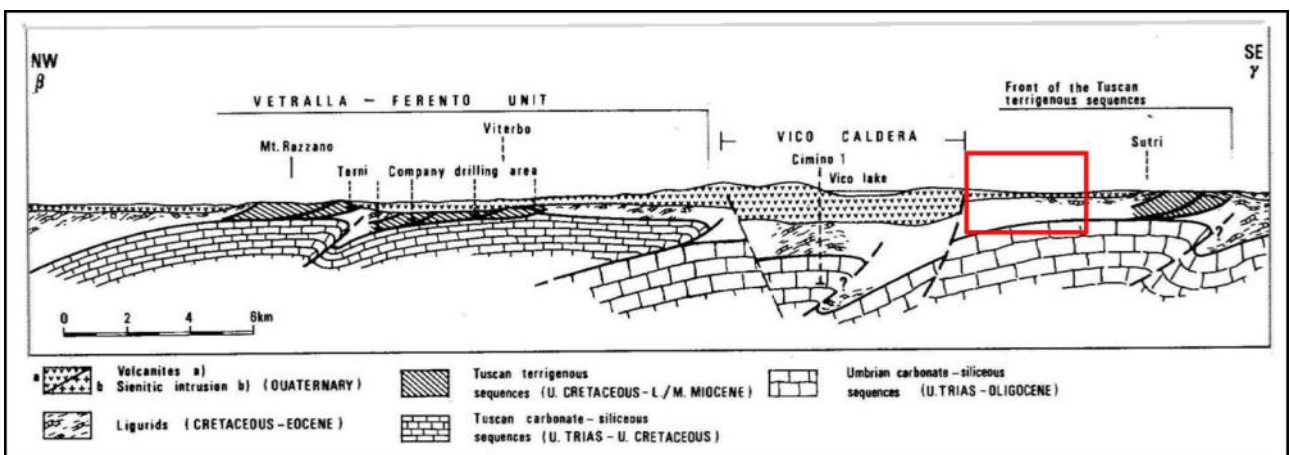


Figura 18 - Sezione geologica rappresentativa della caldera di Vico e degli alti strutturali di Vetralla e di Sutri (da Buonasorte et al., 1987).

Area VT-12, Area VT-15, Area VT-16, Area VT-17, Area VT-20, Area VT-10, Area VT-19, Area VT-11

Le aree VT-12, VT-15, VT-16, VT-17, VT-20, VT-10, VT-19, VT-11 (Figura 19) sono localizzate nel Lazio, nelle tra il Monte Cimino e Orte in provincia di Viterbo. Le formazioni che affiorano sono rappresentate dalle vulcaniti appartenenti al complesso Cimino-Vico, i sedimenti del neogene e i travertini. Le aree sono localizzate all'interno del graben del fiume Tevere, importante struttura estensionale formatasi nel plio-pleistocene per azione di faglie dirette con direzione NW-SE. Al di sotto delle vulcaniti sono presenti i sedimenti neogenici e le unità liguri, che costituiscono la copertura impermeabile del sottostante serbatoio geotermico regionale (Figura 20). Il graben è delimitato ad est dalla dorsale Narni - Amelia e dall'alto strutturale di Orte, che rappresenta la prosecuzione in direzione NW dell'alto strutturale di Monte Soratte: l'alto strutturale di Orte si trova all'interno del graben, suddividendo di fatto il paleo alveo del Tevere, ad ovest, dall'attuale alveo del Tevere, ad est (Figura 21). Il vulcano di Vico è uno stratovulcano che si trova al centro dell'omonima caldera, in corrispondenza di un'importante sistema di faglie trasversali orientate NE-SW che da Vico arrivano fino ai monti di Amelia passando per Orte. L'area, oltre all'uplift regionale che ha interessato la catena nel Pliocene, è stata inoltre interessata da un locale uplift dovuto alla presenza di un'intrusione al di sotto del Monte Cimino (ben evidenziata dall'anomalia gravimetrica positiva). I travertini si rinvencono sia in affioramento che intercalati alle vulcaniti e ai sedimenti neogenici; la formazione dei travertini e la presenza delle manifestazioni termali (sorgenti e emissioni gassose) presenti tra gli 8 e i 13 km di distanza in direzione nord rispetto alle aree in esame è legata alla presenza della struttura Vico-Orte, lungo la quale fluidi e gas a debole termalità (21 - 31°C) risalgono dal serbatoio geotermico regionale localizzato qui a breve profondità in un alto strutturale, all'interno del quale si sviluppa un circuito idrotermale convettivo a bassa temperatura.

L'area all'interno della quale ricadono le otto aree in esame è stata in passata oggetto di esplorazione geotermica, in quanto in questa zona ricadeva il permesso di ricerca per risorse geotermiche denominato "Monti Cimini" (Agip Spa). L'area è stata quindi oggetto di prospezioni geofisiche di dettaglio ed è stato inoltre perforato il pozzo profondo "Cimino1" a circa 9 km di direzione SW delle aree, vicino il lago di Vico. Il tetto del serbatoio geotermico carbonatico mostra un alto strutturale nelle vicinanze dell'abitato di Orte, venendosi a trovare a quote inferiori di -400 metri (s.l.m.) in corrispondenza dell'area VT-17. Il serbatoio geotermico si porta di nuovo verso profondità notevoli ad ovest di questa struttura raggiungendo una profondità di circa - 1200 metri (s.l.m.) all'interno del graben del Tevere, per poi sprofondare via via verso profondità maggiori

avvicinandosi alla caldera di Vico. Tranne l'area VT-17 e parte dell'area VT-15, le aree in esame si vengono così a trovare a profondità comprese tra i - 400 e i - 1200 metri (s.l.m.). Le aree VT-12, VT-15, VT-16, VT-17, VT-20 sono interessate da un basso flusso di calore, 50 mW/m^2 e anche inferiore, mentre le aree VT-10, VT-19, VT-11 sono interessate da un flusso di calore lievemente maggiore tra i 50 e i 100 mW/m^2 . Tutte le aree sono interessate da un basso gradiente geotermico, 50°C/km . Le temperature attese nel serbatoio geotermico sono inferiori ai 50°C per quanto riguarda le aree più vicine all'alto strutturale di Orte, mentre sono comprese tra i 50 e i 100°C per le aree situate più a ovest. Ad est delle aree in esame come già detto sono presenti delle sorgenti ternali e delle manifestazioni gassose, legate al sistema di fratture Vico-Orte.

Sulla base delle precedenti considerazioni in corrispondenza delle aree VT-12, VT-15, VT-16, VT-17, VT-20, VT-10, VT-19, VT-11 le temperature stimate all'interno del serbatoio geotermico regionale non sono interessanti per lo sfruttamento industriale e la produzione di energia elettrica. Tuttavia nelle zone in cui il serbatoio geotermico si trova a bassa profondità i fluidi potrebbero essere interessanti per gli usi diretti. La zona attorno al Monte Cimino e al lago di Vico è interessata da numerose richieste di permesso di ricerca per risorse geotermiche, essendo queste interessate da una forte anomalia geotermica positiva la quale è incentrata sulla caldera di Vico. L'area VT-10 ricade all'interno del permesso di ricerca "Canepina" della società Power Field.

Le aree in oggetto ricadono in zone dove sono attese risorse geotermiche presunte di bassa temperatura legate alla presenza di acquiferi di carattere regionale di tipo ipotermale.

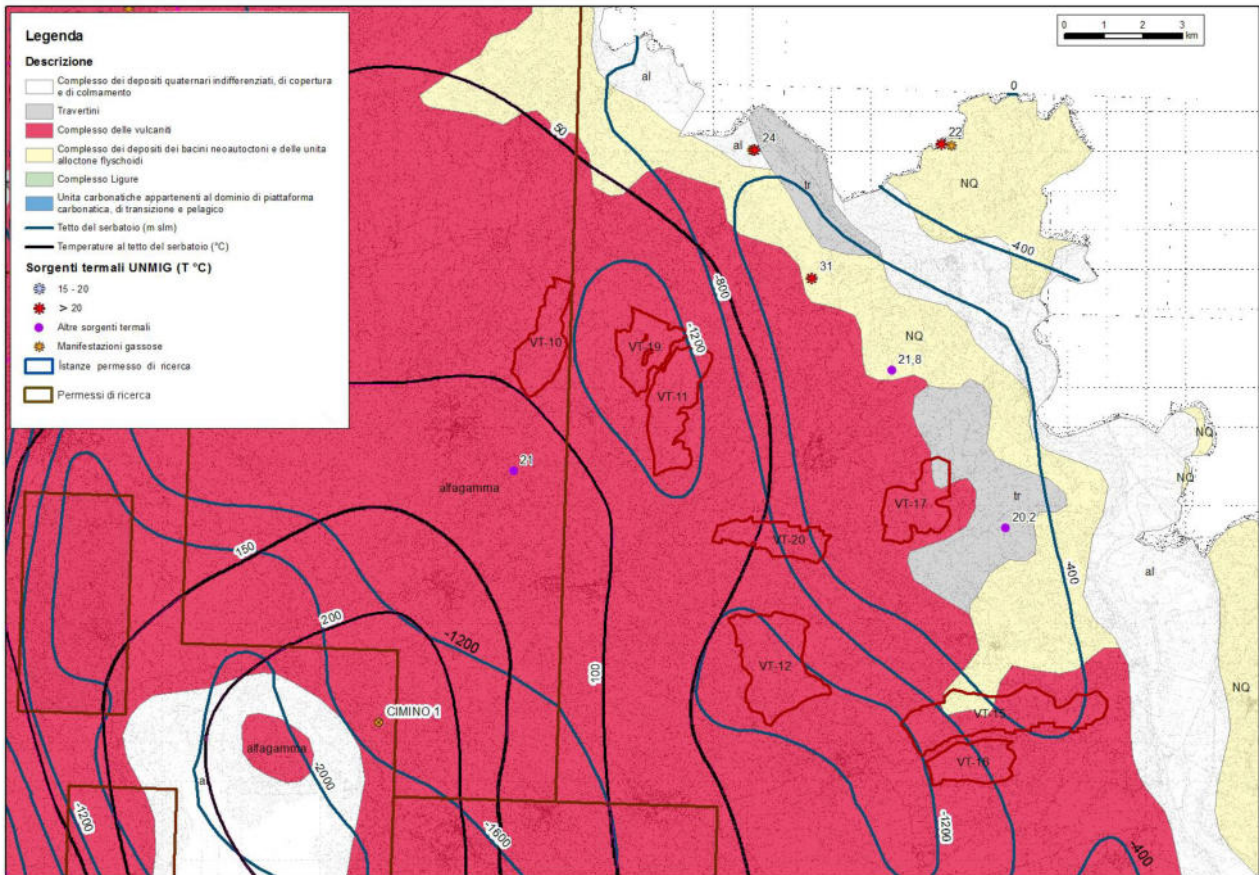


Figura 19 - Area VT-12, Area VT-15, Area VT-16, Area VT-17, Area VT-20, Area VT-10, Area VT-19, Area VT-11 e principali dati geotermici.

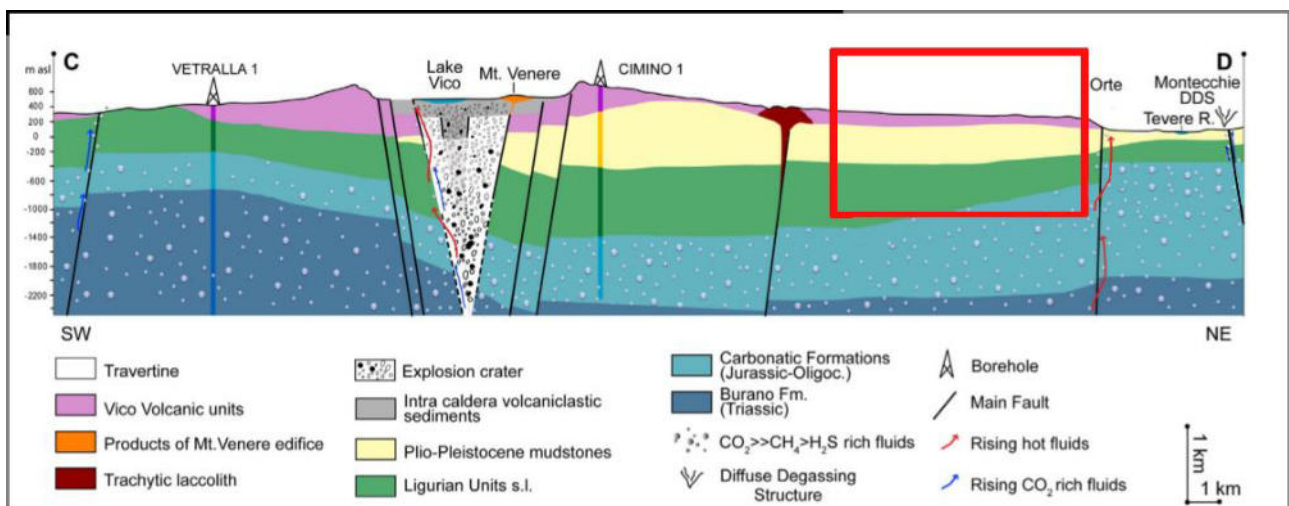


Figura 20 - Sezione idrogeologica schematica della zona Cimino-Orte (da Cinti et al., 2014).

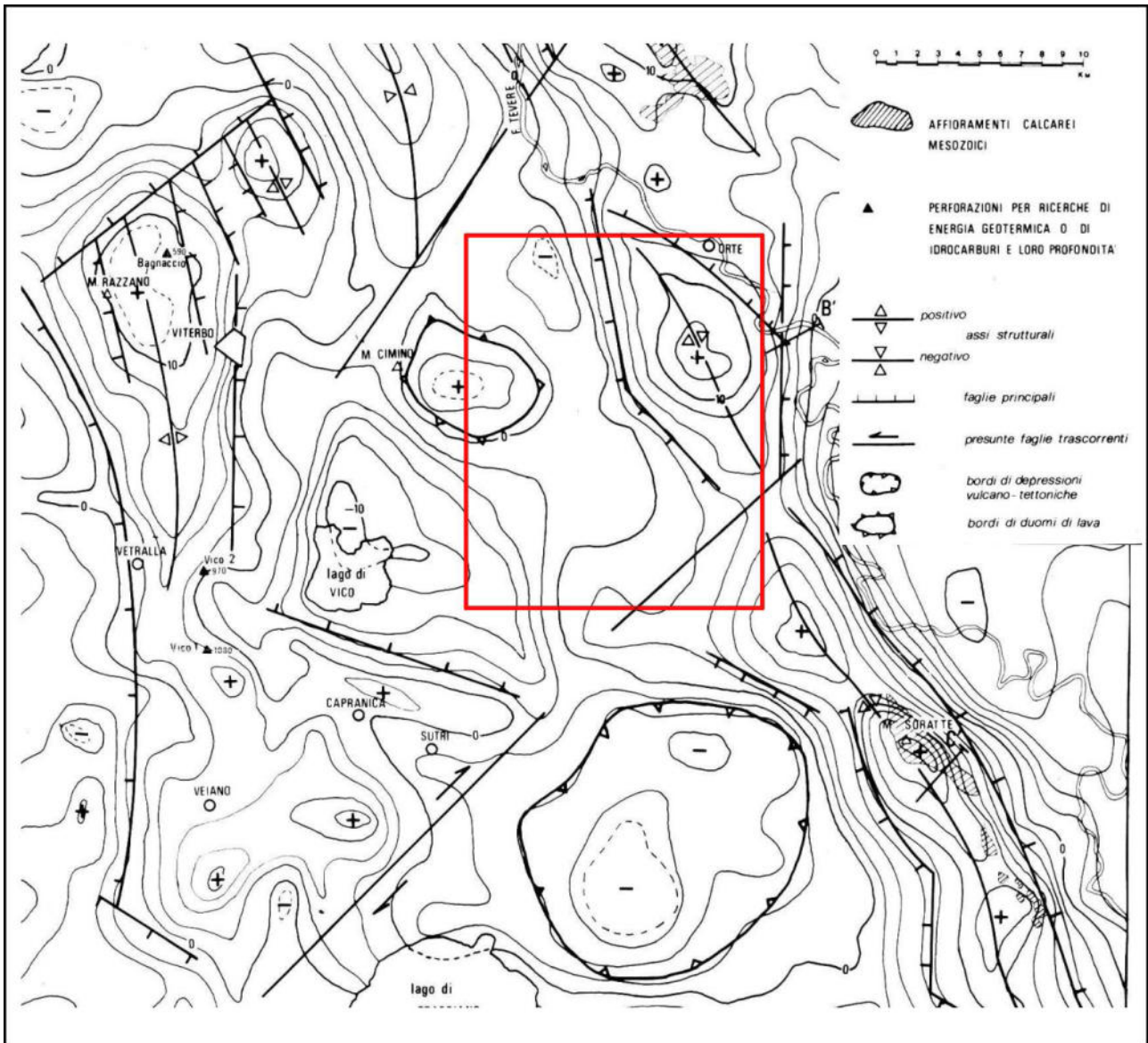


Figura 21 - Carta della anomalie residue di gravità, isolinee in mgal, e delle principali strutture profonde (da Toro B., 1978).

Area VT-1, Area VT-2, Area VT-3, Area VT-4, Area VT-5, Area VT-6, Area VT-18

Le aree VT-1, VT-2, VT-3, VT-4, VT-5, VT-6, VT-18 sono localizzate nel Lazio, ad ovest del Lago di Vico, tra Veiano a sud e le terme di Viterbo a nord. Nonostante la distanza lineare tra l'area più a nord (VT-6) e l'area più a sud (VT-1) sia di circa 20 km, queste verranno trattate assieme in quanto appartenenti allo stesso circuito idrotermale. Le formazioni che affiorano in corrispondenza delle aree o nelle immediate vicinanze sono le vulcaniti appartenenti al complesso vicano, il Flysch della Tolfa, le formazioni neogeniche e i travertini (Figura 22). Le aree in esame sono localizzate in corrispondenza dell'alto strutturale Monte Razzano-Vetralla-Veiano, ben evidenziata dalla carta delle anomalie di gravità, e in parte sul basso strutturale tra questa dorsale e il Monte Romano (Figura 24). L'andamento di questa struttura positiva è nord-sud in accordo con la strutturazione ad horst e graben che ha interessato il margine tirrenico nel plio-pleistocene. Una serie di faglie dirette e di faglie trasversali (NE-SW) delimita questa struttura separandola dal graben del Tevere ad est, dalla caldera di Bracciano a SE e dai minimi gravimetrici della Tolfa e dei Ceriti a sud (legati alla probabile presenza in sottosuolo di rocce acide leggere, ipotesi confermata dall'uplift che i sedimenti neogenici hanno subito in questa zona) in aggiunta alle strutture già citate. In corrispondenza di Monte Razzano, del Monte Romano e nei dintorni di Veiano si hanno in affioramento le rocce appartenenti al Flysch tolfetano. In corrispondenza dell'alto strutturale Monte Razzano-Vetralla-Veiano al di sotto delle vulcaniti non sono presenti i depositi neogenici, essendo probabilmente stata un'isola emersa durante l'ingressione marina pliocenica, mentre si rinvengono il Flysch della Tolfa e la successione toscana. Al di fuori della dorsale in corrispondenza di un piccolo graben sono invece presenti i sedimenti del ciclo neogenico.

In prossimità delle aree esaminate sono presenti numerose sorgenti termali (fino a 64°C all'emergenza), manifestazioni gassose, travertini (con deposizione attuale dalle acque termali) e pozzi profondi. Il serbatoio geotermico regionale, rappresentato in questa zona dalle formazioni appartenenti alla successione toscana, si trova a bassa profondità (Figura 22) nell'alto strutturale Monte Razzano-Vetralla-Veiano. Il serbatoio geotermico è stato infatti incontrato in sondaggio da numerosi pozzi perforati in quest'area. I pozzi perforati nella zona ad ovest di Viterbo, sono stati perforati dalla società Terni, mentre i pozzi perforati ad ovest del Lago di Vico e a nord del Lago di Bracciano sono della società ENEL e della joint-venture ENEL-AGIP. In particolare a circa 7 km in direzione SE rispetto all'abitato di Vetralla, fu perforato il pozzo "Vetralla1", profondo 2900 metri, allo scopo di verificare la presenza di un secondo serbatoio geotermico profondo, il quale nelle ipotesi avanzate dalle società prima della perforazione, doveva trovarsi o in corrispondenza di un raddoppio della successione toscana e della successione ligure o all'interno del basamento

metamorfico sottostante: entrambe le ipotesi vennero smentite dalla perforazione del pozzo stesso, il quale è rimasto per 1800 metri all'interno delle formazioni carbonatico-evaporitiche della Falda Toscana (Figura 23). Tutti i pozzi perforati nell'area che hanno raggiunto il serbatoio geotermico regionale hanno rinvenuto un serbatoio geotermico con una temperatura, più o meno costante, di 70°C. Il pozzo "Vetralla1" a fondo foro ha registrato un innalzamento di temperatura minimo, arrivando a 110°C. A sud, il pozzo "Sabatini7" ha registrato una temperatura massima di 60°C. La dorsale Monte Razzano-Vetralla-Veiano rappresenta quindi un serbatoio geotermico a bassa temperatura (circa 70°C) molto sviluppato, il quale a causa dei moti convettivi che si sviluppano al suo interno, causano un'anomalia geotermica positiva molto sviluppata nella zona: infatti si registrano lungo la dorsale valori di flusso di calore fino a 200-250 mW/m² legati proprio all'enorme sistema convettivo a bassa profondità qui presente. Il gradiente geotermico è in media di 50°C/km, mentre i valori di 150°C/km misurati nei pozzetti di gradiente geotermico presenti nella zona, non trovano riscontro all'interno del serbatoio geotermico a causa del sistema convettivo qui presente. I valori di flusso di calore compresi tra i 100 e i 250 mW/m² che interessano le aree VT-18, VT-1, VT-5 e VT-6 non sono quindi indicativi di un serbatoio geotermico ad alta entalpia. Il serbatoio geotermico si trova a profondità molto basse (tra - 400 e 0 metri s.l.m.) in corrispondenza delle aree VT-6 e VT-1, mentre si trova a profondità comprese tra - 800 e - 400 metri s.l.m. nelle altre zone. Nelle immediate vicinanze dell'area VT-1 si trovano delle manifestazioni gassose, stessa cosa dicasi per l'area VT-6 posta immediatamente ad ovest dei travertini e delle sorgenti termali della zona di Bagnaccio. La risalita di fluidi profondi (acque termali e gas) è legata alla presenza di alti strutturali del serbatoio geotermico regionale e a faglie normali con direzione NW-SE e faglie trasversali con direzione NE-SW che interessano il substrato. Le acque termali che sgorgano in questa zona hanno una composizione chimica che indica la loro origine proprio nel serbatoio geotermico regionale. Per quanto riguarda l'origine delle acque termali secondo alcuni autori (Chiocchini et al., 2010, Figura 25) la ricarica del serbatoio geotermico arriverebbe dai Monti di Amelia dove affiorano le rocce carbonatiche, mentre secondo altri autori (Piscopo et al., 2006, Figura 26) la ricarica del serbatoio avverrebbe attraverso le vulcaniti qui affioranti.

Sulla base delle considerazioni precedenti, le aree VT-1, VT-2, VT-3, VT-4, VT-5, VT-6, VT-18 sono localizzate in corrispondenza di un sistema geotermico molto superficiale (dai 400 ai 900 metri di profondità) a bassa temperatura (70°C). La risorsa presente non è sfruttabile per la produzione di energia elettrica ma potrebbe essere interessante per usi diretti trovandosi a bassa profondità e a temperature superiori ai 50°C. Una parte dell'area VT-1 ricade nel margine inferiore del permesso di ricerca "Lago di Vico" della società "Geothermics Italy".

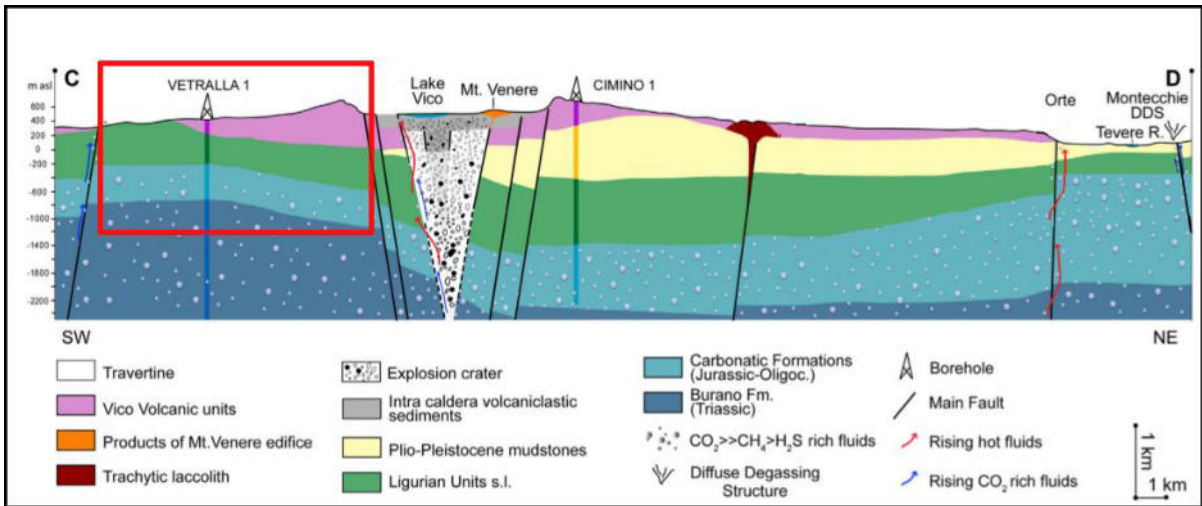


Figura 23 - Sezione idrogeologica schematica della zona Monte Razzano-Vetralla-Veiano (da Cinti et al., 2014).

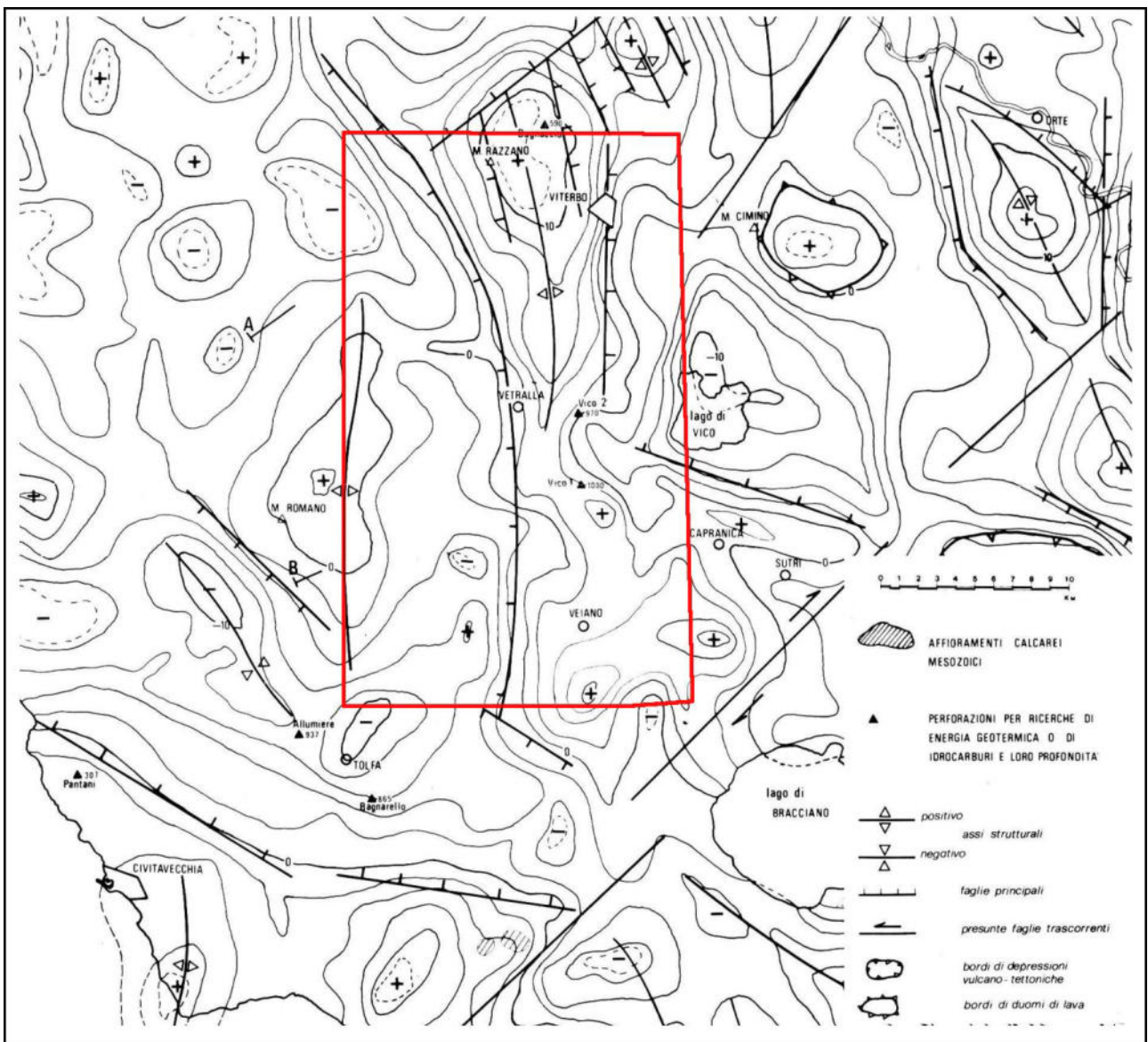


Figura 24 - Carta delle anomalie residue di gravità, isolinee in mgal, e delle principali strutture profonde (da Toro B., 1978).

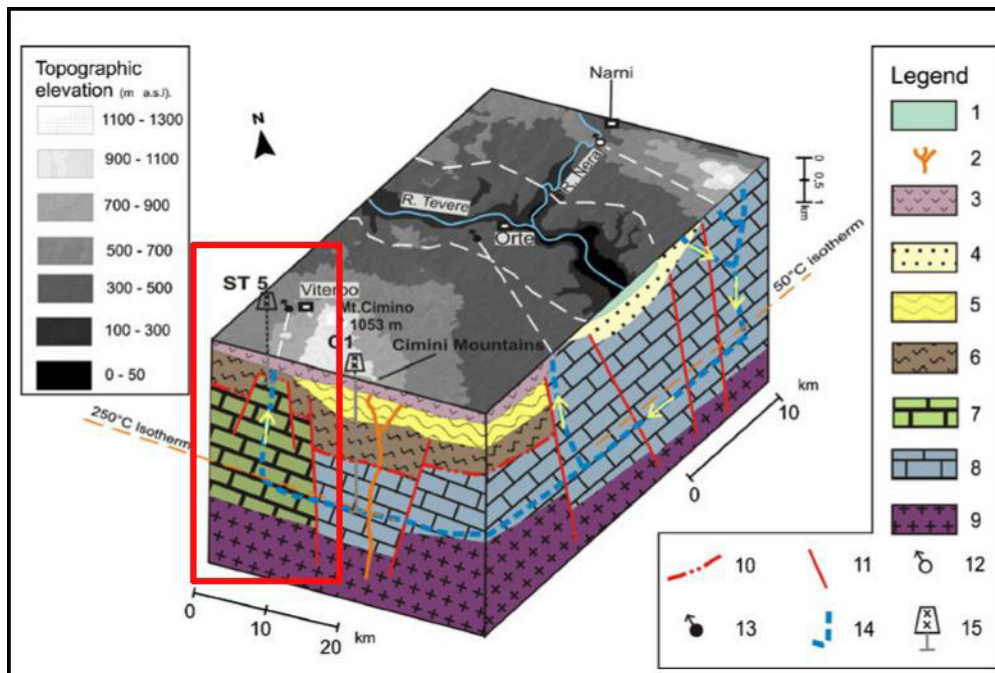


Figura 25 - Schema idrogeologico secondo l'interpretazione di Chiocchini et al., 2010. 1, depositi alluvionali; 2, camini vulcanici; 3, vulcaniti; 4-5, sedimenti neogenici; 6, Flysch tolfetano; 7, serie carbonatica toscana; 8, serie carbonatica umbro-marchigiana; 9, basamento filladico; 10, thrust, 11, faglia diretta; 12, sorgente; 13, sorgente termale; 14, circolazione idrica sotterranea; 15, pozzo.

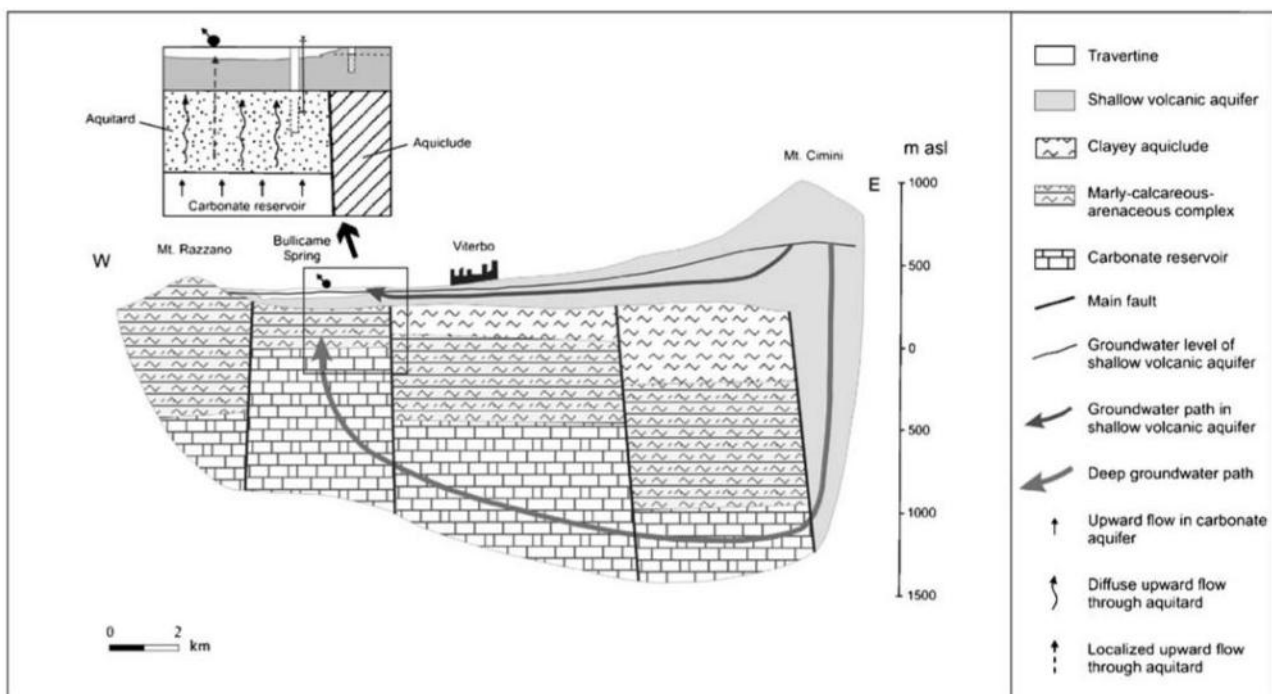


Figura 26 - Schema idrogeologico secondo l'interpretazione di Piscopo et al., 2006.

Aree VT-7, VT-8, VT-9, VT-23, VT-24, VT-25, VT-26, VT-27, VT-28, VT-29, VT-30, VT-31, VT-32, VT-33, VT-34, VT-36

Le aree VT-7, VT-8, VT-9, VT-23, VT-24, VT-25, VT-26, VT-27, VT-28, VT-29, VT-30, VT-31, VT-32, VT-33, VT-34, VT-36 sono localizzate nel Lazio settentrionale, tra Canino, Montalto di Castro e Tuscania (Figura 27). Le formazioni che affiorano nella zona sono rappresentate dai prodotti vulcanici del complesso vulsino, i sedimenti del ciclo neogenico, i travertini deposti dalle sorgenti termali, le formazioni carbonatiche appartenenti alla Falda Toscana che affiorano in corrispondenza del Monte Canino, il Flysch tolfetano. L'area si colloca all'interno del graben di Tarquinia che si estende lungo la costa tirrenica, delimitato a nord dalla dorsale di Capalbio, a sud dai Monti della Tolfa, ad est dalla dorsale Monte Razzano-Vetralla. Il graben di Tarquinia fa parte dei bacini estensionali di età plio-pleistocenica che si rinvergono nel Lazio settentrionale. L'anomalia gravimetrica negativa che interessa il bacino di Tarquinia risulta molto frastagliata (Figura 28): emergono infatti i massimi gravimetrici del Monte Canino e di Monte Romano, legati ad alti strutturali del serbatoio geotermico regionale. I massimi gravimetrici lungo il margine tirrenico da Montalto di Castro a Civitavecchia non sono invece correlabili ad un alto strutturale del serbatoio geotermico regionale quanto piuttosto ad un alto del basamento profondo (mantello litosferico). Le aree VT-9, VT-34, VT-29, VT-7 si trovano in prossimità dell'affioramento di rocce carbonatiche appartenenti alla successione toscana e ad un vasto affioramento di travertino. Quest'ultimo si è deposto dalle acque termali che sgorgano e sgorgavano in passato nei pressi del Monte Cimino: in Figura 29 è riportato un possibile schema di circolazione idrica sotterranea, che prevede infiltrazione di acque meteoriche dai rilievi carbonatici, circolazione profonda all'interno del serbatoio dove si riscaldano e risalita delle acque divenute termali da sistemi di fratture regionali. Le sorgenti termali che si rinvergono ai piedi del Monte Canino hanno temperature fino a 47°C, le quali indicano una circolazione idrotermale molto profonda. La composizione delle acque è di tipo solfato calcica, ovvero sono acque che circolano nelle formazioni appartenenti al serbatoio geotermico regionale.

L'andamento del tetto del serbatoio geotermico regionale rispecchia l'andamento ad alti e bassi gravimetrici di cui si è appena discusso. Il tetto del serbatoio geotermico affiora in corrispondenza del Monte Canino, il quale parrebbe rappresentare la prosecuzione in direzione SW dell'alto strutturale in corrispondenza del campo geotermico di Latera (in direzione NE rispetto a Canino). Il serbatoio geotermico viene poi a trovarsi a profondità maggiori all'interno del graben di Tarquinia: per quanto riguarda le aree che si trovano ad est e a sud di Canino, il serbatoio geotermico è infatti ubicato tra i - 800 e i - 1200 metri s.l.m., mentre in corrispondenza delle aree

VT-8 e VT-36 il serbatoio geotermico è più superficiale, trovandosi in una posizione più prossima agli affioramenti di Falda Toscana presenti lungo la dorsale Capalbio-Manciano. In prossimità dell'area VT-9 è presente il pozzo profondo "Ischia di Castro1", il quale ha incontrato in sondaggio il serbatoio geotermico: il fluido presente nel serbatoio geotermico ha una temperatura massima misurata di 70°C. Possiamo quindi paragonare il sistema idrotermale di Canino al sistema idrotermale di Monte Razzano-Vetralla, ovvero un sistema idrotermale convettivo con una temperatura massima di 70°C. Le aree che si trovano in prossimità di Monte Canino e della dorsale Capalbio-Manciano presentano temperature all'interno del serbatoio tra i 50 e i 100°C, la cui temperatura è provata dal pozzo "Ischia di Castro 1" e la quale è fortemente influenzata dalla vicinanza con le aree di ricarica. Le aree poste nella zona più a sud-est sono racchiuse all'interno dell'isoterma dei 100°C. Gli elevati valori di flusso di calore nelle vicinanze di Canino sono legati al sistema idrotermale convettivo a bassa temperatura qui presente (fino a 200 mW/m²).

Come si può vedere dalla Figura 27 molte delle aree in esame ricadono all'interno di permessi di ricerca o di istanze di permesso di ricerca per risorse geotermiche. Le aree che ricadono nelle vicinanze di Canino e della dorsale Capalbio-Manciano per la bassa profondità del serbatoio geotermico e le temperature presenti sono interessanti per usi diretti del fluido geotermico qui presente (aree VT-29, VT-9, VT-36, VT-8, VT-7, VT-34). Per le rimanenti aree, la temperatura attesa e la profondità stimata del serbatoio geotermico lasciano supporre la probabile esistenza di un sistema idrotermale a bassa temperatura (con temperatura di circa 100°C).

Si possono quindi classificare le aree VT-29 e VT-9 come risorsa geotermica individuata di bassa temperatura, mentre le aree rimanenti (VT-7, VT-8, VT-23, VT-24, VT-25, VT-26, VT-27, VT-28, VT-30, VT-31, VT-32, VT-33, VT-34, VT-36) come risorsa geotermica presunta di bassa temperatura.

Nello specifico, l'area VT-7, trovandosi a meno di un chilometro di distanza da una sorgente termale (ipotermale) a temperatura di 25°C e molto vicina al deposito di travertino e alle sottostanti lave permeabili, potrebbe rivestire un interesse per fluidi ipotermali per soli usi diretti.

Per le aree VT-25, VT-23, VT-27, VT-28, VT-32 non sono presenti misure dirette di temperatura nel serbatoio geotermico regionale, il quale si trova a profondità stimate tra i - 800 e -1200 metri (s.l.m.) e non sono inoltre presenti manifestazioni termali superficiali, ma dati relativi a pozzetti di gradiente geotermico suggeriscono temperature comprese tra i 50 e 100 °C all'interno del serbatoio, le quali possono quindi essere considerate come risorse geotermiche diffuse; un eventuale utilizzo per generazione di energia elettrica tramite centrali a ciclo binario è al limite della possibilità di impiego considerate le temperature medie atmosferiche annuali delle aree in esame.

Per le aree VT-24, VT-34, VT-26, VT-33 le considerazioni sono le medesime, mancando dati diretti di temperatura nel sottosuolo e non essendo presenti manifestazioni termali superficiali; il serbatoio geotermico si trova tra i - 800 e i - 400 metri (s.l.m.) e la temperatura presunta all'interno del serbatoio è leggermente inferiore (75-50°C). Per queste aree non sono possibili utilizzi di eventuali fluidi geotermici reperiti nel serbatoio geotermico regionale per la produzione di energia elettrica, mentre sono possibili utilizzazioni dirette dei fluidi (se presenti).

Per le aree VT-30 e VT-31, trovandosi più prossime al sistema vulcanico vulsino (pozzi "Marta" a circa 4,5 km di distanza in direzione NE), mostrano temperature stimate all'interno del serbatoio di circa 100°C (la temperatura, vista la vicinanza ai pozzi "Marta" potrebbe essere sottostimata), con il serbatoio geotermico regionale posto a profondità relativamente basse (- 800 metri s.l.m.); la risorsa geotermica presunta per queste due aree e di bassa (media) temperatura; l'interesse geotermico per queste aree è ulteriormente dimostrato dalla presenza di numerose istanze e permessi di ricerca per risorse geotermiche, anche per generazione di energia elettrica. Quest'ultima possibilità, considerato il quadro conoscitivo attuale, presenta comunque un rischio minerario molto elevato, essendo al limite della possibilità di generazione, economicamente sostenibile nelle condizioni attuali, attraverso centrali a ciclo binario.

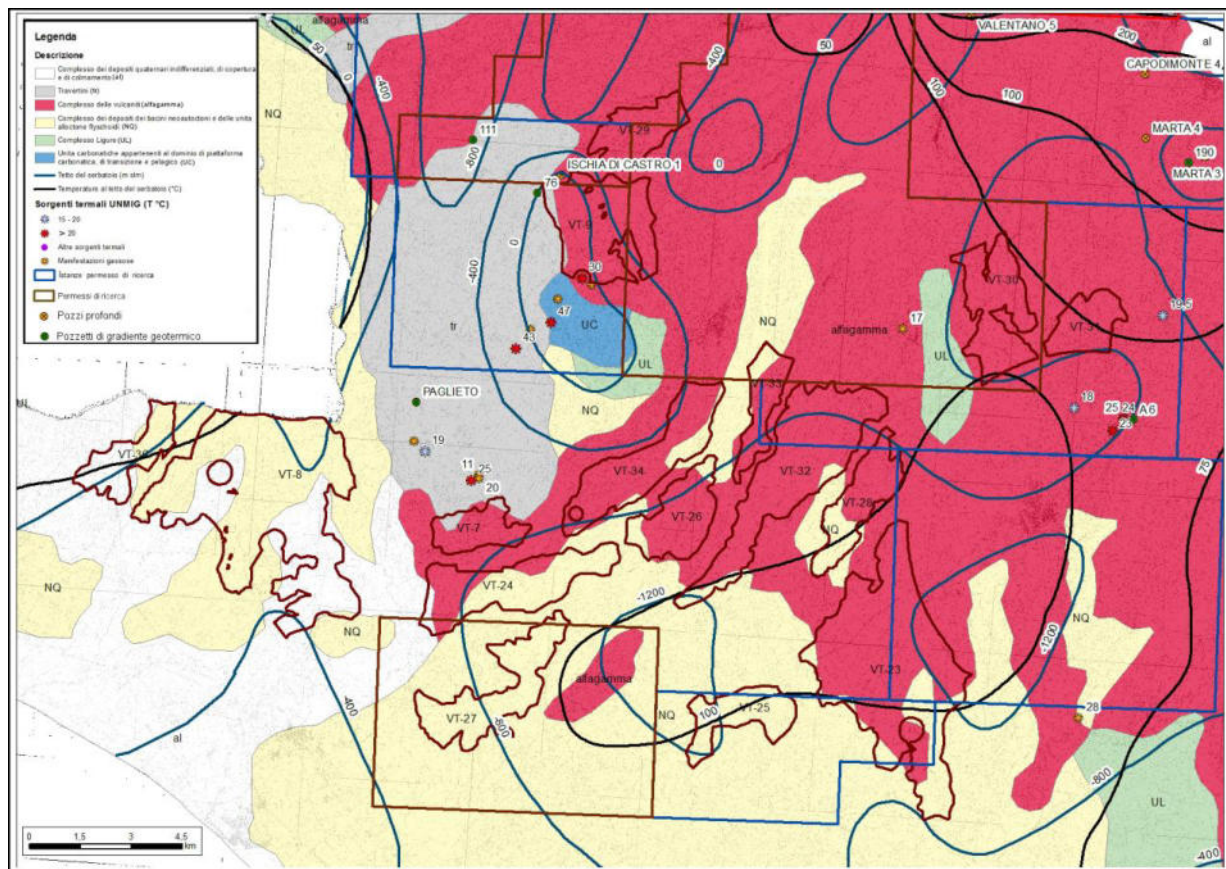


Figura 27 - Aree VT-7, VT-8, VT-9, VT-23, VT-24, VT-25, VT-26, VT-27, VT-28, VT-29, VT-30, VT-31, VT-32, VT-33, VT-34, VT-36 e principali dati geotermici.

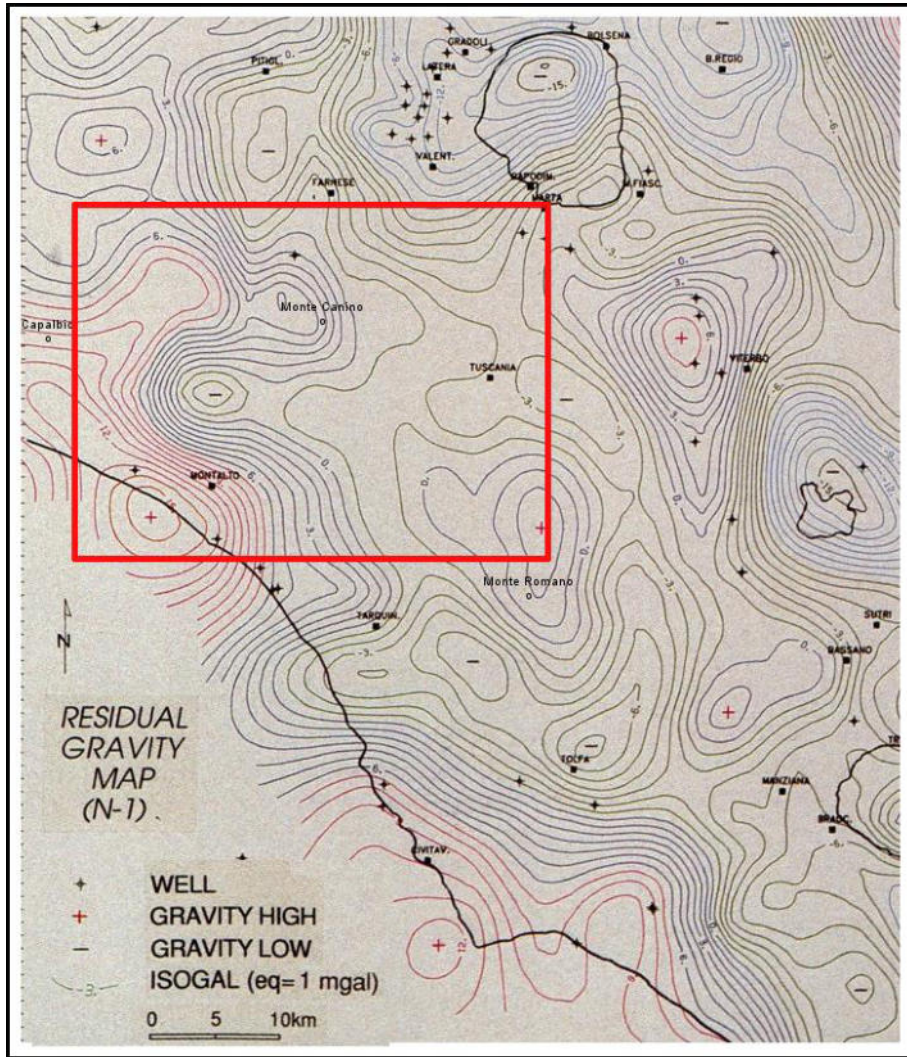


Figura 28 - Carta della anomalie residue di gravità, isolinee in mgal (da Barberi et al., 1994).

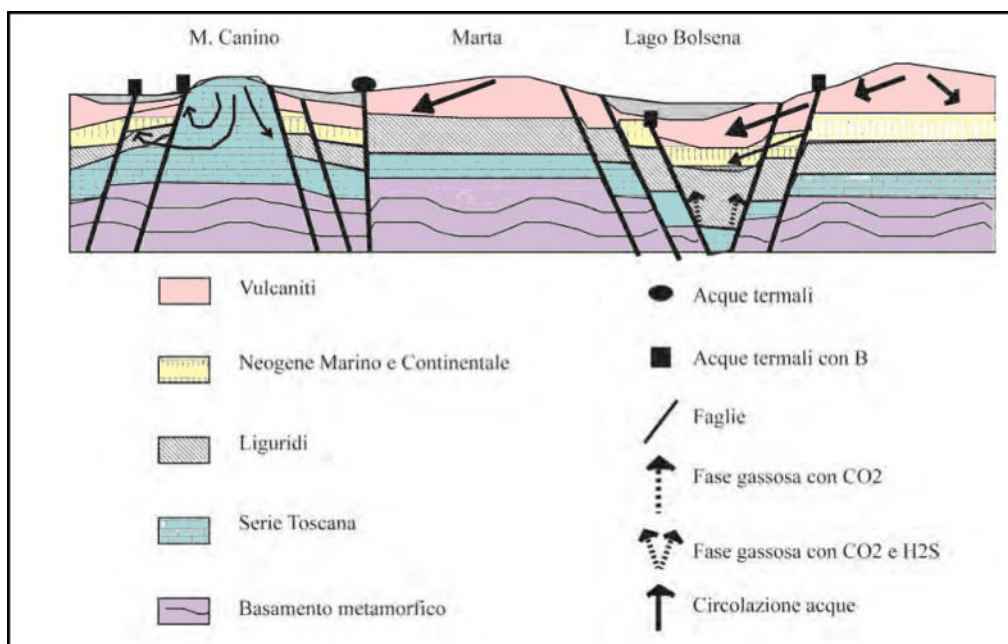


Figura 29 - Sezione idrogeologica schematica dell'area di Canino (da Di Salvo et al., 2013).

Aree localizzate nelle regioni Puglia e Basilicata

Le aree MT-1, MT-2, MT-3, BA_MT-4, BA_MT-5, MT_PZ-6, MT_PZ-7, PZ-8, PZ-9, PZ-10, PZ-11, PZ-12, PZ-13, PZ-14, MT-15, MT-16, TA_MT-17, TA_MT-18, BA_MT-19, LE-1, TA-2, TA-3, TA-4, BA-5, BA-6, FG-7, FG-8, FG-9, FG-10, FG-11, FG-12, FG-13, FG-14, FG-15, FG-16, FG-17, BA-18, BA-19, BA-20, BA-21 sono localizzate nelle regioni Puglia e Basilicata. La zona dell'avanfossa Bradanica è stata intensamente interessata da perforazioni e da prospezioni geofisiche per la ricerca di idrocarburi. Le formazioni che affiorano nelle aree di interesse sono i sedimenti plio-quadernari della Fossa Bradanica e i carbonati mesozoici appartenenti alla piattaforma apula. L'acquifero è costituito dai carbonati qui estesamente affioranti, i quali si rinvenivano anche al di sotto dei sedimenti neogenici (Figura 31). L'acquifero non assume però in nessuna delle aree di interesse il significato di serbatoio geotermico.

Il contesto geodinamico in cui sono localizzate le aree, ovvero sul margine del sistema catena-avanfossa, non è interessato da anomalia geotermica positiva, così come dimostrano le temperature a 2000 metri di profondità (Figura 30), le quali non superano i 70°C in alcune aree molto circoscritte nei dintorni di Matera. La lieve risalita delle isoterme in questa zona è da imputare ad una circolazione molto profonda delle acque che si infiltrano dai rilievi circostanti e che risalgono lungo sistemi di fratture portando acque a debole termalità (20°C) in superficie. In generale le zone in esame sono dominate dall'infiltrazione di acque meteoriche fredde nei grandi massicci carbonatici che rappresentano quindi un enorme reservoir freddo.

Le aree localizzate nelle regioni Puglia e Basilicata non sono sede di risorse geotermiche.

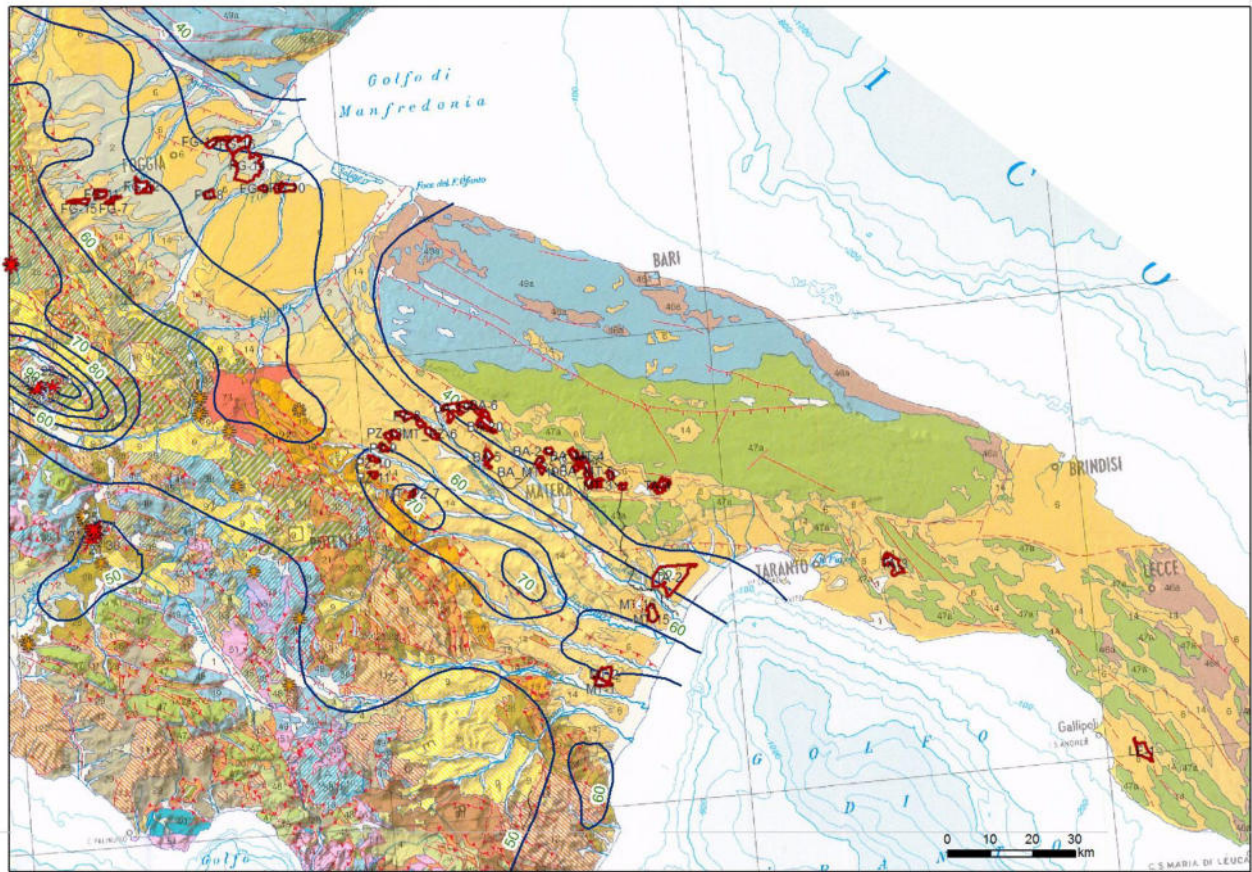


Figura 30 - Carta geologica dell'Appennino meridionale (APAT, 2004) temperature a 2000 metri di profondità (isolinee in °C, da ENEL, ENI-AGIP, CNR e ENEA, 1988)

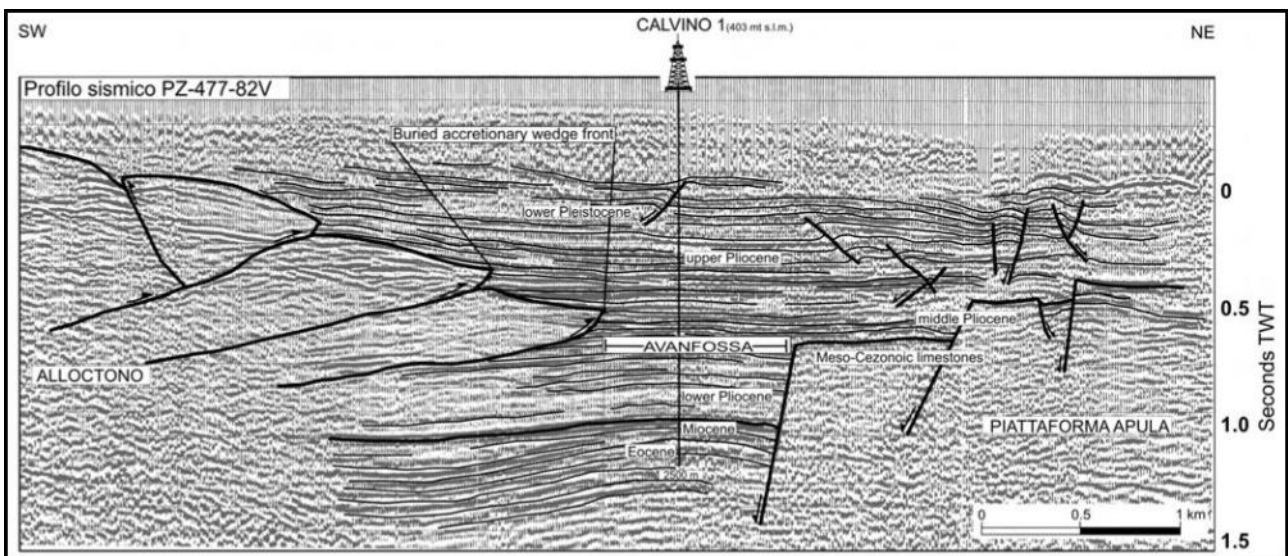


Figura 31 - Esempio di sezione sismica interpretata attraverso l'avanfossa Bradanica (da Lazzari M., 2008).

Aree localizzate nella Regione Sardegna

Le aree CA-31, CA-32, CA-40_A, VS_CA-43, CA_VS-44, VS-45, CA-47, OG-48, CA-49, OR-58, OR-59, OR-60, OR-61, CA-64, OR_VS-65, CA-73_B, CA_VS-74, CA-75, VS-76, VS-77, CA-73_A, CA-73_C sono localizzate nella Regione Sardegna, nelle regioni della Marmilla, Sarcidano e Ogliastra. L'area OG-48 è geograficamente separata dalle altre, trovandosi nella zona orientale della Sardegna, nella regione dell'Ogliastra dove affiorano le rocce granitoidi appartenenti al basamento metamorfico paleozoico della Sardegna. Tutte le altre aree sono più o meno omogeneamente distribuite in corrispondenza delle regioni della Marmilla e del Sarcidano dove affiorano i sedimenti dell'Oligocene-Pliocene, le vulcaniti oligo-mioceniche e i basalti plio-pleostocenici. In particolare quest'ultima regione si colloca immediatamente ad est del graben del Campidano, fossa tettonica ad orientazione NW-SE che si estende dal golfo di Oristano al golfo di Cagliari. Il graben del Campidano è stato interessato da numerosi studi geofisici (geoelettrica, sismica, gravimetria) e da alcuni sondaggi profondi per la ricerca di idrocarburi ("Oristano1", "Oristano2", "Campidano1"). La deposizione dei sedimenti oligo-pliocenici e l'approfondimento del graben del Campidano con deposizione di depositi marini pliocenici e continentali plio-quadernari è diretta conseguenza dell'estensione crostale che ha portato al distacco del blocco sardo-corso della penisola iberica con l'apertura dell'oceano provenzale. L'estensione porta alla formazione di horst e graben ben riconosciuti tramite profili sismici (Figura 33), per l'azione di faglie dirette a geometria listrica con immersione opposta verso NE e verso SW. La deposizione dei sedimenti oligo-miocenici è associata ad un magmatismo a composizione calc-alcalina. All'interno del graben del Campidano sono stimati fino a 3000 metri di sedimenti oligo-miocenici e plio-quadernari. Al di sotto dei sedimenti oligo-miocenici e delle vulcaniti associate sono presenti le rocce appartenenti al basamento paleozoico, le quali non sono state raggiunte da nessuno dei pozzi profondi qui perforati.

In Sardegna non è riconosciuto un serbatoio geotermico regionale come in Toscana e nel Lazio; eventuali serbatoi geotermici sono ipotizzabili all'interno di fratture nei graniti appartenenti al basamento paleozoico. Le prospezioni geotermiche nella zona meridionale hanno riguardato la misura del flusso di calore e del gradiente geotermico in numerosi pozzetti superficiali, localizzati però esclusivamente all'interno del rift sardo, ovvero nella zona in cui affiorano i sedimenti e le vulcaniti oligo-mioceniche. Il valore massimo del flusso di calore misurato è di 100 mW/m^2 mentre il gradiente geotermico varia da 40 a 85°C/km . Le temperature stimate a 2000 metri di profondità variano da 130°C all'interno del graben del Campidano e diminuiscono con un gradiente orizzontale abbastanza marcato verso NE (Marmilla) dove si arriva ad avere 40°C stimati a 2000 metri. Le temperature a 2000 metri di profondità in corrispondenza delle aree in esame variano dai 100 ai

40°C. Per quanto riguarda l'area localizzata nella regione dell'Ogliastra (OG-48) non sono presenti dati termici diretti. Della Vedova et al., 2001 nella carta dell'heat-flow stimano in quest'area valori di flusso di calore tra i 40 e i 50 mW/m², ovvero inferiori alla media terrestre. La circolazione idrotermale avviene per infiltrazione di acque meteoriche in profondità (1000-2000 metri) lungo faglie e fratture che interessano il basamento paleozoico e successiva risalita lungo strutture tettoniche regionali. In generale la circolazione idrotermale avviene in sistemi a bassa entalpia localizzati. Le emergenze di acque termali, che in prossimità delle aree in esame raggiungono temperature massime di 52°C (Fordongianus, a 6 km di distanza dall'area OR-58 e Sardara, a 13-15 km di distanza dal gruppo di aree OR_VS-65, VS-45, VS-77, VS-76), possono essere legate a circuiti idrotermali locali profondi lungo faglie e fratture che consentono la percolazione, riscaldamento e risalita di fluidi meteorici. Le principali sorgenti termali sarde sono localizzate ai bordi dei graben, lungo le faglie bordiere, o all'incrocio tra faglie con direzione NW-SE e con direzione NE-SW. Le sorgenti termali sono spesso associate ad emissioni gassose, soprattutto CO₂ e N₂. La composizione chimica delle acque è sodico-bicarbonato-clorurato.

Nella zona del graben del Campidano sono presenti alcuni permessi di ricerca per risorse geotermiche, volti al reperimento di fluidi a medio-bassa entalpia per la produzione di energia elettrica in impianti del tipo a ciclo binario. Nelle vicinanze delle sorgenti termali esistenti o nel caso di reperimento di fluidi a bassa entalpia a bassa profondità sono possibili usi diretti dei fluidi idrotermali per usi balneoterapeutici, zootecnici e in agricoltura.

In corrispondenza delle aree OG-48, CA-31, CA-47, CA-32, CA-40_A, VS_CA-43, CA_VS-44, VS-45, CA-49, OR-58, OR-59, OR-60, OR-61, CA-64, OR_VS-65, CA-73_B, CA_VS-74, CA-75, VS-76, VS-77, CA-73_A, CA-73_C, utilizzando la classificazione proposta nei primi capitoli, che individuano i play geotermici, non sono presenti risorse geotermiche per: assenza di serbatoio geotermico verificato, temperature massime a 1000 metri di profondità di 70°C (presunte sulla base dell'estrapolazione dei valori di gradiente geotermico superficiale misurato), con valori medi di 40°C (prossimi alle temperature medie terrestri per questa profondità, Figura 34).

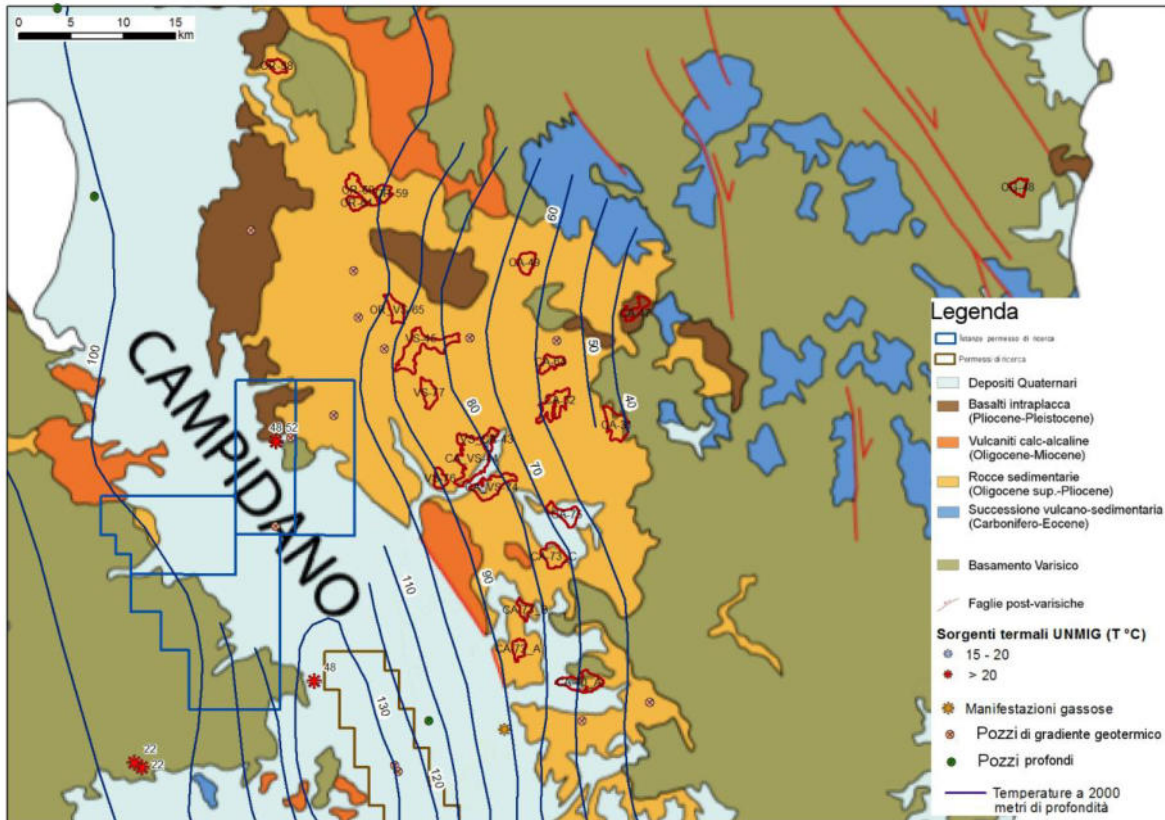


Figura 32 - Aree CA-31, CA-32, CA-40_A, VS_CA-43, CA_VS-44, VS-45, CA-47, OG-48, CA-49, OR-58, OR-59, OR-60, OR-61, CA-64, OR_VS-65, CA-73_B, CA_VS-74, CA-75, VS-76, VS-77, CA-73_A, CA-73_C e principali dati geotermici (temperature a 2000 metri di profondità).

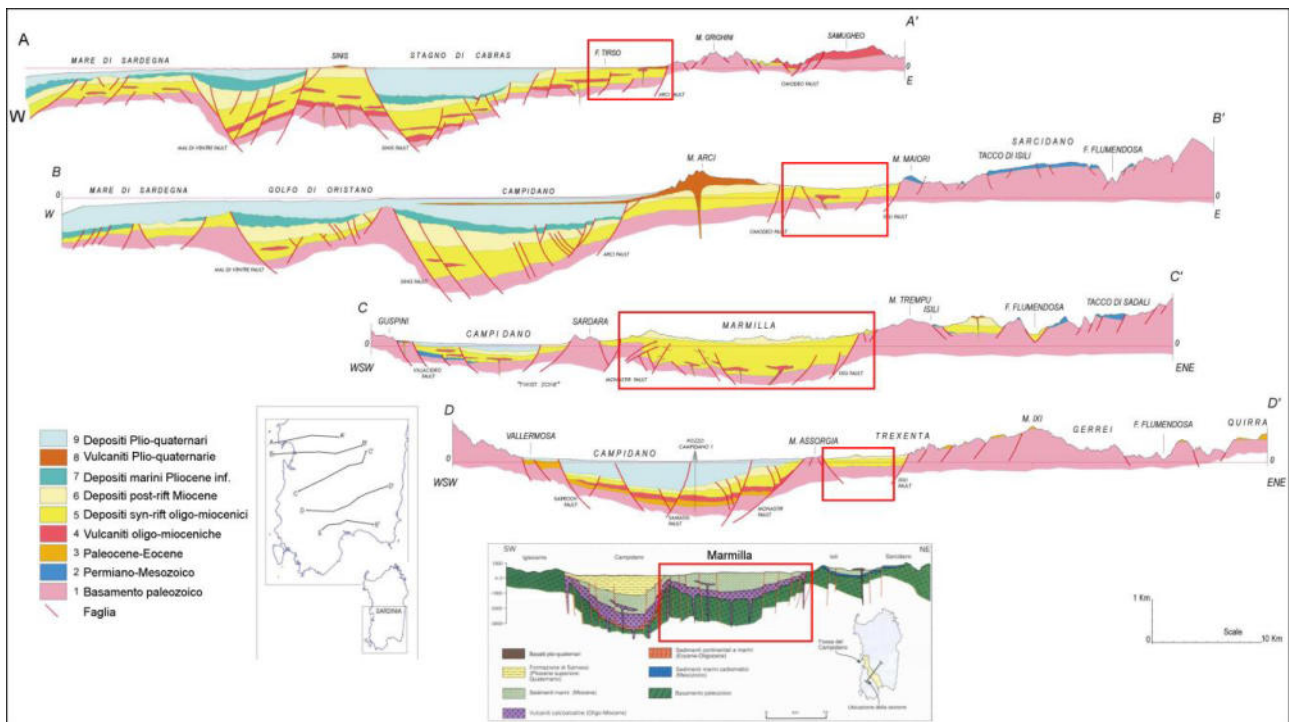


Figura 33 - Sezioni geologiche schematiche derivanti dalle prospezioni geofisiche nel graben del Campidano (da Casula et al., 2001 e da Balia et al., 1991)

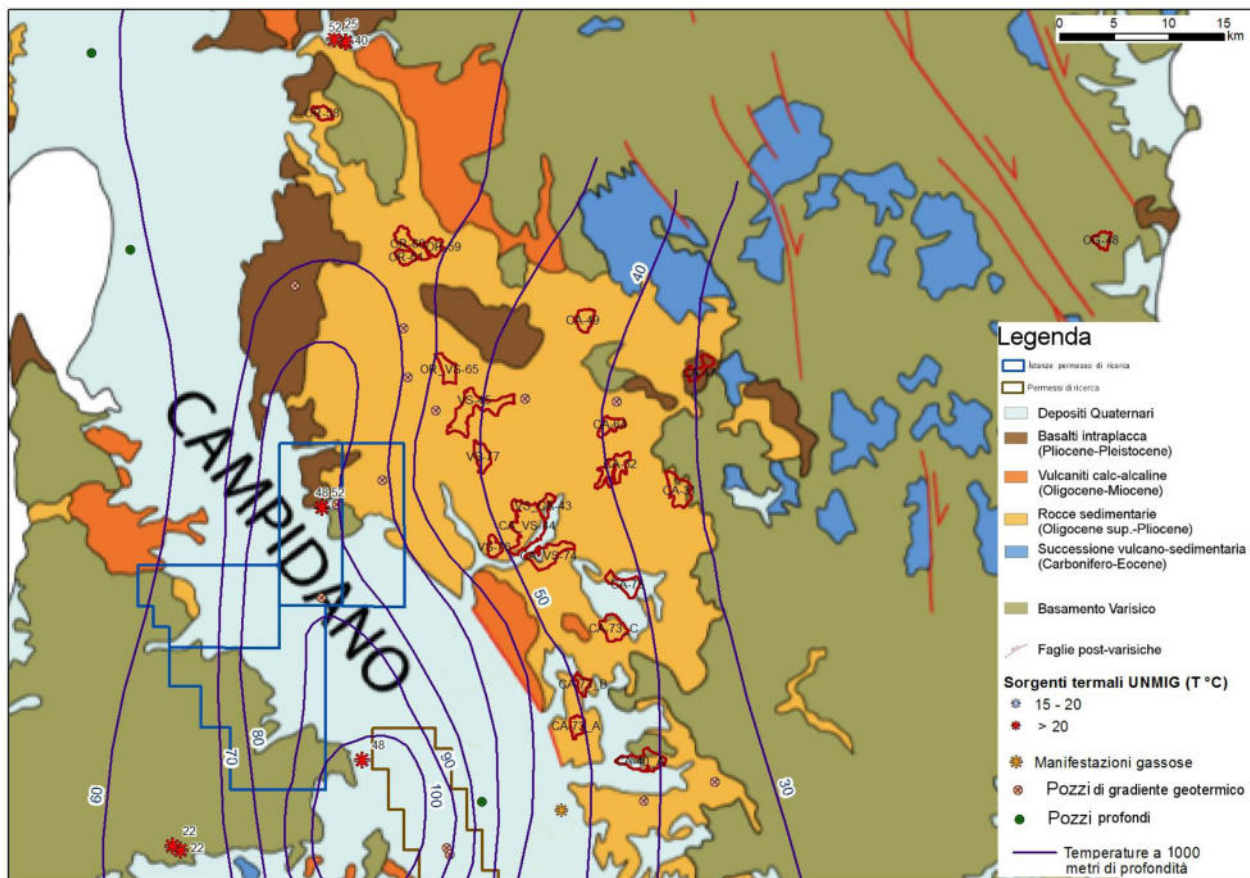


Figura 34 - Aree CA-31, CA-32, CA-40_A, VS_CA-43, CA_VS-44, VS-45, CA-47, OG-48, CA-49, OR-58, OR-59, OR-60, OR-61, CA-64, OR_VS-65, CA-73_B, CA_VS-74, CA-75, VS-76, VS-77, CA-73_A, CA-73_C e principali dati geotermici (temperature a 1000 metri di profondità).

Tabella riassuntiva della classificazione geotermica delle singole aree

Si riporta una tabella riassuntiva con la classificazione geotermica delle singole aree. Il punteggio è assegnato ad ogni area seguendo la classificazione discussa nel capitolo iniziale, il cui punteggio dal più basso (nessuna risorsa geotermica presente) al più alto (riserva geotermica provata) viene di seguito riportato:

1. **Nessuna risorsa geotermica presente (F)**
2. **Risorse geotermiche presunte (E)**
3. **Risorse geotermiche individuate (D)**
4. **Risorse geotermiche misurate (C)**
5. **Riserva geotermica probabile (B)**
6. **Riserva geotermica provata (A)**

Nr.	CODICE AREA	CLASSIFICAZIONE
1.	PI-3	E
2.	GR-2	E
3.	SI-5	E
4.	VT-35	E
5.	VT-22	F
6.	RM_VT-21	F
7.	VT-14	E
8.	VT-13	E
9.	VT-12	E
10.	VT-15	E
11.	VT-16	E
12.	VT-17	E
13.	VT-20	E
14.	VT-10	E
15.	VT-19	E
16.	VT-11	E
17.	VT-1	D
18.	VT-6	D

19.	VT-5	E
20.	VT-18	E
21.	VT-2	E
22.	VT-3	E
23.	VT-4	E
24.	VT-7	E
25.	VT-8	E
26.	VT-9	D
27.	VT-23	E
28.	VT-24	E
29.	VT-25	E
30.	VT-26	E
31.	VT-27	E
32.	VT-28	E
33.	VT-29	D
34.	VT-30	E
35.	VT-31	E
36.	VT-32	E
37.	VT-33	E
38.	VT-34	E
39.	VT-36	E
40.	MT-1	F
41.	MT-2	F
42.	MT-3	F
43.	BA_MT-4	F
44.	BA_MT-5	F
45.	MT_PZ-6	F
46.	MT_PZ-7	F
47.	PZ-8	F
48.	PZ-9	F
49.	PZ-10	F
50.	PZ-11	F
51.	PZ-12	F

52.	PZ-13	F
53.	PZ-14	F
54.	MT-15	F
55.	MT-16	F
56.	TA_MT-17	F
57.	TA_MT-18	F
58.	BA_MT-19	F
59.	LE-1	F
60.	TA-2	F
61.	TA-3	F
62.	TA-4	F
63.	BA-5	F
64.	BA-6	F
65.	FG-7	F
66.	FG-8	F
67.	FG-9	F
68.	FG-10	F
69.	FG-11	F
70.	FG-12	F
71.	FG-13	F
72.	FG-14	F
73.	FG-15	F
74.	FG-16	F
75.	FG-17	F
76.	BA-18	F
77.	BA-19	F
78.	BA-20	F
79.	BA-21	F
80.	CA-31	F
81.	CA-32	F
82.	CA-40_A	F
83.	VS_CA-43	F
84.	CA_VS-44	F

85.	VS-45	F
86.	CA-47	F
87.	OG-48	F
88.	CA-49	F
89.	OR-58	F
90.	OR-59	F
91.	OR-60	F
92.	OR-61	F
93.	CA-64	F
94.	OR_VS-65	F
95.	CA-73_B	F
96.	CA_VS-74	F
97.	CA-75	F
98.	VS-76	F
99.	VS-77	F
100.	CA-73_A	F
101.	CA-73_C	F

Bibliografia

Angelone M., Gasparini C., Guerra M., Lombardi S., Pizzino L., Quattrocchi F., Sacchi E. e Zuppi G.M., 2005, Fluid geochemistry of the Sardinian Rift-Campidano Graben (Sardinia, Italy): fault segmentation, seismic quiescence of geochemically “active” faults, and new constraints for selection of CO₂ storage sites. *Applied Geochemistry* 20, 317–340.

Arnone G., 1979, Studio delle sorgenti termali del Lazio settentrionale, *Rend. Soc. Ital. Min. e Petr.*, 35, 647-666

APAT, 2004, Dipartimento di Difesa del Suolo, Servizio Geologico d'Italia, Carta Geologica d'Italia, Scala 1:1.250.000.

Aquè e Brogi, 2002, La Dorsale Monti del Chianti-Monte Cetona nel quadro evolutivo della Catena Appenninica settentrionale: tettonica polifasata nella trasversale Trequanda-Sinalunga (Toscana meridionale), *Boll. Soc. Geol. It.*, 121, 365-376.

Baldi P., et al., 1982, Exploration methodology, deep drilling, and geothermal model of the Cesano field. First Turkish-Italian seminar on Geothermal Energy, vol. 2, Ankara.

Baldi P., Bellani S., Ceccarelli A., Fiordelisi A., Squarci P., Taffi L., 1995, Geothermal anomalies and structural features of southern Tuscany. *World Geothermal Congress Proceedings Florence*, pp 1287–1291.

Balia R., Fais S., Klingelé E., Marson I. & Porcu A. (1991) - Aeromagnetic constraints on the geostructural interpretation of the southern part of the Sardinian Rift, Italy. *Tectonophysics*: 195, 347-358, Amsterdam.

Barberi, F., Buonasorte, G., Cioni, R., Fiordelisi, A., Foresi, L., Iaccarino, S., Laurenzi, M.A., Sbrana, A., Vernia, L., Villa, I.M., 1994. Plio-Pleistocene geological evolution of the geothermal area of Tuscany and Latium. *Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia* 49, 77–134.

Boni C. et al., 1993, Genesi e regime di portata delle acque continentali del Lazio. CNR (Centro di studio per il Quaternario e l'evoluzione ambientale) – Università La Sapienza. Roma.

Boni C. et al., 1988, Schema idrogeologico dell'Italia Centrale, Memorie della Società Geologica Italiana, v. 35.

Bossio A., Foresi L.M., Liotta D., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G. & Squarci P., 1999. Riordino delle conoscenze sul bacino neogenico del Tora-Fine (Toscana, Italia). Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem., Serie A, 106: 1-16.

Brogi, A., 2004. Faults linkage, damage rocks and hydrothermal fluid circulation: tectonic interpretation of the Rapolano Terme travertines (southern Tuscany, Italy) in the context of the Northern Apennines Neogene-Quaternary extension. *Eclogae Geol. Helv.* 97, 307–320.

Brogi, A., 2008. The structure of the Mt. Amiata volcano-geothermal area (Northern Apennines, Italy): Neogene-Quaternary compression versus extension. *Int. J. Earth Sci.* 97, 677–703.

Brogi, A., Lazzarotto, A., Liotta, D., Ranalli, G., 2005. Crustal structures in the geothermal areas of southern Tuscany (Italy): insights from the CROP 18 deep seismic reflection lines. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 148, 60–80.

Buonasorte, G., Fiordelisi, A., Pandeli, E., Rossi, U., Sollevanti, F., 1987. Stratigraphic correlations and structural setting of the pre-neoautochthonous sedimentary sequences of Northern Latium. *Period. Mineral.* 56, 111–122.

Capelli G. et al., 2012, Nuova Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio alla scala 1:100.000 (4 fogli), Regione Lazio.

Carmignani L., Lazzarotto A., 2004, Carta Geologica della Regione Toscana (2004), scala 1:250.000.

Chiocchini, U., Castaldi, F., Barbieri, M., Eulilli, V., 2010. A stratigraphic and geophysical approach to studying the deep-circulating groundwater and thermal springs, and their recharge areas, in Cimini Mountains–Viterbo area, central Italy. *Hydrogeol. J.* 18, 1319–1341.

Casula G., Cherchi A., Montadert L., Murru M. & Sarria E. (2001) - The Cenozoic graben system of Sardinia (Italy): geodynamic evolution from new seismic and field data. *Marine and Petroleum Geology*, 18: 863-888, Amsterdam.

Cinti, D., Procesi, M., Tassi, F., Montegrossi, G., Sciarra, A., Vaselli, O., Quattrocchi, F., 2011. Fluid geochemistry and geothermometry in the western sector of the Sabatini Volcanic District and the Tolfa Mountains (Central Italy). *Chem. Geol.* 284, 160–181.

Cinti D. et al., 2014, Fluid geochemistry and geothermometry in the unexploited geothermal field of the Vicano–Cimino Volcanic District (Central Italy), *Chemical Geology* 371, 96–114.

CNR, PFE, RF 15, 1982, Contributo alla conoscenza delle potenzialità geotermiche della Toscana e del Lazio. Relazione finale. Progetto Finalizzato Energetica.

Della Vedova B. et al., 2001, Deep temperatures and surface heat flow distribution, In *Anatomy of an Orogen: the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*, 65-76, Kluwer Academic Publisher.

Dettori B., Zanzari A.R., Zuddas P.: Le acque termali della Sardegna; 1982; Ricerche geotermiche in Sardegna con particolare riferimento al Graben del Campidano- Progetto Finalizzato Energetica - Sottoprogetto energia geotermica - Relazione finale sul tema di ricerca “Studi geologici, idrogeologici e geofisici finalizzati alla ricerca di fluidi caldi nel sottosuolo-CNR-PFE-RF 10, Pisa.

Di Salvo C. et al, 2013, Gli acquiferi in travertino del Lazio: schemi idrogeologici e caratteristiche chimico-fisiche, *Rend. Online Soc. Geol. It.*, Vol. 27 (2013), pp. 54-76, 30 figs., 1 tab.

ENEL, ENI-AGIP, CNR e ENEA, 1988, Inventario delle risorse geotermiche nazionali, Legge 9 dicembre 1986, n.896, abrogata dal Decreto Legislativo 11 febbraio 2010, n.22 e successivo aggiornamento (febbraio 1994).

European Commission, 2002, *Atlas of Geothermal Resources in Europe*, Official Publications of the European Communities.

Faccenna e Funiciello, 1993, Tettonica pleistocenica tra il Monte Soratte e i Monti Cornicolani (Lazio), *Il Quaternario*, 6 (1), 103-118.

Googas Catalogue. Results of the INGV-DPCV5 project: the catalogue of italian gas emissions. 2009. Available at: <http://googas.ov.ingv.it/>

Lazzari M., 2008, Il comportamento tettonico e sedimentario del bacino d'avanfossa Bradanica durante il Pleistocene inferiore, Mem. Descr. Carta Geol. d'It. LXXVII (2008), pp. 61 - 76.

Loddo M., Mongelli F., Pecorini G., Tramacere A.: Prime misure di flusso di calore in Sardegna; 1982; Ricerche geotermiche in Sardegna con particolare riferimento al Graben del Campidano-Progetto Finalizzato Energetica - Sottoprogetto energia geotermica - Relazione finale sul tema di ricerca "Studi geologici, idrogeologici e geofisici finalizzati alla ricerca di fluidi caldi nel sottosuolo-CNR-PFE-RF 10, Pisa.

Maggiore M. e Pagliarulo P., Circolazione idrica ed equilibri idrogeologici negli acquiferi della Puglia, Periodico dell'Ordine dei Geologi della Puglia - Supplemento al n. 1/2004.

Mazzanti R., 2000, Geomorfologia del bacino versiliese-pisano con particolare riferimento alla "gronda del lupo", scarpata fossile che separa le colline livornesi, con i loro terrazzi eustatici, dalla pianura alluvionale di Pisa, Atti soc. tosc. Sc. Nat. Mem. Serie A, pag. 165-189.

Minissale A., Magro G., Tassi F., Frau F., Vaselli O., 1999, The origin of natural gas emissions from Sardinia Island, Italy; Geochemical Journal Vol. 33 pp 1-12.

Minissale A., 1991, Thermal springs in Italy: their relation to recent tectonic, Applied Geochemistry, vol. 6, pp 201-212.

Minissale A., 2004, Origin, transport and discharge of CO₂ in central Italy, Earth-Science Reviews 66, 89-141.

Nuti et al., 1977, Il termalismo nella Provincia di Sassari; possibile modello del circuito termale di Casteldoria, Boll. Soc. Geol. It. 96, 491-504.

Oggiano G., Funedda A., Carmignani L. & Pasci S., 2009, The Sardinia-Corsica microplate and its role in the Northern Appennine Geodynamics: new insights from the Tertiary intraplate strike-slip tectonics of Sardinia. *Boll.Soc.Geol.It.* Vol.128, No.2, 527-539.

Piscopo, V., Barbieri, M., Monetti, V., Pagano, G., Pistoni, S., Ruggi, E., Stanzione, D., 2006. Hydrogeology of thermal waters in Viterbo area, central Italy. *Hydrogeol. J.* 8, 1508–1521.

Santini S. e Petrone F., 1977, La geotermia nel quadro della ricerca infrastrutturale, *L'industria mineraria*, 223-236.

Toro B., 1987, Anomalie residue di gravità e strutture profonde nelle aree vulcaniche del Lazio settentrionale, *Geologica Rom.*, 17, 35-44.