

# **CONTRIBUTO ALLA CONOSCENZA DELLE POTENZIALITA' GEOTERMICHE DELLA TOSCANA E DEL LAZIO**

**RELAZIONE FINALE  
SUL TEMA DI RICERCA  
«STUDI GEOLOGICI, IDROGEOLOGICI E GEOFISICI  
FINALIZZATI ALLA RICERCA DI FLUIDI CALDI NEL SOTTOSUOLO»**

**Roma, dicembre 1982**

**CNR - PFE - RF 15**

**CNR  
Consiglio Nazionale Ricerche  
Progetto Finalizzato Energetica**

---

# Indice

---

9

1. Premessa

11

2. Metodologia

14

3. Cenni sull'assetto geologico e geoidrologico della zona esaminata

18

4. Carte del tetto del potenziale serbatoio

24

5. Carta geoidrologica

29

6. Carta delle temperature al tetto del potenziale serbatoio

34

7. Temperature nel serbatoio calcolate con i geotermometri

38

8. Conclusioni

42

Bibliografia

---

CONTRIBUTO ALLA CONOSCENZA DELLE POTENZIALITA' GEOTERMICHE DELLA TOSCANA  
E DEL LAZIO

1. Premessa

La fascia preappenninica tosco-laziale-campana è, come è noto, la "regione" geotermica italiana di maggior interesse.

Per le sue caratteristiche peculiari è anche la "regione" sulla quale sono state concentrate la maggior parte delle ricerche geotermiche sia di superficie che profonde. E' pertanto anche l'area sulla quale a tutt'oggi esiste il maggior numero di informazioni, sia dirette che indirette, sulle strutture geologiche ed idrologiche presenti e sui loro "caratteri" geotermici.

Se si tien presente che l'obiettivo principale nell'esplorazione geotermica è comunque quello di raggiungere a mezzo di perforazioni un serbatoio suscettibile di produrre fluidi caldi, si comprende facilmente come sia di grande importanza, su un'area di notevole interesse e così vasta come quella sopra indicata, la ricostruzione dell'assetto strutturale di tale potenziale serbatoio<sup>(\*)</sup>, dell'ordine di grandezza delle temperature dei fluidi in esso presenti e delle caratteristiche idrogeologiche, per la migliore conoscenza dei sistemi idrotermali profondi.

Per la Toscana a sud delle Apuane, e ad Ovest della linea Monti del Chianti-M.Cetona la profondità del tetto nel potenziale serbatoio e le temperature corrispondenti a questa profondità sono già state ricostruite da Cataldi et al. (1977) nel quadro della valutazione del potenziale geotermico di quest'area.

Adesso questa ricostruzione viene estesa a Nord fino a comprendere le Alpi Apuane e a Sud alla fascia preappenninica laziale e campana fino all'altezza di Roccamonfina.

---

(\*) Si vedrà successivamente cosa si intende nel caso della zona in esame per potenziale serbatoio geotermico.

I dati sui quali si basa il lavoro, oltre a quelli geologici di superficie, sono essenzialmente i seguenti:

- dati stratigrafici e termici di una serie di pozzi profondi, la stragrande maggioranza dei quali è stata perforata dall'ENEL per ricerche geotermiche (oltre a questi sono disponibili alcuni pozzi perforati da altri quali AGIP, Terni S.p.A., Larderello S.p.A., RIMIN, sia per ricerche geotermiche che con altri obiettivi minerari) e di numerosi pozzetti termometrici a piccola profondità eseguiti dall'ENEL (Calamai et al. (1976));
- carte gravimetriche di vario tipo che coprono l'area in esame fino all'altezza del F. Arno;
- i risultati di numerose campagne di rilevamenti geoelettrici;
- misure dirette di livello (o di pressione) nei pozzi;
- le quote di affioramento dell'acquifero e dei terreni che lo confinano;
- le quote delle sorgenti termominerali, intese come espressione diretta della circolazione profonda;
- le quote degli affioramenti di travertino (attuale e/o fossile) collegati alle zone di emergenza di acque legate alla circolazione profonda nei serbatoi carbonatici;
- le quote dei principali corpi idrici (fiumi, laghi).

Oltre a ciò in certi casi e per problemi particolari sono stati presi in considerazione anche informazioni di altro tipo quali dati magnetometrici, sismici ecc. e, per quanto concerne le temperature, geotermometri chimici. Anche se la zona esaminata come si è detto, è ricca di dati, questi non sono uniformemente distribuiti.

I pozzi profondi, in particolare, sono concentrati in determinate aree, quali quelle dei campi geotermici di Larderello-Travale, del M. Amiata, di Torre Alfina, quella di Latera, di Cesano e sono presenti sporadicamente in qualche altra (Tolfa, area Vico-Cimina e pianura costie-

ra a Sud del F. Tevere) e del tutto assenti in altre ancora. Anche le informazioni di tipo geofisico non hanno sempre lo stesso livello di dettaglio e di definizione su tutta l'area, anche perchè, mentre in alcuni settori si ha la taratura di pozzi profondi, in altri tale "taratura" non esiste. Pertanto sia per quanto riguarda la carta del tetto del potenziale serbatoio che per quanto riguarda la carta delle temperature e delle isopieze il grado di approssimazione è abbastanza differenziato tanto sul piano regionale che su quello locale.

E' migliore ad esempio nel suo insieme in Toscana a Sud dell'Arno e nel Lazio settentrionale dove il numero dei dati, soprattutto quello riguardante i pozzi profondi, è nettamente maggiore e più diffuso, rispetto al Lazio meridionale ed alla Campania settentrionale, dove pozzi profondi o mancano o comunque sono piuttosto scarsi.

Per questo motivo pur dovendo essere considerato questo come un lavoro unitario nei suoi caratteri generali e nei criteri d'esecuzione, per quanto riguarda le carte tematiche vengono presentate separatamente quelle della Toscana-Lazio settentrionale e quelle relative alla fascia preappenninica del Lazio meridionale e della Campania settentrionale.

Analogamente per il testo: la premessa, l'inquadramento geostrutturale e le conclusioni sono comuni, mentre le carte tematiche vengono descritte separatamente.

## 2. Metodologia

Per quanto riguarda l'approccio metodologico, i criteri seguiti sono stati i seguenti.

I dati dei pozzi (geologici, idrogeologici e termici), ovviamente, sono stati considerati come punti fermi ai quali sono state ancorate tutte le altre informazioni.

La gravimetria è stata utilizzata soprattutto come mezzo per l'individuazione e la ricostruzione degli andamenti strutturali regionali; da essa sono state tratte inoltre le ipotesi quantitative di partenza

utili alla definizione della geometria del tetto del potenziale serbatoio geotermico. Tali ipotesi sono state controllate, dove possibile, con i dati provenienti dalle prospezioni geoelettriche.

Nei casi in cui tra i dati gravimetrici e quelli geoelettrici esisteva contrasto o comunque divergenza si è cercato di mediare o di risolvere la divergenza sulla base delle conoscenze geologiche regionali o di altre informazioni (magnetometriche, idrogeologiche, ecc.). Va tenuto presente che nelle zone prive di pozzi di taratura e/o dove non è stato possibile effettuare un controllo geoelettrico o geologico, la stima delle profondità proviene unicamente dalla gravimetria. Ciò può aver condotto ad imprecisioni dovute oltre che ai normali limiti propri del metodo, anche ad ambiguità interpretative. La più clamorosa, ed anche non sempre facilmente risolvibile di queste, si ha in presenza di una successione tipo: calcari-flysch-vulcaniti. Infatti, essendo la differenza di densità fra i calcari ed il flysch molto vicina a quella esistente tra il flysch e le vulcaniti, è possibile che in qualche caso sia stata attribuita la profondità dei calcari al passaggio flysch-vulcaniti. A ciò si aggiunga la ben nota difficoltà nel distinguere un flysch calcareo dal potenziale serbatoio anch'esso calcareo: problema, questo, fortemente sentito anche dalla prospezione geoelettrica.

Per quanto concerne la carta delle temperature al tetto del potenziale serbatoio, oltre a quelle misurate direttamente nei pozzi profondi, sono state utilizzate le temperature ed i gradienti misurati nei pozzetti termometrici (circa 450, perforati nell'area in esame) con una operazione di estrapolazione che ha tenuto conto della stima degli spessori dei complessi geologici sovrastanti al potenziale serbatoio e della conducibilità termica media di questi complessi geologici, valutata sulla base delle misure effettuate in sede di prospezione. Per l'extrapolazione è stato considerato un modello a più strati esclusivamente conduttivo, in regime stazionario.

In certi casi in assenza di altre informazioni sono state utilizzate le indicazioni termometriche fornite dai geotermometri chimici.

Per quanto riguarda la carta delle isopieze relative all'acquifero profondo di interesse geotermico, essa si basa sulle conoscenze dirette dei campi e delle aree geotermiche note (Larderello, Travale, Monte Amiata, Torre Alfina, Vico) ed in esplorazione (Latera, Cesano, Monti Sabatini) e sulla loro estrapolazione alle zone limitrofe per le quali è stato fatto il tentativo di collegare fra loro, in un quadro generale, informazioni e dati indiretti quali quote di emergenza di manifestazioni idrotermali e di depositi idrotermali ed affioramenti di rocce serbatoio e di copertura. Come vedremo, l'esperienza finora acquisita consente di individuare almeno a grandi linee, nelle rocce prevalentemente carbonatiche mesozoiche, di tipo toscano, umbro-sabino e laziale-abruzzese il principale acquifero profondo.

I limiti della ricostruzione effettuata sono costituiti, oltre che dalle disuniformità della distribuzione dei dati utilizzati, anche dal fatto che l'acquifero regionale è affetto da anomalie termiche localizzate che fanno passaggio graduale a zone più fredde e quindi è talora difficile confrontare i dati di aree differenti, in quanto i rispettivi livelli piezometrici sono influenzati decisamente dallo stato termodinamico del fluido lungo la verticale (presenza di cappe di gas, zone a vapore dominante ecc.).

La carta è quindi il risultato della elaborazione di più informazioni eterogenee per provenienza e distribuzione tendenti ad una ricostruzione generale delle quote piezometriche dell'acquifero profondo.

Da quanto sopra detto, si capisce facilmente che sia la carta del tetto del potenziale serbatoio, che le carte delle temperature e quelle delle isopieze hanno grossi limiti di precisione soprattutto in riferimento a situazioni particolari e di dettaglio.

Tali carte tuttavia, avendo lo scopo principale di offrire un quadro d'insieme, uno schema di massima del tipo strutturale geoidrologico e termico di una regione geotermica di particolare interesse quali sono la Toscana e il Lazio, possono essere molto utili come strumento di indirizzo generale nella programmazione e nello sviluppo delle ricerche.

Sono naturalmente suscettibili di ulteriore affinamento mano a mano che verranno acquisiti nuovi dati strutturali, termici ed idrologici.

### 3. Cenni sull'assetto geologico e geoidrologico della zona esaminata

Dagli obiettivi di questa nota esula quello di fornire un quadro geologico dettagliato sia da un punto di vista stratigrafico che da quello dell'evoluzione paleogeografica e strutturale della zona in esame.

Non si ritiene opportuno inoltre di affrontare in questa sede i problemi relativi all'area di provenienza ed alla messa in posto delle varie unità tettoniche, caratterizzate da un diverso grado di alloctonia, o di dilungarsi sulla natura e chimismo della coltre vulcanica che copre una parte dell'area studiata. Per tali problemi si rimanda ai numerosi lavori pubblicati in merito, riportati in bibliografia.

E' invece necessario dare un quadro delle successioni litostratigrafiche presenti nell'area, dei loro rapporti geometrici e dei loro principali caratteri litologici ed idrogeologici, elementi questi che hanno una notevole importanza dal punto di vista geotermico, in generale, e per la costruzione delle carte tematiche del tipo di quelle di cui si sta trattando in particolare.

In altri termini occorre stabilire, sulla base dell'assetto strutturale e dei caratteri litostratigrafici, quali formazioni o gruppi di formazioni costituiscano un potenziale serbatoio di interesse geotermico e quali invece ne rappresentano la copertura.

Seguendo i criteri di cui sopra e tralasciando i depositi alluvionali e detritici, antichi e recenti, le successioni stratigrafiche presenti in tutta l'area in esame, dall'alto verso il basso, possono essere schematizzate e raggruppate nel seguente modo:

- complesso vulcanico
- complesso sedimentario neogenico-quadernario
- complesso a forte alloctonia in facies di flysch
- unità prevalentemente carbonatiche (serie toscana metamorfica e non, se-

rie umbro-sabina, serie laziale-abruzzese)  
 - successioni epimetamorfiche e metamorfiche basali prevalentemente filladico-quarzitiche.

Le vulcaniti affiorano estesamente nel Lazio settentrionale e centrale e solo sporadicamente negli altri settori dell'area presa in considerazione (Toscana, Lazio meridionale e Campania settentrionale). Il loro spessore è variabile da pochi metri ad alcune centinaia di metri. Per quanto riguarda il chimismo i tipi rappresentati sono principalmente due: uno, il più largamente diffuso, alcalino-potassico interessa le aree vulsina, vicana, sabatina ed albana; l'altro, prevalentemente acido, comprende le vulcaniti di S. Vincenzo, Roccastrada, Monte Amiata, della Tolfa, dei Ceriti e dei Cimini. Le vulcaniti hanno talora assetto tabulare, talora cupoliforme (Monte Amiata, Cimino).

Per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche, le vulcaniti sono da considerarsi nel loro insieme come rocce permeabili, pertanto essendo presenti anche con spessori notevoli, come si è visto, a volte costituiscono corpi idrologici di notevole entità. Tuttavia essendo questi corpi idrologici generalmente superficiali, non arrivano mai ad acquisire un particolare interesse geotermico, almeno in riferimento all'alta entalpia.

Il complesso sedimentario neogenico quaternario affiora estesamente in corrispondenza dei bacini sedimentari recenti (graben dell'Elsa, di Siena-Radicofani, graben del Cecina, graben dell'Era) e nel Lazio. Oltre ad affiorare lungo i bordi dell'area studiata, è presente sotto le vulcaniti lungo tutto il settore orientale. Gli spessori delle formazioni neogeniche sono variabili, talora superano i 2000 m.

Tali formazioni sono costituite da argille, sabbie e conglomerati con larga prevalenza della facies argillosa. Pertanto, almeno nel suo insieme, si può parlare di complesso da poco permeabile ad impermeabile; solo localmente, dove prevalgono le facies sabbiosa o conglomeratica, può ospitare falde, generalmente modeste, sostanzialmente fredde od al più ipotermali.

I complessi a forte alloctonia (Liguridi e Sicilidi) affiorano in particolare nella Toscana marittima a Sud dell'Arno e nei Monti della Tolfa; sono altresì presenti, al di sotto delle vulcaniti e/o delle formazioni neogeniche, in gran parte del Lazio settentrionale e centrale. Il loro spessore varia da poche decine di metri ad oltre duemila metri.

Tralasciando il problema del numero delle unità tettoniche che costituisce tale complesso, è utile invece rilevare che esso è costituito da diverse formazioni fortemente eterogenee dal punto di vista litologico: da formazioni prevalentemente arenacee, si passa a formazioni argillitiche; ad altre argilloso-calcaree, ad altre ancora marnoso-calcaree. Sono pure presenti masse di dimensioni notevoli di rocce ofiolitiche, mediamente permeabili.

Data tale eterogeneità è difficile definire in modo univoco i caratteri di permeabilità delle suddette formazioni.

Tuttavia, poichè la componente argillosa e/o marnosa è quella prevalente o comunque quasi sempre presente, si può dire che il complesso Ligure o Sicilide nel suo insieme è da poco permeabile ad impermeabile e, ove presente, agisce generalmente da copertura.

Le unità toscane (metamorfiche e no) e quella umbro-sabina dal punto di vista litostratigrafico, in relazione agli scopi di questo lavoro, possono essere schematizzate nel modo seguente.

Alla base sono presenti formazioni terrigene debolmente metamorfiche (Trias medio-superiore), seguite verso l'alto da una formazione anidritico-dolomitica (Formazioni di Burano), talora trasformata in Calcare Cavernoso (Trias sup.) e da un gruppo di formazioni prevalentemente carbonatiche (Retico-Giurese sup.).

La successione si chiude con formazioni in facies di preflysch argillosi o di flysch arenacei (Scaglia toscana e umbra, Scisti a Fucoidi, Macigno) d'età compresa tra il Cretaceo inferiore e l'Oligocene-Miocene inferiore).

Dal punto di vista idrogeologico le formazioni terrigene basali

hanno una permeabilità relativamente bassa mentre il gruppo di formazioni triassico-giurassiche prevalentemente carbonatiche hanno permeabilità generalmente elevate di tipo secondario. Scarsa appare la permeabilità delle formazioni tipo Scaglia toscana ed umbra e Scisti a Fucoidi, relativamente più elevata quella del Macigno.

La successione laziale-abruzzese che affiora nel Lazio meridionale in corrispondenza della dorsale dei Volsci è d'età compresa tra il Trias superiore ed il Miocene inferiore-medio e prevalentemente carbonatica.

A seguito delle caratteristiche litostratigrafiche e dell'elevato grado di tettonizzazione dal quale è interessata, la successione laziale-abruzzese mostra quasi sempre, in massa, una elevata permeabilità secondaria.

Per quanto riguarda infine il basamento metamorfico paleozoico esso affiora unicamente in Toscana (Apuane, Monti Pisani, Jano-Monticciano, Monti Romani ed Argentario) ed almeno per la parte affiorante è da considerarsi poco permeabile. Nei sondaggi delle aree geotermiche sono state rinvenute, specialmente nel M. Amiata, zone permeabili produttive, poste in corrispondenza di orizzonti fratturati.

Anche gli affioramenti delle Unità toscana e umbro-sabina sono abbastanza sporadici e di limitata estensione, almeno in riferimento all'area in esame. I più importanti si trovano nella Toscana settentrionale (Apuane, Monti Pisani) ed in quella centro meridionale marittima; modesti affioramenti sono presenti inoltre, nel Lazio settentrionale.

Spesso queste unità sono incomplete, mancando dei termini superiori; quasi sempre mancano le formazioni terminali ed in particolare, per quanto concerne la serie toscana, manca l'arenaria tipo Macigno.

Tuttavia, nonostante la sporadicità e la limitata estensione degli affioramenti, i numerosi sondaggi finora perforati sia in Toscana che nel Lazio settentrionale e centro-occidentale hanno dimostrato che le unità toscana o umbro-sabina, sono presenti quasi ovunque in profondità al di sotto delle Liguridi o del complesso neogenico e/o vulcanico. Tali unità

sono presenti soprattutto con i loro termini prevalentemente carbonatici.

In sintesi si può dire che, sulla base della situazione geostrutturale e delle caratteristiche idrogeologiche prima descritte, relativamente alla Toscana e al Lazio, (come è stato anche ampiamente confermato dai pozzi realizzati) il complesso prevalentemente carbonatico delle unità pelagiche e neritiche, costituisca nel suo insieme il più importante serbatoio d'interesse geotermico, rappresentando così il principale obiettivo dell'esplorazione profonda.

Pertanto appare logico assimilare il tetto del potenziale serbatoio geotermico, nella zona presa in esame, all'orizzonte geologico più elevato del gruppo di formazioni, prevalentemente carbonatiche, di queste unità e nelle limitate aree in cui queste sono assenti, al complesso quarzítico-filladico triassico o al basamento regionale, in zone di riduzione tettonica delle formazioni mesozoiche.

#### 4. Carte del tetto del potenziale serbatoio

##### Toscana e Lazio settentrionale

In base ai criteri ed all'assetto geologico poc'anzi descritti, la carta del potenziale serbatoio rappresenta quindi un orizzonte geologico variabile tra il basamento metamorfico paleozoico e le formazioni del giurassico superiore di tipo prevalentemente carbonatico, appartenenti alle Unità Toscana e Umbro-Sabina.

Come si vede dalle carte, l'andamento del tetto dal potenziale "serbatoio" è estremamente complesso, tanto che risulterebbe difficile, e comunque di scarso interesse descriverlo in tutti i suoi dettagli.

Appare più opportuno, invece, un commento che tenga conto delle strutture più importanti e significative (oltre che della loro distribuzione areale) presenti nella fascia interessata dallo studio. La loro correlazione con le temperature permetterà poi di individuare le aree di maggior interesse geotermico.

Iniziando dal settore settentrionale, a Nord dell'Arno, la carta mette in evidenza la grande struttura positiva<sup>(\*)</sup> delle Alpi Apuane - Monti Pisani allungata in senso NW-SE in cui il potenziale serbatoio, in larga misura affiorante, è situato al di sopra del livello del mare.

Ad ovest essa è affiancata da una profonda depressione, parallela alla prima struttura e molto stretta, che nelle sue parti più profonde raggiunge quote dell'ordine dei -2400 m. In pratica tale depressione prosegue verso Sud fino all'altezza di Livorno.

A Sud-Est della struttura Alpi Apuane-Monti Pisani, a partire dall'altezza della linea Lucca-Montecatini, si rileva un'altra depressione, di importanza regionale (il graben dell'Elsa), allungata ancora in senso NW-SE.

Questa struttura negativa, le cui quote inferiori sembrano essere dell'ordine dei -2000 m s.l.m., superata una soglia trasversale situata nella zona di Siena-Colle Val d'Elsa, continua nel graben di Siena e quindi in quello di Radicofani, questi ultimi interrotti ad Est della dorsale Trequanda-Cetona.

Da qui poi si prolunga senza soluzioni di continuità lungo una direttrice situata immediatamente ad Est della congiungente Bolsena-Vico Bracciano fino almeno a Roma, con quote di base che giungerebbero ai -2400 m s.l.m..

Questa depressione ( o questo allineamento di depressioni) costituisce senz'altro uno degli elementi strutturali più importanti messi in luce dalla carta.

Una struttura depressa di minor importanza è quella che separa i monti livornesi dalla piccola dorsale Casciana Terme-Orciatico e si prolunga in mare a Nord del promontorio di Piombino. Nella stessa zona

---

<sup>(\*)</sup> Occorre appena rilevare che quando si parlerà di struttura positiva o negativa queste sono evidentemente riferite al livello del potenziale serbatoio.

Questa struttura viene "incrociata" da un'altra analoga che è allungata (l'unica) in senso E-W: il graben del Cecina; ambedue queste depressioni avrebbero quote di base analoghe ( -2000 m s.l.m.).

L'estremità orientale di quest'ultima fossa va a innestarsi in un'altra struttura negativa allungata mediamente in senso NW-SE, il graben dell'Era-Radicondoli che prosegue fino all'altezza di Monticiano (quote più profonde -2000 -2400 m s.l.m.). Quest'ultimo "graben" è fiancheggiato ad Est dalla importante struttura positiva, ad andamento arcuato con la convessità rivolta verso E, che da Jano (Volterra) prosegue fino ai Monti Leoni (Grosseto). Anche in questo caso, come per le Apuane ed i Monti Pisani, in generale il potenziale serbatoio qui considerato affiora o è situato a quote superiori al livello del mare; occorre notare inoltre che lungo questa struttura esso è rappresentato principalmente dai terreni filladico-quarzitici triassico-paleozoici.

Il tetto del potenziale serbatoio nella zona compresa tra queste ultime strutture (il graben Era-Radicondoli ad Est, il mare ad Ovest, il Cecina a Nord e l'Ombrone a Sud), presenta una morfologia molto frastagliata in un panorama medio di quote piuttosto elevate rispetto alle aree circostanti. Vale la pena sottolineare il fatto che questa zona coincide non solo con quella di maggior interesse geotermico della Toscana (Lardarello-Travale), ma anche con le aree mineralizzate più importanti di questa regione, in particolare, e dell'Italia centrale in generale (Massa Marittima-Boccheggiano Gavorrano).

Andamento piuttosto mosso ed irregolare ha il tetto del potenziale serbatoio anche nella zona compresa tra l'Argentario ad Ovest e Radicofani ad Est, l'Ombrone a Nord e Tuscania a Sud, con quote mediamente più basse sia in corrispondenza della Valle dell'Ombrone che nel settore sud-occidentale (Tuscania-Tarquinia).

L'elemento meglio delineato di questa zona è un alto relativo che a partire dalla zona di Bagnore prosegue per Castell'Azzarra e Latera fino a Canino, con andamento prima all'incirca NO-SE, poi con andamento NS e poi NE-SO.

Altre due strutture positive del tetto del potenziale serbatoio (in alcuni casi prossime alla superficie, ma mai affioranti) sono situati ad Ovest della congiungente il Lago di Vico-Bracciano; si tratta di quella costituente i monti della Tolfa, il cui prolungamento sembra interessare il mare antistante Civitavecchia, e di quella del Bagnaccio (ad Ovest di Viterbo), bruscamente troncata all'altezza del Lago di Bracciano.

Da qui sembra iniziare una importante depressione con le quote più profonde dell'ordine dei -2800 m (s.l.m.) che si prolunga verso Sud almeno fino all'altezza di Roma e che interessa tutto il settore ad Ovest di questa città.

Ad Est chiude la carta la lunga dorsale dei monti di Amelia-Monti Sabini, dove il potenziale serbatoio affiora estesamente e poco più ad Ovest, la sottile (e a quest'ultima parallela) struttura positiva di Orte-Monte Soratte.

Per chiudere il commento a questa carta due considerazioni di carattere generale

- la carta mette in evidenza una batimetria del tetto del potenziale serbatoio geotermico molto movimentata talora caratterizzata da dislivelli elevati (dell'ordine dei 2000 m) corrispondenti ai bordi nelle strutture positive e di quelle negative, testimonianze di una tettonica distensiva di notevole rilievo.
- La maggior parte delle strutture più importanti (positive o negative) hanno direzione appenninica o NS.

#### Lazio sud-occidentale

La carta del tetto del potenziale serbatoio geotermico del Lazio sud-occidentale presenta, per i motivi già esposti, un dettaglio inferiore ed una minore attendibilità quantitativa rispetto alla carta del Lazio settentrionale. Infatti poche sono le perforazioni effettuate per scopi vari, che raggiungono il serbatoio carbonatico. Scarse anche sono le aree dove sono state eseguite prospezioni geofisiche tali da interessare la

profondità alle quali giace il potenziale serbatoio.

Solamente i dati di anomalie di gravità coprono, con dettaglio più o meno spinto, tutta la regione indagata. Alcune prospezioni geoelettriche e qualche profilo sismico effettuato nella pianura pontina e Valle Latina sono stati utilizzati come base di riferimento per l'interpretazione quantitativa in termini di profondità, dei dati gravimetrici.

I calcari cenomesozoici affiorano per largo tratto nella parte orientale in corrispondenza delle strutture dei Monti Simbruini, Ernici e di M. Cairo. Ampi affioramenti sono inoltre costituiti dalle strutture dei Monti Lepini, Ausoni e Aurunci che separano le depressioni della Valle Latina e della Pianura Pontina.

Questo panorama generale è in dettaglio molto movimentato nelle aree dove il potenziale serbatoio geotermico giace a varie profondità, coperto da una coltre più o meno potente di sedimenti in prevalenza clastici, nell'insieme impermeabili, che costituiscono la roccia di copertura. Le isobate delle formazioni carbonatiche mostrano una serie di culminazioni e depressioni chiuse anche molto pronunziate limitate in generale da rapidi infossamenti che fanno pensare a dislocazioni tettoniche con rigetti notevoli.

In particolare notiamo una piccola area di alto strutturale con una culminazione di m -1600 in corrispondenza del nuovo quartiere di Spinaceto a Sud di Roma, questa struttura sembra essere il proseguimento meridionale della struttura di Tragliata ed è allungata in direzione NW-SE. Procedendo verso Est, separata da una depressione che non dovrebbe superare i -2000 m troviamo una marcata area sollevata situata a SE di Roma in corrispondenza di Ciampino. La struttura allungata in direzione appenninica rappresenta una delle culminazioni del grande asse positivo, che dall'area di Cesano, e prosegue per Tor di Quinto e quindi per Ciampino.

La zona di massima culminazione presenta una profondità dell'ordine di 1000 m. I valori e l'andamento delle isobate in quest'area sono stati dedotti unicamente da modelli gravimetrici. Proseguendo verso Est

le isobate dopo una zona depressionaria di oltre -1400 m risalgono bruscamente fino agli affioramenti calcarei dei Monti Prenestini.

Procedendo verso Sud le aree in cui il serbatoio potenziale è sepolto sono rappresentate dalla Pianura Pontina e dalla Valle Latina.

La Pianura Pontina presenta alcune strutture sollevate di notevole interesse.

- 1) Una struttura positiva in località le Solforate. Essa giace ad una profondità minima di -1400 m e si presenta allungata in direzione trasversale alle strutture appenniniche. In superficie è evidenziata da alcune manifestazioni gassose e da mineralizzazioni a zolfo.
- 2) Struttura di Tor Caldara-Lavinio. E' la più ampia delle strutture sepolte positive del Lazio meridionale. Presenta un asse strutturale con direzione N-S. La profondità minima è dell'ordine di 1000 m o meno. Oltre ai dati di gravimetria essa è documentata da una perforazione Agip (Pozzo Latina 2) da evidenze geologiche (affioramenti di terreni del Pliocene inferiore in zone coperte da sedimenti in massima parte Quaternari) e da manifestazioni idrotermali.
- 3) Alto di Fogliano. Si tratta di una piccola struttura subcircolare con un diametro di 4 km che giace ad una profondità minima di 1000 m. L'esistenza di questa struttura è documentata oltre che da dati geofisici anche da due perforazioni (Pozzi Fogliano 1 e 2). Infine a Sud dell'alto del serbatoio (-600 m, presso Sabaudia) l'andamento delle isobate tende a deprimersi sotto gli affioramenti carbonatici del Monte Circeo, a causa del sovrascorrimento verso NE di quest'ultimo.

La Valle Latina si presenta in generale come un'area strutturalmente depressa sviluppata in direzione appenninica.

La profondità media del serbatoio è di circa -1200 m s.l.m. con punte che superano i -2000 m. L'area più interessante risulta essere la culminazione del grande asse negativo che segue tutta la struttura. Essa è situata a 5 km a NW del Pozzo Aquino e giace alla profondità di circa

1000-1200 m. Un'altra piccola struttura a Sud di Frosinone giacente a -400 m s.l.m. è sede del centro petrolifero di Ripi.

La zona sud-orientale della carta è caratterizzata dal Graben del Garigliano che tronca tutte le strutture affioranti e si presenta come una depressione con direzione antiappenninica con profondità superiori ai 2000 m.

## 5. Carta geoidrologica

### Toscana e Lazio settentrionale

Le conoscenze geologiche e strutturali integrate con dati geoidrologici derivati dalle perforazioni profonde, dalle quote di emergenza delle manifestazioni idrotermali principali attuali e fossili (travertini), hanno permesso di elaborare un modello geoidrologico della Toscana occidentale e del Lazio settentrionale.

In queste aree sono stati individuati i principali complessi geoidrologici e lo schema che ne deriva può essere così sintetizzato:

- a - complesso di copertura: è costituito da formazioni terrigene del Miocene superiore-Pliocene e da formazioni in facies di flysch cretaceo-eoceniche. A questo complesso nella carta geoidrologica è stata associata la formazione arenacea del "macigno" (Oligocene), mediamente permeabile, data la scarsa rilevanza che presenta in quest'area ai fini della circolazione profonda.
- b - serbatoio principale: costituito da formazioni prevalentemente carbonatiche ed evaporitiche mesozoiche; dove affiora costituisce zone di ricarica del serbatoio sepolto.
- c - complesso di base: scarsamente permeabile, costituito da formazioni prevalentemente filladico-quarzitiche triassiche e paleozoiche appartenenti o al basamento regionale o ad unità tettoniche comprese tra questo e le soprastanti unità. La permeabilità è legata essenzialmente alle zone più intensamente tettonizzate.

Nella carta sono pure rappresentati i graniti neogenici, affioranti principalmente nell'arcipelago toscano, che, presentando scarsa permeabilità d'insieme, sono associabili, anche da un punto di vista strutturale, al complesso geoidrologico di base.

Per motivi di semplificazione e per rendere di più facile lettura la carta, non sono state distinte le vulcaniti che affiorano estesamente nella Toscana meridionale e nel Lazio settentrionale. Le vulcaniti sono generalmente permeabili e sedi di importanti falde freatiche talvolta connesse con il serbatoio profondo tramite le strutture vulcaniche che attraversano i complessi di copertura.

Nella regione esaminata è stato pure eseguito un primo tentativo di sintetizzare i dati di piezometria esistenti per avere un quadro, il più completo possibile, della situazione geoidrologica profonda. I dati utilizzati sono:

- misure del livello d'acqua nei pozzi profondi che hanno raggiunto orizzonti permeabili del serbatoio principale;
- quote delle sorgenti termali emergenti dall'acquifero profondo;
- livelli misurati in miniera;
- quote di affioramento dei travertini.

Nella carta sono indicati i dati utilizzati e da questo si può ricavare quali siano le zone dove la ricostruzione dell'assetto strutturale piezometrico sia più affidabile.

L'andamento delle isopieze mette in evidenza le aree di ricarica dell'acquifero profondo, poste in corrispondenza degli affioramenti delle rocce carbonatiche mesozoiche (ai quali corrispondono i più pronunciati alti piezometrici) o delle formazioni quarzítico-filladiche triassico-paleozoiche. Alti piezometrici sono pure localizzati in corrispondenza delle vulcaniti connesse all'acquifero profondo. I bassi piezometrici corrispondono invece ai "graben" e ai campi geotermici di Larderello e Travale. In quest'ultimo caso i livelli d'acqua misurati nei pozzi non

produttivi, ai margini dei campi in sfruttamento, sono molto al di sotto del livello mare.

Analizzando nel dettaglio l'andamento della carta si possono distinguere diverse aree con caratteristiche d'insieme abbastanza omogenee; partendo dalla parte più settentrionale si ha:

- Zona a Nord dell'Arno.

E' caratterizzata da una struttura piezometrica positiva intersecata da un minimo relativo ad andamento NO-SE, corrispondente al graben del Serchio, che separa la circolazione appenninica ad Est da quella legata al complesso apuano ad Ovest. Procedendo verso Sud le quote piezometriche tendono a diminuire, verso la valle dell'Arno, con una limitata area di livelli più elevati ipotizzata in corrispondenza del nucleo del M. Pisano.

- Zona tra le valli dell'Arno e dell'Ombrone.

E' caratterizzata da alti piezometrici allungati secondo la direttrice appenninica (NO-SE) corrispondenti alle principali strutture positive (talora anche affioranti) del serbatoio principale e del complesso di base, separati da minimi relativi in zone caratterizzate da strutture ribassate del serbatoio. In particolare ai margini del graben dell'Era si hanno due zone di alto piezometrico: a quella occidentale, di limitata estensione, è legato il sistema idrotermale di Casciana Terme; a quella orientale è legato il sistema di Iano-Mommialla con manifestazioni idrotermali e di gas.

Questa struttura piezometrica prosegue verso Sud ricollegandosi al sistema della catena metallifera toscana. Questo sistema risulta estremamente articolato in quanto l'assetto naturale, già di per sé complesso, è stato modificato in maniera considerevole dallo sfruttamento intensivo dei campi geotermici. In corrispondenza delle aree più interne dei campi la fase vapore è quella dominante fino a notevoli profondità e la pressione di strato è condizionata in modo considerevole dalla produzione. Nelle zone periferiche i livelli d'acqua si mantengono a quote molto inferiori al livello mare delineando nell'insieme grosse depressio-

ni piezometriche. Queste si estendono su vaste aree intorno ai campi andando ad interessare i bassi strutturali del graben dell'Era, fino perlomeno all'altezza di Orciatico-Volterra, e il graben di Radicondoli, immediatamente ad Est-Nord-Est del campo di Travale.

In quest'ultimo caso la situazione di basso piezometrico sembra essere preesistente allo sfruttamento industriale in quanto i primi pozzi perforati ai margini del campo, nella zona del "goben" di Radicondoli, dopo pochi anni dall'inizio della produzione, avevano livelli a quote di oltre 700 m sotto il livello mare. Questa situazione, che è ancora oggetto di ricerca per una completa comprensione della fenomenologia, sembra essere legata ai sistemi geotermici la cui evoluzione ha consentito la presenza di vapore come fase dominante nel serbatoio.

- Zona tra le valli dell'Ombrone e del Tevere.

La complessa struttura idrogeologica delle colline metallifere è interrotta verso Sud dalla depressione piezometrica corrispondente alla valle dell'Ombrone. A Sud di questa si ha la struttura piezometrica positiva del massiccio vulcanico del M. Amiata connessa ad Est con quella del M. Cetona. Sul margine meridionale del M. Amiata sono localizzati i campi di Bagnore e Piacastagnaio che non sembrano corrispondere a grosse depressioni piezometriche. Ciò può essere legato al fatto che, perlomeno nei livelli più alti del serbatoio, la fase dominante sia ancora acqua liquida e che questi livelli, specialmente a Bagnore, abbiano una buona connessione con gli acquiferi circostanti. Non si esclude la possibilità che l'acquifero sia attraversato da canali a più alta permeabilità attraverso cui risale vapore secco da zone profonde.

L'alto piezometrico centrato sull'Amiata si sviluppa poi verso Sud-Sud Est in una grossa struttura positiva i cui massimi sono localizzati in corrispondenza del nucleo carbonatico mesozoico di Castellazzara, dell'area di Viterbo-Vico, degradando a Sud verso la Valle del Tevere. Massimi relativi sono presenti in corrispondenza delle strutture vulcaniche dei Monti della Tolfa.

La grande struttura ora descritta è limitata verso Est dalla depressione piezometrica corrispondente al graben Paglia-Tevere che divide il dominio idrogeologico delle aree vulcaniche preappenniniche da quello appenninico, collegato alle estese aree di ricarica costituite dagli affioramenti carbonatici della dorsale Monti di Amelia-Monti Sabini.

#### Lazio sud-occidentale

L'area in esame è caratterizzata da quattro sistemi idrogeologici principali (sistema dei Volsci, sistema dei M.ti Simbruini-Ernici-M.te Cairo-M.te Camino, sistema delle Mainarde-M.te Cesima pp., sistema dei M.ti Sabini meridionali pp.) e da alcune unità minori (unità di M.te Maio, unità di M.te Massico), sede di un'imponente circolazione carsica sotterranea che si manifesta nelle numerose emergenze allineate ai limiti delle aree di infiltrazione dei sistemi e delle unità, con portate sempre notevoli e che nel F. Gari, presso Cassino, raggiungono in media  $18 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Solamente il sistema dei Volsci ricade interamente nell'area rappresentata, con un'area di infiltrazione di circa  $1530 \text{ km}^2$  ed una portata media delle emergenze di circa  $32 \text{ m}^3/\text{s}$ , se si escludono le possibili perdite del sistema verso mare.

Oltre ai sistemi idrogeologici di tipo carsico, citati, l'area in esame è caratterizzata da estesi affioramenti di vulcaniti riferibili agli edifici del Vulcano laziale e di Roccamonfina. L'eterogeneità delle vulcaniti (e quindi delle loro caratteristiche fisiche) e le frequenti eteropie verticali e laterali, determinatesi nel corso degli eventi temporali dell'attività magmatica dei centri eruttivi in esame, condizionano e complicano le modalità di circolazione sotterranea in tali depositi. Nelle grandi linee la circolazione sotterranea risente in generale della situazione orografica e morfologica dei due complessi che presentano un drenaggio delle acque sotterranee circa radiale, alimentando lateralmente (soprattutto nel Vulcano laziale) il reticolo idrografico alla periferia dei complessi senza apprezzabili perdite verso gli acquiferi della serie carbonatica sepolta.

La circolazione delle acque sotterranee nei sistemi carsici rappresentati, schematizzata dall'andamento delle curve isopieze, ha luogo preferenzialmente verso la valle del F. Tevere (sistema dei M.ti Sabini meridionali), verso la Pianura Pontina e la fascia costiera (sistema dei Volsci) e verso la valle Latina (sistema dei M.ti Simbruini-Ernici-M.te Cairo-M.te Camino, unità di M.te Maio).

La distribuzione delle curve isopieze mette in evidenza come il gradiente idraulico delle falde di base sia molto diverso in valore assoluto; nei sistemi della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese, intensamente fessurati e carsificati, il gradiente idraulico medio si mantiene intorno al 5‰, mentre nei sistemi della serie di transizione "sabina" e nel substrato dolomitico affiorante (sistema della Mainarde-M.te Cesima) il gradiente risulta decisamente più alto, con valori indicativamente del 10‰.

Nella carta idrogeologica vengono riportate, inoltre, con bande alterne di colorazione, la continuazione nel sottosuolo dei differenti tipi di facies carbonatiche, sepolte dai depositi prevalentemente terrigeni, di età plio-quadernaria. Anche se con larga approssimazione, si rileva come la serie di transizione "sabina", ampiamente affiorante ad Est di Roma, si continui in profondità nell'area di Vulcano laziale e nel settore sud-occidentale della pianura Pontina, come risulta da studi condotti da Funiciello & Parotto (1979) e dai sondaggi AGIP-Latina 1 e 2, Fogliano, Colle La Guardia e Vitalia, presso Terracina.

## 6. Carta delle temperature al tetto del potenziale serbatoio

### Toscana e Lazio settentrionale

La temperatura al tetto del potenziale serbatoio è controllata da diversi fattori i più importanti dei quali sembrano i seguenti:

- la distribuzione delle anomalie geotermiche profonde dalle quali dipende la quantità di calore che proviene dal basso sotto forma di condu-

- zione e/o di convezione;
- la permeabilità del potenziale serbatoio;
  - la sua profondità;
  - lo spessore ed il tipo della copertura.

La temperatura al tetto del potenziale serbatoio è la risultante dell'azione di tutti questi fattori e da ciò discende la difficoltà di ricostruirne l'andamento in dettaglio se non in presenza di una notevole quantità di dati e di una loro distribuzione omogenea. Tuttavia l'esperienza dimostra che se non è possibile raggiungere una grande precisione, tuttavia il panorama di insieme, che si può ottenere elaborando opportunamente (secondo i criteri descritti all'inizio) i dati disponibili, è affidabile e consente di dare utili indirizzi alla ricerca esplorativa profonda.

Il "panorama termico" al tetto del potenziale "serbatoio" che, nella zona presa in considerazione, emerge dall'elaborazione effettuata, non solo appare congruo con la situazione strutturale, geodinamica e idrogeologica di questa, ma fornisce indicazioni di notevole interesse.

A nord dell'Arno si delineano chiaramente due grandi zone "fredde" con temperature inferiori a  $50^{\circ}\text{C}$ , corrispondenti agli estesi affioramenti del potenziale "serbatoio" apuano ed appenninico. Nelle aree interposte fra gli affioramenti, dove cioè questo è sepolto, sono prevedibili temperature massime dell'ordine dei  $100^{\circ}\text{C}$ . Si può pertanto concludere che tutto il settore a Nord dell'Arno sia nel suo insieme un settore che a livello del tetto del potenziale "serbatoio", sembra non essere affetto da particolari "anomalie geotermiche" pur presentando un certo interesse pratico specialmente lungo la fase di risalita dei circuiti idrotermali poste ai margini del graben del Serchio. Il panorama cambia in modo netto a Sud dell'Arno, dove quasi tutta l'ampia zona compresa tra la struttura arcuata di Jano-Monticiano-Monti Leoni ed il mare presenta al tetto del serbatoio temperature superiori a  $100^{\circ}\text{C}$ . Le temperature in corrispondenza dei ben noti campi geotermici di Larderello e Travale raggiungono valori

superiori ai 250°C; altre aree, quali quella di Saline, in cui il "serbatoio" è mediamente più profondo (vedi carta delle isobate del tetto) mostrano temperature dell'ordine dei 200°C e più.

In questa parte della Toscana temperature inferiori (tra 50 e 100°C) si hanno in corrispondenza della fascia costiera tra Piombino e Grosseto, dove sporadici affioramenti del potenziale "serbatoio" sono pure presenti o comunque quest'ultimo è sub-affiorante e non efficacemente coperto.

Tra la struttura "fredda" di Jano-Monticiano-Monti Leoni, la struttura positiva Trequanda-M. Cetona, pure "fredda", ed il Monte Amiata si interpone con andamento all'incirca N-S, un'area caratterizzata presumibilmente da temperature relativamente elevate con punte anche dell'ordine dei 150°C. Essa corrisponde al graben di Siena in cui, altrettanto presumibilmente, il tetto del potenziale "serbatoio" si trova a quote abbastanza profonde (mediamente al di sotto di 1000 m).

A partire dall'Amiata, verso Sud, per arrivare fino all'altezza di Roma il panorama termico è caratterizzato da due elementi principali: una lunga fascia fredda situata lungo il bordo orientale della carta con temperature inferiori a 50°C. Tale zona corrisponde ad una lunga dorsale in cui il potenziale "serbatoio" è in affioramento.

Di maggiore interesse risulta invece l'altro elemento contiguo (ad Ovest) e parallelo al precedente; si tratta di una lunga fascia (ampia un decina di chilometri e lunga circa 100 km) interessata, praticamente senza soluzione di continuità, da un'"anomalia termica positiva" che si estende lungo la congiungente Monte Amiata-Lago di Bolsena-Lago di Vico-Lago di Bracciano. In linea di massima tutta questa fascia presenta temperature non inferiori ai 150°C al tetto del potenziale "serbatoio".

All'interno di essa aree con punte più elevate (fino a 250°C) coincidono con i "baricentri" del vulcanismo quaternario che ha interessato la Toscana meridionale ed il Lazio settentrionale: il Monte Amiata, i vulcani Vulsini, i vulcani Vico-Cimini, i vulcani Sabatini.

L'area situata tra la fascia suddetta ed il mare, in armonia con la situazione strutturale, è caratterizzata da un "panorama termico" piuttosto variabile, con temperature che oscillano tra valori di 50°C e 150°C.

Le temperature in questo settore sembrano risentire della variabilità da zona a zona in termini di spessore ed efficacia della copertura impermeabile e/o del locale effetto di raffreddamento provocato, in certi punti, dalla verosimile comunicazione idraulica esistente tra "serbatoio" sepolto e la superficie, attraverso le strutture vulcaniche permeabili.

Nella parte meridionale dell'area considerata (a Sud del Monte Amiata) occorre rilevare infine un altro elemento di interesse. La fascia ad anomalia positiva passa verso Ovest a temperature più basse in modo "sfumato" anche se "irregolare"; viceversa verso Est passa a temperature più basse in modo più netto e con gradiente elevato.

Ciò potrebbe indicare sia il fatto che le due zone ad Ovest ed a Est della fascia di più intensa anomalia, sono caratterizzate da diverse situazioni geostrutturali, come indicherebbe la carta del tetto, sia che siamo in presenza di due situazioni "termiche profonde" diverse. La brusca caduta delle temperature ad Est potrebbe essere imputabile cioè, oltre ad una poco favorevole situazione idrogeologica (infiltrazione di acque meteoriche attraverso gli estesi affioramenti carbonatici), anche ad una forte attenuazione della sorgente energetica profonda.

In conclusione nel suo insieme la carta delle temperature al tetto del potenziale serbatoio mette in evidenza cose molto importanti. La prima è che la Toscana meridionale ed il Lazio settentrionale sono caratterizzate dalla presenza di aree ad anomalia geotermica positiva notevolmente estese. La seconda è che i "picchi" di tali anomalie corrispondono a zone dove presumibilmente si sono verificati in epoca recente fenomeni di messa in posto di stock magmatici (come i molti elementi diretti od indiretti consentono di affermare per la Toscana centrale) od a zone nelle quali si sono sicuramente sviluppati fenomeni vulcanici recenti di notevole intensità e durata (Toscana meridionale e Lazio

settentrionale).

#### Lazio sud-occidentale

Il clima geotermico del "serbatoio" sepolto nel settore della regione posto a Sud-Ovest di Roma è stato desunto, anche se con larga approssimazione, sulla base delle temperature delle manifestazioni idrotermali esistenti, delle perforazioni profonde (che d'altra parte non raggiungono quasi mai il tetto del "serbatoio") e dei geotermometri chimici applicati ad alcune delle più significative emergenze riferibili al ciclo idrotermale.

Come è noto, la disponibilità di calore nel sottosuolo è regolata, nella generalità dei casi, dalla interferenza di due processi che si manifestano producendo nelle masse rocciose effetti fisici opposti; da una parte l'attività vulcanica, come riflesso della evoluzione geostrutturale della regione, dall'altra la circolazione delle acque sotterranee nei sistemi carsici sepolti, collegati ad estese aree di infiltrazione, affioranti, che costituiscono sotto l'aspetto geotermico delle zone notoriamente fredde.

L'attività vulcanica, sviluppatasi estesamente nel Pliocene-Quaternario, ha interessato soprattutto la fascia costiera dell'area in esame oltre che la Valle Latina, delimitata dalle catene montuose dei Volsci, a Sud-Ovest, e dei Simbruini-Ernici, ed in minor misura l'interno delle citate dorsali appenniniche.

La circolazione delle acque sotterranee interessa soprattutto i sistemi carsici in affioramento (v. Carta idrogeologica) e la loro prosecuzione verso Sud-Ovest, al di sotto dei depositi di copertura neogenici, di spessore variabile.

I dati diretti di temperatura disponibili sono pochi, desumibili da cinque pozzi profondi distribuiti non omogeneamente nella fascia costiera laziale (pozzi Tragliata, Roma 1, Latina 1-2, Fogliano 1-2). Di altri pozzi profondi, perforati nella Valle Latina e nella Valle del

basso Garigliano, non si hanno purtroppo dati termici.

La carta delle temperature proposta, benchè indicativa e largamente incompleta, fornisce l'andamento delle isoterme al tetto del "serbatoio" sepolto, variamente dislocato ed ubicato mediamente alla profondità di circa 2000 m. Le isoterme riferibili ai dati dei geotermometri chimici e a gas, indicano bassi valori di temperatura nel "reservoir" della Valle Latina e valori di temperatura progressivamente crescenti verso mare, nella fascia costiera laziale, via via che ci si allontana dai maggiori sistemi idrogeologici carsici della regione.

Sulla base dei dati disponibili si ritiene che le aree maggiormente indiziate, per il rinvenimento di fluidi perlomeno a medio bassa entalpia, siano: l'area albana, la fascia costiera compresa fra il F. Tevere ed il Circeo, l'area di Roccamonfina e la bassa Valle del F. Garigliano.

#### 7. Temperature nel serbatoio calcolate con i geotermometri

Uno degli obiettivi principali delle ricerche geochimiche condotte è stato quello di valutare le temperature dei serbatoi termali attraverso l'applicazione dei cosiddetti geotermometri chimici.

I geotermometri basati sulla composizione chimica delle acque delle manifestazioni naturali forniscono valutazioni di temperature che non sempre sono in accordo con quelle ottenute dai geotermometri basati sulla composizione delle miscele gassose e con quelle ottenute per misure dirette o da misure di flusso di calore.

Al momento, infatti, non sembra ragionevole l'applicazione su scala generale dei geotermometri basati sulla composizione chimica delle acque. Il loro uso dipende largamente dalle variazioni litologiche delle rocce serbatoio, e da frequenti fenomeni di mescolamento tra le acque termali e quelle fredde.

In particolare, i geotermometri basati sui rapporti Na-K-Ca e Na/Li possono essere utilizzati con successo per le acque di tipo Na-Cl;

insieme al geotermometro basato sulla concentrazione di silice disciolta, questi forniscono temperature attendibili solo nel caso di serbatoi quarzoso-filladici, dopo accurate correzioni dovute ai fenomeni di mescolamento.

Il geotermometro Na-K-Ca non può essere usato per acque provenienti da serbatoi carbonatici e/o anidritici, ed il geotermometro  $\text{SiO}_2$  fornisce di solito la temperatura minima del serbatoio geotermico. Per questo tipo di serbatoi l'indice di disequilibrio della fluorite non è stato sufficientemente utilizzato e, al momento attuale, il geotermometro basato sullo scambio isotopico della coppia  $\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$  sembra dare valori corretti quando le temperature superano i 100-150°C. Sfortunatamente esistono ancora pochi dati relativi all'utilizzazione di quest'ultimo geotermometro.

In aree a copertura vulcanica l'equilibrio tra sanidino e Na-mormonillonite sembra dare buoni risultati, mentre i geotermometri Na-K-Ca e  $\text{SiO}_2$  danno valori non attendibili in quanto questi componenti derivano da processi irreversibili di alterazione dei vetri vulcanici alcalino-potassici.

A causa della disomogeneità e discordanza tra i valori di temperatura derivati dai geotermometri chimici relativi alle acque, è stato deciso di utilizzare, per la valutazione delle temperature nel serbatoio, la geotermometria derivante dallo studio delle miscele gassose. La scelta è stata suggerita essenzialmente dal fatto che nella zona erano disponibili dati relativi a 130 punti campione e che nella stessa, più che in ogni altra regione italiana, erano disponibili dati diretti e indiretti di temperature profonde.

La metodologia del geotermometro a gas viene descritta in dettaglio nel volume "Contributo alla conoscenza delle risorse geotermiche del territorio italiano", CNR, PFE, PEG, Roma 1982.

L'equazione generale è:

$$T^{\circ}\text{C} = \frac{24775}{36.05 + \alpha + \beta} - 273 (+ 15^{\circ}\text{C})$$

dove:

$$\alpha = -3 \log \text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2 - 6 \log \text{H}_2/\text{CO}_2 + 2 \log \text{CH}_4/\text{CO}_2$$

$\beta = -7 \log P_{\text{CO}_2}$  è un appropriato parametro aggiustabile legato al valore della pressione<sup>2</sup> di  $\text{CO}_2$  nel serbatoio.

L'esame della mappa delle distribuzioni delle temperature calcolate porta alle seguenti considerazioni.

- Le emergenze delle manifestazioni di gas sono controllate dall'assetto strutturale locale. Quindi una determinata emergenza può non essere rappresentativa di una manifestazione di fuga localizzata direttamente sulla sua verticale. Di conseguenza la temperatura calcolata può riferirsi in modo indicativo ad una zona di serbatoio che può essere relativamente vasta. Per esempio le temperature calcolate per manifestazioni localizzate su fratture ai limiti dei graben possono indicare stati termici di serbatoi localizzati nelle zone centrali e più profonde del graben stesso.
- Le temperature calcolate si limitano a dare informazioni sullo stato termico delle parti più alte del serbatoio. I valori calcolati dovrebbero quindi essere i minimi possibili relativi a una certa zona.
- Quando numerose manifestazioni sono campionabili nella stessa zona si è adottato il sistema di considerare come indicativa del serbatoio la temperatura massima calcolata. Infatti locali fenomeni di mixing, soprattutto in prossimità di locali aree di ricarica possono alterare in maniera sensibile la composizione del gas relativa al serbatoio più profondo.
- La zona rappresentata nelle carte è limitata alla fascia preappenninica tirrenica compresa tra l'Arno e il Tevere (carta della Toscana-Lazio settentrionale). Per la carta del Lazio sud-occidentale le valutazioni

termiche sono comprese tra il Tevere e la zona di Roccamonfina.

- Per quel che riguarda la zona tra l'Arno e il Tevere sono state individuate numerose anomalie termiche (temperatura calcolata maggiore di  $150^{\circ}\text{C}$ ) allineate in direzione appenninica con i massimi centrati alcune in zone a ben nota anomalia termica ed altre al di fuori di esse. Esse sono così distribuite:
  - a) Zona di Larderello-Travale estensibile a nord fino all'area di Orciatto-Montecatini V.C.-Volterra, e ad est ad una vasta area comprensiva del graben di Siena e di parte della struttura Monticiano-Roccamonfina.
  - b) Zona del Monte Amiata.
  - c) Zona di Latera-Bolsena.
  - d) Una piccola anomalia nell'area di Toscana.
  - e) Zona del Lago di Bracciano che estende l'area di interesse all'esterno della ben nota anomalia di Cesano.
- Va considerato che i massimi di anomalia sono circondati, sempre in una fascia in direzione appenninica, da aree caratterizzate da temperature comprese tra  $75$  e  $150^{\circ}\text{C}$ .
- Nella zona del Lazio sud-occidentale è stata individuata una forte anomalia termica (temperature superiori a  $150^{\circ}\text{C}$ ) tra Anzio e Roma lungo la fascia costiera, con temperature decrescenti da ovest verso est. Una possibile anomalia sembra essere legata alla struttura vulcanica di Roccamonfina.
- Dal confronto tra le temperature calcolate col gas-geotermometro e quelle stimate con metodi geofisici o direttamente misurate in pozzi profondi, si nota un notevole accordo. Questo permette di considerare la metodologia chimica, estremamente poco costosa, di notevole utilità per integrare le informazioni termiche ricavate con le tecniche di prospezione geofisica.

## 8. Conclusioni

L'insieme delle informazioni di tipo strutturale, fornite dalle carte del tetto del potenziale serbatoio, di tipo termico, fornite dalle carte delle temperature previste in corrispondenza di questo orizzonte geologico e di tipo idrologico, fornite dalle carte idrogeologiche, che danno un'idea delle modalità di sviluppo della circolazione termale, offre un quadro particolarmente significativo di due tra le regioni geotermicamente più importanti d'Italia (Toscana e Lazio), almeno da due punti di vista.

Da un punto di vista pratico e operativo, in quanto le carte suddette costituiscono un aggiornamento delle conoscenze per quanto riguarda gli elementi geotermici di maggiore interesse e quindi una base di riferimento per l'ulteriore sviluppo delle ricerche geotermiche nelle regioni suddette, sia per l'alta che per la bassa entalpia.

Da un punto di vista fenomenologico, poichè il loro contenuto permette alcune considerazioni di carattere generale inerenti l'origine e lo sviluppo del fenomeno geotermico nella fascia preappenninica tirrenica.

Per quanto riguarda il primo aspetto occorre premettere che le situazioni di maggior interesse vanno ricercate nella coincidenza di profondità relativamente limitate del potenziale serbatoio, con le temperature più elevate.

Sotto questo profilo le carte evidenziano naturalmente le aree geotermiche conosciute già da parecchi decenni, come quelle di Larderello, Travale e Monte Amiata in Toscana, o scoperte da alcuni anni, come quelle che vanno sotto il nome di Torre Alfina, di Latera e di Cesano nel Lazio.

Oltre a queste le carte elaborate mettono in luce alcune altre zone caratterizzate da un certo interesse anche per la media ed alta entalpia, zone già oggetto di ricerche o in procinto di diventarlo.

A questo proposito da Nord a Sud possono essere citate le aree di

Orciatico, parte del graben di Siena, parte di quello di Radicofani in Toscana; ampie aree intorno ai laghi di Bolsena, di Vico e di Bracciano nel Lazio settentrionale. Nel Lazio meridionale le carte, anche se elaborate sulla base di un minor numero di dati, indicano che hanno un buon interesse soprattutto alcune aree comprese tra i Colli Albani ed il mare, sia per la presumibile profondità accessibile del potenziale serbatoio, sia per le possibili temperature di questo.

Ma ancora più numerose appaiono le zone suscettibili di sviluppi per quanto concerne la bassa entalpia. Scartando per ovvie ragioni di carattere principalmente economico, quelle nelle quali il potenziale serbatoio appare troppo profondo, ne restano numerose altre nelle quali, ad un potenziale serbatoio profondo solo poche centinaia di metri corrispondono temperature dell'ordine di 50-100°C od anche di più.

Sarebbe troppo lungo nominare tutte queste aree. Rientrano fra queste infatti numerose aree situate proprio ai margini dei campi geotermici sopra citati, la maggior parte di quelle circostanti i nuclei in cui affiora il potenziale serbatoio che le carte idrogeologiche evidenziano come zone di ricarica e/o, a seconda dei casi, di raffreddamento.

Si può dire che una non piccola percentuale della fascia presa in considerazione presenta condizioni favorevoli dal punto di vista della bassa entalpia.

Per quanto concerne il secondo aspetto, il complesso problema dell'origine e dello sviluppo del fenomeno geotermico nella fascia preappenninica tirrenica è stato più volte affrontato, sia per alcune zone particolari, come per la Toscana (Larderello), sia per tutta o quasi la fascia suddetta; uno dei lavori più recenti, basato su elementi diretti e specifici in cui questo problema viene preso in considerazione è quello di Calamai et al., 1976, al quale si rimanda.

Ora, non è nell'ambito di questo lavoro che un problema così complesso possa essere affrontato in modo approfondito ed articolato.

Tuttavia poichè da esso emergono alcune indicazioni interessanti

in merito che trovano conferma o giustificazione anche in altri elementi di carattere strutturale, magmatologico, ecc., sia di carattere regionale che locale, conviene, in sede di conclusioni, ricordarle brevemente.

La prima indicazione fornita dalle carte è che tutta la fascia preappenninica tirrenica compresa tra l'Arno e Roccamonfina è caratterizzata, nel suo insieme, da un'unica, estesa anomalia geotermica "di fondo" (i valori di gradiente se si escludono le aree di affioramento del serbatoio, sono quasi ovunque superiori a  $0,5^{\circ}\text{C}/10\text{ m}$ , mentre i valori di flusso superano generalmente  $2\ \mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{ sec}$ ).

Questa estesa anomalia che appare interrotta, almeno in superficie, in pratica solo in corrispondenza delle aree di affioramento del serbatoio e quindi di assorbimento di acque fredde, non può non essere legata ad un fenomeno regionale e profondo. Si tratta probabilmente di qualcosa che ha a che fare con livelli profondi della crosta o addirittura subcrustali.

A questo proposito occorre sottolineare che profili sismici attraverso l'Appennino recentemente eseguiti (Giese P. et al. 1980) indicano che nella fascia preappenninica tirrenica dell'Italia centrale si ha una sensibile risalita della Moho fino a profondità dell'ordine dei 15 km ed un successivo approfondimento in corrispondenza della fascia parallela appenninica. E' naturale quindi associare la risalita delle isoterme alla risalita della Moho e quindi ad un sensibile assottigliamento crustale.

All'interno di queste grandi anomalie si notano poi alcune ampie zone la cui superficie è generalmente dell'ordine di qualche centinaio di chilometri quadrati, in cui l'anomalia regionale sudetta assume valori molto più elevati: per dare un ordine di grandezza si può parlare di  $300\text{-}350^{\circ}\text{C}$  a profondità di  $1500\text{-}2000\text{ m}$ .

Sono le grandi anomalie che hanno i loro "baricentri" nelle zone di Larderello-Travale, sul Monte Amiata (salvo la piccola parte centrale raffreddata dalle acque fredde che si infiltrano facilmente attraverso le vulcaniti) nei laghi laziali di Bolsena, Vico e Bracciano e forse nel

vulcano laziale.

In questo caso è del tutto logico associare queste zone ad anomalia più accentuata con manifestazioni magmatiche recenti. Ciò postula evidentemente la presenza di risalite di grandi quantità di fusi e di intrusioni connesse con le più recenti fasi dell'attività geodinamica delle regioni tirreniche.

Infine all'interno di questa ultima zona si hanno dei "picchi", con temperature dell'ordine di 200-250°C a profondità variabili tra poche centinaia di metri a 1000-1500 m. Questi picchi sono connessi con strutture del "serbatoio geotermico", particolarmente permeabili e vicini alla superficie, in cui si sviluppa una importante circolazione di fluidi.

Queste manifestazioni più "superficiali" delle anomalie geotermiche sono i veri e propri "campi geotermici" in cui l'innalzamento delle isoterme, dovuto principalmente a fenomeni convettivi, è massimo.

Diverse condizioni termiche e idrogeologiche si traducono poi all'interno di questi picchi in differenti caratteristiche dei fluidi che possono essere del tipo a vapore dominante come in Toscana (Larderello-Travale) oppure ad acqua in pressione come nel Lazio (Alfina, Latera, ecc.).

In conclusione nella fascia studiata si possono individuare tre successivi livelli di anomalie che dal basso all'alto sono:

- un'anomalia regionale legata a situazioni geodinamiche di pari ampiezza e di carattere sub-crustale;
- una serie di "anomalie di zone" legate ad eventi geodinamici e magmatologici crustali;
- anomalie locali e "superficiali" dovute a circolazione di fluidi a piccola profondità in strutture particolarmente permeabili.

### Bibliografia

Baldi P., Buonasorte G., Cameli G.M., Cigni V., Funicciello R., Parotto M., Scandiffio G., Toneatti R. - 1982 - Exploration methodology, deep drilling and geothermal model of the Cesano Field (Latium-Italy) - 1st Turkish - Italian Seminar on Geothermal Energy, vol. II. Ankara - Kizildere.

Baldi P., Cameli G.M., Locardi E., Mouton J, Scandellari F. - 1975 - Geology and geophysics of the Cesano geothermal field - Proc. 2nd United Nations Symp. Geothermal Resources, San Francisco, 2: 871-881.

Baldi P., Decandia F.A., Lazzarotto A., Calamai A. - 1974 - Studio geologico del substrato della copertura vulcanica laziale nella zona dei laghi di Bolsena, Vico e Bracciano. Mem. Soc. Geol. It., 13, 575-606.

Baldi P., Ferrara G.C. - 1974 - Hydrochemical features of the northern Latium (Central Italy), with particular reference to the Stigliano Thermal Springs. Proceedings of International Symposium on Water-Rock Interaction, Praga 1974.

Barberi F., Innocenti F., Ricci C.A. - 1971 - Il magmatismo nell'appennino centro settentrionale: Rend. Soc. It. Min. Petrol., vol. 27, spec.iss., 169-213.

Batini F., Burgassi P.D., Cameli G.M., Nicolich R., Squarci P. - 1978 - Contribution to the study of the deep lithospheric profiles: deep reflecting horizons in Larderello-Travale geothermal field: Mem. Soc. Geol. It., vol. 9, 477-484.

Bencini A., Duchi V., Martini M. - 1977 - Geochemistry of thermal springs of Tuscany (Italy), Chem. Geol. 19, 229-252.

Boni C. - 1975 - The relationship between the geology and hydrogeology of the Latium-Abruzzi Apennines. In: "Structural Model of Italy", Quad. Ric. Scient., 90, 301-311, fig. 1, Roma.

Boni C., Bono P. - 1981 - Relation entre infiltration efficace et lithologie dans dix systèmes karstiques de l'Italie Centrale. Bulletin série III, BRGM (in corso di stampa).

Boni C., Bono P. - 1982 - Schema idrogeologico dell'Appennino Centrale: (1:500.000): lineamenti strutturali, idrologici ed elementi di interesse geotermico. Centro di Studio per la Geologia dell'Italia Centrale (C.N.R.) Roma (in corso di stampa).

Boni C., Bono P., Capelli G., D'Amore F., Lombardi S. - 1981 - Nuove osservazioni su idrogeologia, geochimica e termalismo dell'area albana (Lazio meridionale). Atti II Sem. Informativo C.N.R., P.F.E. ed. PEG, 64-74, figg. 6, tab. 1, Roma.

Boni C., Bono P., Capelli G., Rossi F.M., Sholl C. - 1981 - Tentativo di calcolo del bilancio idrologico nell'area albana nel periodo ottobre 1978-settembre 1979. Atti II Sem. Informativo C.N.R., PFE, ed. PEG, 93-113, figg. 6, Roma.

Boni C., Bono P., Fanelli M., Funicciello R., Parotto M., Praturlon A. - 1982 - Carta delle manifestazioni termali e dei complessi idrogeologici d'Italia. Scala 1:1.000.000. C.N.R., PFE-Sottoprogetto Energia Geotermica, RF-10.

Bono P. - 1981 - Valutazione preliminare del potenziale geotermico della regione laziale. Geol. Rom. vol. XX.

Borghetti G., Sbrana A., Sollevanti F. - 1981 - Vulcano-tettonica dell'area dei Monti Cimini e rapporti cronologici tra vulcanismo Cimino e Vicano. Rend. Soc. Geol. It. 4, 253-254, 1 fig.

Brandi G.P., Cerrina Feroni A., Decandia F.A., Giannelli L., Monteforti B., Salvatorini G. - 1970 - Il Pliocene del bacino del Tevere fra Celleno (Terni) e Civita Castellana (Viterbo). Stratigrafia ed evoluzione tettonica. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., ser. A, 77, 308-326.

Calamai A., Cataldi R., Dall'Aglio M., Ferrara G.C. - 1975 - Preliminary report on the Cesano hot brine deposit (Northern Latium, Italy). U.N. Symp. on Geothermal Energy, S. Francisco, Calif., USA.

Calamai A., Cataldi R., Locardi E., Praturlon A. - 1977 - Distribuzione delle anomalie geotermiche nella fascia preappenninica tosco-laziale (Italia). Simposio Internacional sobre Energia Geotermica en America Latina, Città del Guatemala, 1976, 189-229.

Calamai A., Cataldi R., Squarci P., Taffi L. - 1970 - Geology, geophysics and hydrogeology of Monte Amiata geothermal fields. - Geothermics, Special Issue 1: 1-9.

Calamai A., Ceppatelli L., Squarci P. - 1983 - Summary of Italian experience in thermal prospecting for geothermal resources. - Zbl. Geol. Palaontol. Teil I, 1983 (1/2): Stuttgart.

Calcagnile C., Panza G.F. - 1979 - Crustal and upper mantle structure beneath the apennines region as inferred from the study of rayleigh waves - J. Geophys., vol. 45, 319-327.

Calore C., Celati R., Gianelli G., Norton D., Squarci P. - 1981 - Studi sull'origine del sistema geotermico di Larderello. Atti 2° Sem. Informativo C.N.R., PFE, ed. PEG, 218-225.

Camponeschi B., Lombardi L. - 1969 - Idrogeologia dell'area vulcanica sabatina. Mem. Soc. Geol. It., 8 (1), 25-56.

Cataldi R., Lazzarotto A., Muffler L.P.J., Squarci P., Stefani G.C. - 1978 - Assessment of geothermal potential of central and southern tuscany: Geothermics, vol. 7, n°2-4, 91-131.

Cataldi R., Rossi A., Squarci P., Stefani G.C., Taffi L. - 1970 - Contribution to the knowledge of the Larderello geothermal region: remarks on the Travale field. Proc. U.N. Development Utilization Geothermal Resources, Pisa 1970, v. 2, parte I, 587-602, figg. 13. (Geothermics, n. spec. 2).

Ceccarelli A., Donati C., Petracco C., Ridolfi A. - 1981 - Principali risultati dello studio idrologico e idrogeologico dell'area sabatina, Lazio. Atti II° Sem. Informativo C.N.R., PFE, ed. PEG.

Celati R., Noto P., Panichi C., Squarci P., Taffi L. - 1973 - Interactions between the steam reservoir and surrounding aquifers in the Larderello geothermal field. Geothermics, v. 2, n.3-4, 174-185, figg. 8.

Conforto B. - 1954 - Risultati della prima fase di ricerche di forze endogene nel Viterbese. L'Ingegnere, Anno XXVIII, (1), 1-16, Milano.

C.N.R. - PFE - 1982 - Contributo alla conoscenza delle risorse geotermiche del territorio nazionale, RF 10.

C.N.R. - PFE - 1982 - Il graben di Siena. RF 9.

Cortecci G., Bertrami R., Ceccarelli A. - 1980 - Circulation patterns and geothermometry of some italian spring systems by sulfate isotopes. Proceedings 3<sup>rd</sup> International Symposium on Water-Rock Interaction, Edmonton.

D'Amore F., Panichi C. - 1980 - Evaluation of deep temperature of hydrothermal systems by a new gas geothermometer. Geochim. et Cosmochim. Acta, v. 44, 549-556, figg. 2.

D'Amore F., Panichi C., Squarci P. - 1980 - Evaluation of reservoir temperatures in Tuscany by application of a gas-geothermometer. Proc. 2nd Int. Sem. Results EC Geothermal Energy Res., Strasbourg, 1980, 369-377, figg. 2.

D'Amore F., Panichi C., Squarci P., Bertrami R., Ceccarelli A. - 1979 - Studio idrogeologico e geochimico dei sistemi termali della zona Latera-Canino (Lazio settentrionale). Atti del I° Sem. Informativo, C.N.R., PFE, ed. PEG.

D'Amore F., Scandiffio C. - 1981 - Principali risultati dello studio geochimico dell'area sabatina, Lazio. Atti II° Sem. Informativo, C.N.R., PFE, ed. PEG.

D'Amore F., Squarci P., Panichi C. - 1980 - Hydrogeology and geochemistry of the thermal springs of south-west Tuscany. Proc. 2nd Int. Sem. Results EC Geothermal Energy Res., Strasbourg, 1980, 315-329, figg. 4

Del Moro A., Puxeddu M., Radicati di Brozolo F., - 1982 - Rb-Sr and K-Ar ages on metamorphic minerals from Larderello basement rocks: evidence of a Pliocene thermal event and new light on the blocking temperatures problem: Contrib. Mineral Petrol. (in stampa).

Elter P., Giglia G., Tongiorgi M., Trevisan L. - 1975 - Tensional and compressional areas in recent (Tortonian to present) evolution of the northern apennines: Boll. Geof. teor. appl., vol. 17, 3-18.

Fanelli M., Rossi A., Salomone M., Taffi L. - 1980 - Temperature and heat flow patterns of Italy. 2nd International Seminar on the Results of EC Geothermal Energy Research, Strasbourg 4-6 March, CEE, 182-186, figg. 2.

Fancelli R., Agostini G. - 1980 - Le acque di Bagni di Lucca nei loro rapporti con le altre manifestazioni idrotermali nella Toscana settentrionale. Atti Giornate Mediche di Bagni di Lucca Terme, Lucca, 1980, 23-46, figg. 9.

Fancelli R., Fanelli M., Nuti S. - 1976 - Study of the thermal waters on north - west Tuscany. Int. Congress on thermal waters geothermal energy and vulcanism of the Mediterranean area, Athens, v. 2, 152-169, figg. 4.

Fancelli R., Nuti S. - 1974 - Locating interesting geothermal areas in the Tuscany region (Italy) by geochemical and isotopic methods. Geothermics, v. 3, n. 4, 146-152, figg. 2.

Fancelli R., Nuti S. - 1975 - Studio delle acque termali e minerali della parte orientale della Provincia di Siena. Boll. Soc. Geol. It., v. 94, 135-155, figg. 4.

Francalanci G.P. - 1959 - Contributo per la conoscenza delle manifestazioni idrotermali della Toscana. Atti Soc. Toscana Sci. Nat., 65-2, 372-432.

Funiciello R., Parotto M. - 1978 - Il substrato sedimentario nell'area dei Colli Albani: considerazioni geodinamiche e paleogeografiche sul margine tirrenico dell'Appennino Centrale. Geol. Rom., 15, Roma.

Gianelli G., Puxeddu M., Squarci P. - 1978 - Structural setting of the Larderello-Travale geothermal region: Mem. Soc. Geol. It., vol. 19, 469-476.

Gianelli G., Puxeddu M., Squarci P. - 1979 - Studio dell'assetto strutturale della regione geotermica di Larderello e Travale. Atti 2° Sem. Prog. Fin. Energ., SPEG, 224-235.

Gianelli G., Puxeddu M., Squarci P. - 1981 - Sintesi delle conoscenze sulle strutture profonde nelle aree geotermiche toscane. Atti 2° Sem. Informativo, C.N.R., PFE, ed. PEG, 237-246.

Giese P., Wigger P., Morelli C., Nicolich R. - 1980 - Seismic studies for the determination of the crustal structure in the area of the geothermal anomaly in Tuscany - Advances in European Geothermal Research, Proc. 2nd Inter. Seminar on the Results of E.C. Geothermal Energy Research, 603-613.

La Torre P., Nannini R., Sollevanti F. - 1981 - Geothermal exploration in central Italy: geophysical surveys in Cimini Range Area. 43<sup>rd</sup> Meeting European Association of Exploration Geophysicists, Venezia Lido.

Locardi E., Lombardi G., Funicciello R., Parotto M. - 1977 - The main volcanic groups of Latium (Italy) relations between structural evolution and petrogenesis. Geol. Rom., 15, Roma.

Marinelli G. - 1963 - L'energie geothermique en Toscane: Ann. Soc. géol. belg., vol. 85, 417-438.

Marinelli G. - 1969 - Some geological data on the geothermal areas of Tuscany: Bull. Volc., vol. 33, 319-333.

Marinelli G. - 1971 - L'Energia Geotermica. In 'La Toscana meridionale'. Rend. Soc. It. Min. Petrol., vol. sp., 27, 298-316.

Micheluccini M., Puxeddu M., Toro B. - 1971 - Rilevamento e studio geo-vulcanologico della regione del M. Cimino (Viterbo-Italia) Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. s.A, 78, 301-327.

Mouton J. - 1969 - Contribution des methodes de prospections geothermiques et geophysiques a l'etude des champs geothermiques de Toscane, Italie: Bull. Volcan. vol. 33, 165-190.

Nicolich R., Pellis G. - 1979 - Il contributo dei dati geofisici per lo studio delle strutture crostali della provincia geotermica tosco-laziale: Istituto Geol. Applic. e Miner. Università di Trieste, Contributo n. 41, 1-52.

Panichi C., D'Amore F., Fancelli R., Noto P., Nuti S. - 1977 - Geochemical survey of the Siena Province. Interpretation, proc. Seminar on Geothermal Energy - Brussels. 2, 481-503.

Parotto M. - 1980 - Apennin central. In: Introduction à la géologie générale "Italie". Livret-Guide a l'excursion 122A, 33-37, fig. 1, Paris.

Parotto M., Praturlon A. - 1975 - Geological Summary of Central Apennines. In: Structural Model of Italy. Maps and Explanatory notes. Ric. Scient., 90, 50.

Petracco C., Squarci P. - 1975 - Hydrological balance of Larderello geothermal region. Proc. 2nd U.N. Symp. on the Development and Use of geothermal Resources, San Francisco, v. 1, 521-530, figg. 7.

Puxeddu M. - 1971 - Studio chimico-petrografico delle vulcaniti del monte Cimino (Viterbo): Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., vol. 78, 329-394.

Squarci P., Taffi L. - 1979 - Mappa geotermica della Toscana. Regione Toscana, Conferenza Regione - Programmazione e politica energetica. 6-7 dicembre 1979.

Toro B. - 1976 - Anomalie residue di gravità e strutture profonde nelle aree vulcaniche del Lazio settentrionale. Geologica Romana, 17.

Toro B. - 1977 - Gravimetry and deep structures of the Sabatinian and Alban Volcanic area (Latium). Geologica Romana, 15 (1976).