

LA VALLE DEL TORRENTE NIEVOLE
E LE SUE TERME

LA VALLE DEL TORRENTE NIEVOLE E LE SUE TERME

Atti della tavola rotonda
tenutasi il 5 maggio 2002

a cura di
Amleto Spicciani

Questa pubblicazione è stata realizzata a cura della parrocchia dei Santi Pietro apostolo e Marco evangelista e del Centro studi storici « San Pietro a Neure » con il contributo del comune di Pieve a Nievole.

In copertina: *Progetto presentato da G. Bernardini al concorso del 1914 per i nuovi stabilimenti termali*, in CARLO CRESTI, *Montecatini 1771-1940: nascita e sviluppo di una città termale*, p. 83, Milano 1984.

*Queste tavole rotonde nascono
dal desiderio di alimentare
l'approfondimento della conoscenza
della storia e delle tradizioni locali
nella consapevolezza che esse costituiscono
una ricchezza di tutta la comunità.
Con questo, si intende anche
valorizzare gli studi e sostenere nuove ricerche
dando particolare rilievo
ai contributi dei cultori della storia locale
e promuovere nei giovani
l'interesse alla nostra identità culturale.*

RAGIONI DELLA SCELTA DI UN TEMA

Stasera abbiamo qui con noi tre professori dell'Università di Pisa, docenti del Dipartimento di Scienze della Terra, che hanno generosamente accettato il nostro invito ad animare con i loro interventi questa nostra settimana tavola rotonda sulla storia e le tradizioni di Pieve a Nievole.

Desidero innanzi tutto esprimere pubblicamente un sincero ringraziamento a tutti e tre questi miei colleghi pisani, che mi onorano della loro amicizia e mi offrono la loro preziosa ed importante collaborazione per questa nostra modesta iniziativa culturale.

Come è stato pubblicato sul programma, prenderanno la parola nell'ordine indicato, il prof. Roberto Santacroce, che questa sera sarà moderatore della tavola rotonda, il prof. Mario Verani e, infine, il prof. Alessandro Sbrana.

La scelta del tema di questa sera, che potrebbe sembrare uno sconfinamento dai nostri obiettivi storiografici, si inquadra perfettamente nel nostro proposito di stabilire un preciso quadro di riferimento geografico, entro cui abbiano un loro senso anche le vicende della storia locale di Pieve a Nievole. E riteniamo che tale riferimento debba essere l'intero bacino idrografico del torrente Nievole o almeno la parte settentrionale di esso, che formava il territorio dell'originario altomedievale piviere di San Pietro « de Neure ». In tal modo, la scelta di trattare anche gli aspetti geologici del termalismo di questa valle della Nievole, è pienamente giustificata. Bisogna anche conoscere la storia geologica, la storia cioè della terra, di questa nostra terra, che infatti le terme abbiano determinato un certo tipo di sviluppo urbanistico ed

economico di Montecatini e di Monsummano è una realtà che abbiamo quotidianamente sotto gli occhi.

Il comune di Montecatini prima e poi anche quello di Monsummano hanno di recente promosso convegni scientifici e pubblicazioni sul tema delle acque termali montecatinesi e delle grotte curative di Monsummano. Ricordo appena il volume di Carlo Cresti, *Montecatini. 1771-1940: nascita e sviluppo di una città termale*, Milano, Electa, 1984, e ricordo anche la contemporanea pubblicazione degli Atti del convegno montecatinese dell'ottobre 1984, editi (Siena, 1985) con il titolo *Una politica per le terme: Montecatini e la Val di Nievole nelle riforme di Pietro Leopoldo*. Recentemente Roberto Pinochi ha pubblicato un interessante saggio su *Il termalismo a Bagni di Montecatini tra '700 e '800* (in « Valdinievole. Studi storici », 3-4, 2001). Per Monsummano non posso non rammentare i volumi della collana "Itinerari di ricerca" diretta dalla amica Giuseppina Carla Romby, e tra essi il volume quarto, intitolato *Acque segrete, grotte meravigliose. Monsummano e le sue terme*, Pisa, Pacini editore, 1999.

Proprio quest'ultimo volume si apre con un lungo saggio del geografo Leonardo Rombai che affronta – direi per la prima volta – aspetti che sono legati « alla storia di lungo periodo e alla geografia dell'imprenditoria e del turismo termale, specialmente nei loro effetti sull'urbanistica, sulle infrastrutture, sull'economia e sulla società, e quindi sul 'paesaggio' e sulla intera organizzazione territoriale monsummanese » (p. 11).

Il rapporto dinamicissimo tra turismo termale e organizzazione urbanistica ed economica dei territori di Montecatini e di Monsummano è palesemente sotto i nostri occhi – come dicevo – e non ha per niente bisogno di commenti. Si potrebbe soltanto aggiungere che le due grotte di Monsummano con i loro vapori, le acque e i fanghi, sembrano manifestarsi o interessare per le loro capacità terapeutiche soltanto a partire dalla metà del secolo XIX, mentre le terme di Montecatini, e specialmente le virtù curative delle sorgenti del Tettuccio, appaiono conosciute e apprezzate almeno fin dal medioevo e forse anche in epoca classica. A questo proposito molte notizie le abbiamo nel *De balneis* del medico montecatinese Ugolino vissuto nel secolo XIV, come pure

interessantissime osservazioni e descrizioni delle acque montecatinesi e delle loro capacità curative, vere o fantasiose, sono contenute nel *De balneis Montis Catini commentarius* scritto a metà del secolo XVI dal medico pesciatino Pompeo della Barba, che era archiatra di papa Pio IV. Oggi esiste una letteratura abbondantissima sia dal punto di vista medico-sanitario sia naturalistico sulle acque di Montecatini. Meno studiate – almeno da un punto di vista scientifico – mi sembrano le grotte termali di Monsummano.

Poiché Pieve a Nievole si trova proprio tra Montecatini e Monsummano, per concludere vorrei tornare un momento sul mio discorso iniziale circa il bisogno di inserire le nostre ricerche storiche in un quadro territoriale che abbia un suo senso, almeno geografico: tanto più che l'unità geografica della valle del torrente della Nievole, anche se ci limitiamo soltanto all'antico piviere, si è frantumata molto tardi. Tra Montecatini e Monsummano è avvenuta una separazione nel secolo XV, con la nascita della parrocchia di San Niccolò, e tra Montecatini e Pieve a Nievole i rispettivi territori si sono separati addirittura quasi alla soglia dei nostri giorni, nel 1905. Ma si è trattato in ambedue i casi di una frammentazione puramente amministrativa – sia ecclesiastica che civile – entro la persistente unità della diocesi e dello Stato, prima fiorentino e poi sabauda. E noi sappiamo che le frammentazioni amministrative – i comuni e le parrocchie – più che separare e distinguere sono piuttosto elementi dinamici e dialettici dello sviluppo delle comunità umane.

Termino con una mia confidenza personale, che però temo di non riuscire a comunicarvi con chiara precisione, rischiando forse di essere frainteso. Voglio affermare che mi sono convertito alla storia locale, comunque essa sia. È una conversione che in me nasce dalla esperienza del mondo ecclesiastico di oggi, che ha aperto o preparato la strada alla mentalità politica ed economica europea.

Ho sempre guardato con diffidenza alla cosiddetta storia locale, intendendo con ciò le storie paesane scritte da storici improvvisati. Me ne sono guardato soprattutto perché gli scritti di questo tipo, oltre che essere spesso farciti di errori storici, sono il più delle volte di stampo troppo paesano, di corto respiro culturale, e quasi sempre hanno intenti

semplicemente laudativi. Ma sono proprio queste ultime caratteristiche – tipicamente locali – che ora mi sembrano necessarie e importanti, come letture da diffondere per conservare quel senso di identità che tutti quanti – nella Chiesa di oggi e nella società civile – rischiamo di perdere. Non importa che uno scritto diffonda anche cattive interpretazioni di fatti storici, se diffonde amore al posto dove uno si trova. Poiché chi perde la propria identità culturale, frutto paziente e amoroso di una precisa tradizione familiare e paesana, perde molto di se stesso. Cancellare l'appartenenza ad un determinato territorio, e all'identità di gruppo che questa appartenenza comporta, significa cancellare il senso della propria esistenza. E noi sappiamo che è esattamente così che i popoli scompaiono: quando perdono il senso della loro esistenza.

PAROLE D'INTRODUZIONE

Non desidero usare molto del vostro tempo in chiacchiere più o meno inutili, ma certamente l'inizio di questa tavola rotonda non può prescindere da un ringraziamento al caro amico Amleto Spicciani per aver promosso questo incontro, da lui ideato e insieme a me discusso nel corso di piacevoli chiacchierate all'ora di pranzo al nostro solito tavolo del Vecchio Teatro a Pisa. Lo ringrazio anche per avermi dato l'opportunità di coinvolgere due colleghi del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa in una discussione altrimenti improbabile dati i campi di studio e di ricerca difficilmente convergenti. Ovviamente ringrazio anche loro per avere accettato di partecipare a questo incontro. L'idea base della tavola rotonda di oggi è quella di mettere a confronto il termalismo della Valdinievole, di cui ci parlerà Mario Verani, con altre e diverse manifestazioni geotermiche, Larderello prima di tutte, in Toscana e altrove, che saranno trattate da Alessandro Sbrana. Lo scopo è da una parte quello di fare conoscere ai non addetti ai lavori i principi generali di funzionamento dei campi geotermici e delle aree termali in generale, e dall'altra quello di mettere in risalto, attraverso il confronto tra le diverse situazioni, la peculiarità specifica del termalismo dell'area che oggi ci ospita. Io sono certo che quanto Verani e Sbrana ci diranno darà spunto a domande e discussione e permetterà a tutti noi di uscire di qui con le idee più chiare su quello che è la geotermia, sui principi che regolano le diverse forme con le quali essa si manifesta sulla superficie terrestre e sul significato delle manifestazioni termali di Monsummano e Montecatini.

* Docente di *Vulcanologia* - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa.

IL TERMALISMO NELL'AREA TRA MONTECATINI E MONSUMMANO

L'argomento che tratterò in questa tavola rotonda è il termalismo 'non vulcanico' della zona di Montecatini Terme-Monsummano in provincia di Pistoia e le implicazioni che questa risorsa ha avuto ed ha sulla vita del territorio su cui insiste.

Innanzitutto chiarisco il perché della precisazione 'non vulcanico'. Poche settimane fa sul giornale locale veniva pubblicizzata un'altra conferenza dal titolo *Monsummano Alto era un vulcano?* Al mio stupore, un amico ribatteva: « Monsummano Alto forse no, ma Montecatini Alto certamente sì ». « Ma chi te lo ha detto? » « Il mio professore di Scuola Media ». Riferendo questo clima di disinformazione scientifica ad un mio collega di Pisa mi veniva risposto: « Non preoccuparti, qui da noi anche il colle di San Giuliano è considerato un vulcano ».

Dunque nell'immaginifico popolare ovunque esca acqua calda ai piedi di una collina deve esserci un vulcano esattamente come sotto una pentola che bolle deve esserci il fuoco.

In realtà questo è vero solo in piccola parte, perché esistono sicuramente sorgenti calde collegate all'esistenza di un sottostante vulcanismo, ma la maggior parte delle sorgenti termali è normalmente collegata a quell'aumento della temperatura, che si ha procedendo dalla superficie terrestre verso l'interno, noto come *gradiente geotermico* che si definisce correttamente come il valore in gradi centigradi corrispondente

* Docente di *Geologia applicata alla Difesa Ambientale* - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa.

all'aumento di temperatura per 100 m di profondità: normalmente sono 3°C/100 m, in altre parole ogni 100 m si ha un aumento di 3°C.

Come prove di questo gradiente geotermico si hanno molti sondaggi profondi, i dati provenienti dall'attività mineraria, ma anche semplicemente la constatazione di come in alcune gallerie la temperatura sia più alta che all'esterno; in particolare nel traforo del Sempione sono stati raggiunti ben 55,4°C. Esistono anche gradienti geotermici anomali, come Pozzuoli con 1°C ogni 8 m, perché in quel caso si è in presenza di un sottostante magma che riscalda le rocce sovrastanti. Quindi il gradiente geotermico può essere anche collegato all'esistenza di una zona vulcanica, però generalmente è collegato all'approfondimento del circuito delle acque al di sotto dell'area di interesse. La spiegazione del campo termale di Montecatini-Monsummano è semplicemente questa: esiste una zona di alimentazione a monte in cui ci sono rocce permeabili, generalmente per fratturazione, in cui l'acqua si infiltra, va in profondità e conseguentemente si riscalda. Se trova, per una morfologia favorevole oppure per mezzo di una frattura – che si chiama *faglia* – la possibilità di risalire velocemente, trasporta in superficie il calore di cui si è arricchita (Fig. 1).

La faglia non è altro che una frattura in cui la superficie terrestre, oltre a essersi spezzata, si è anche spostata: a seconda della disposizione dei due lembi abbiamo faglie dirette o distensive e faglie inverse o compressive. Questo concetto va ricordato perché le faglie distensive sono quelle da cui risalgono dal profondo le acque termominerali sia di Montecatini che di Monsummano.

Le acque dunque si infiltrano, progressivamente si termalizzano, cioè si riscaldano, e aumentano la loro temperatura in proporzione alla profondità che raggiungono oltretutto in funzione delle rocce incassanti, a seconda della loro conducibilità o meno. Devono poi trovare la possibilità di risalire e più rapidamente risalgono meno calore perdono e maggiore sarà pertanto la loro termalità. Le acque calde possono sgorgare direttamente dalla superficie attraverso una spaccatura della roccia (la citata faglia) senza miscelarsi con le acque fredde che circolano nella parte più superficiale del sottosuolo, oppure diluirsi in queste ultime. Il primo caso è quello delle sorgenti di Monsummano, che sono captate proprio in corrispondenza di una serie di faglie, il secondo è quello

delle sorgenti di Montecatini. Qui infatti, a parte l'acqua, detta *madre*, che sgorga dalla sorgente Leopoldina e che viene su direttamente dalla roccia serbatoio (i Diaspri), esistono altre acque, un poco meno calde e salate, che, prima di fuoriuscire delle altre sorgenti termali, si diluiscono con le acque di superficie, che sono quelle all'interno dei sedimenti della coltre alluvionale fluvio-lacustre che forma la pianura della Valdinievole.

È a questo punto opportuno premettere qualche definizione: un'acqua si dice *termale* quando scaturisce in superficie a una temperatura superiore a quella media dell'aria in quel punto, che chiaramente cambia da luogo a luogo, anche se spesso vengono considerati i 20°C. Si parla però anche di acque minerali, in quanto le sorgenti di Montecatini sono propriamente dette termo-minerali. Un'acqua si dice allora *minerale* quando ha un chimismo, ovvero un contenuto in sali, superiore alla comune acqua potabile, che dovrebbe essere insapore; un'acqua che ha più di 1 grammo di residuo fisso a 180° già comincia a essere un'acqua veramente minerale. Quelle che noi beviamo a tavola più che acque minerali sono acque oligominerali, perché si cerca

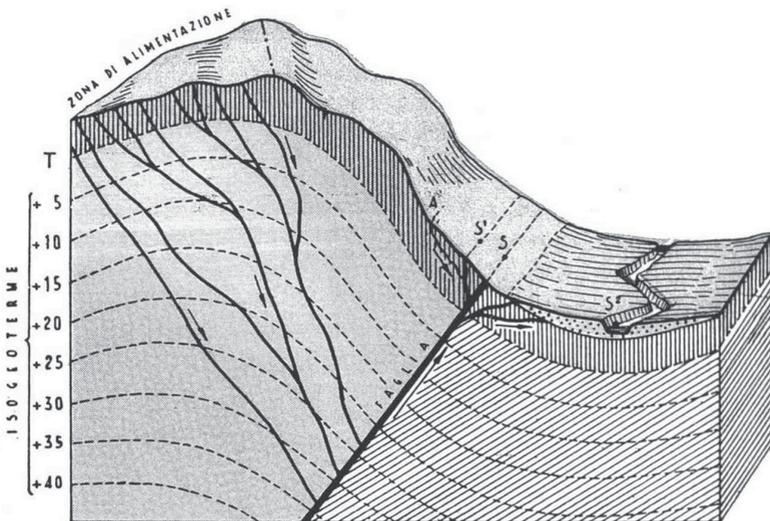


Fig. 1: Schema di un circuito termale in cui si osservano anche le diverse possibilità di fuoriuscita delle acque calde: ai piedi del rilievo o all'interno del materasso alluvionale (da DESIO, 1973).

di utilizzare l'acqua più leggera che si può trovare. Un'acqua che ha un residuo fisso di $0,1 \div 0,2$ g/l (un decimo di grammo per ogni litro) è perciò un'ottima acqua, mentre man mano che questo valore sale, l'acqua diventa sempre più carica in sali, e, quando supera una certa soglia, si dice che è mineralizzata.

Isali disciolti derivano dalla dissoluzione delle rocce incontrate nel loro percorso sotterraneo: se le acque attraverseranno rocce contenenti zolfo diventeranno solfatiche, se attraverseranno rocce carbonatiche saranno carbonatiche; tra quelle di Monsummano e quelle di Montecatini esiste una certa differenza di composizione.

Sono necessari a questo punto alcuni accenni di geologia regionale. Le rocce che affiorano nella zona appartengono alla cosiddetta Successione Toscana non metamorfica, o Falda Toscana, che è un'unità tettonica alloctona che si è formata in un bacino di sedimentazione e che poi si è messa in posto – nella fase compressiva dell'orogenesi alpina – “scollata”, da un substrato autoctono, al livello di una formazione che si chiama *evaporite* del Trias. Le colonne stratigrafiche della figura 2 mostrano le formazioni¹ che compongono la Successione come affiora in Toscana, Successione che è completa soltanto nelle zone delle Apuane W e NE e di La Spezia, mentre a Montecatini e Monsummano alcune formazioni mancano oppure possono essere sepolte.

Il “Calcere massiccio” (cm) del colle di Monsummano è la formazione più antica che affiora in questi “nuclei mesozoici”, come vengono chiamati, di Montecatini e Monsummano. Ma quello che interessa è considerare la serie completa, che parte dal “Calcere cavernoso” (cc) e arriva fino al “Macigno” (mg) di età oligocenica (noto da noi con il nome di “pietra serena”) e di cui esistono estesi affioramenti su queste colline.

I Calcari cavernosi costituiscono infatti la zona profonda ove si mineralizzano le acque termali di Montecatini e di Monsummano e sono una formazione piuttosto complessa di calcari a cellette derivante

¹ Le sigle rappresentano le seguenti formazioni: cc, Calcari cavernosi – cAc, Calcari e marne a *Rhaetavicula contorta* – p, Portoro – cm, Calcari massicci – cA, Calcari ad Angulati – ra, Rosso ammonitico – cs₁, Calcari selciferi grigio-chiari – mp, Marne e calcari marnosi a *Posidonia alpina* – cs₂, Calcari grigio scuri a selci nere – d, Diaspri – mac, Maiolica – sc, Scaglia rossa toscana – mg, Macigno.

dalla serie anidritico-dolomitica di età triassica, la già citata evaporite così chiamata perché derivante dalla evaporazione di un bacino chiuso in cui si sono depositati calcari, dolomie, anidriti, gessi ed anche salgemma.

L'anidrite è un solfato di calcio con formula chimica CaSO_4 ; è importante perché darà, oltre che la mineralizzazione, anche la termalizzazione delle acque. La dolomite, carbonato doppio di calcio e

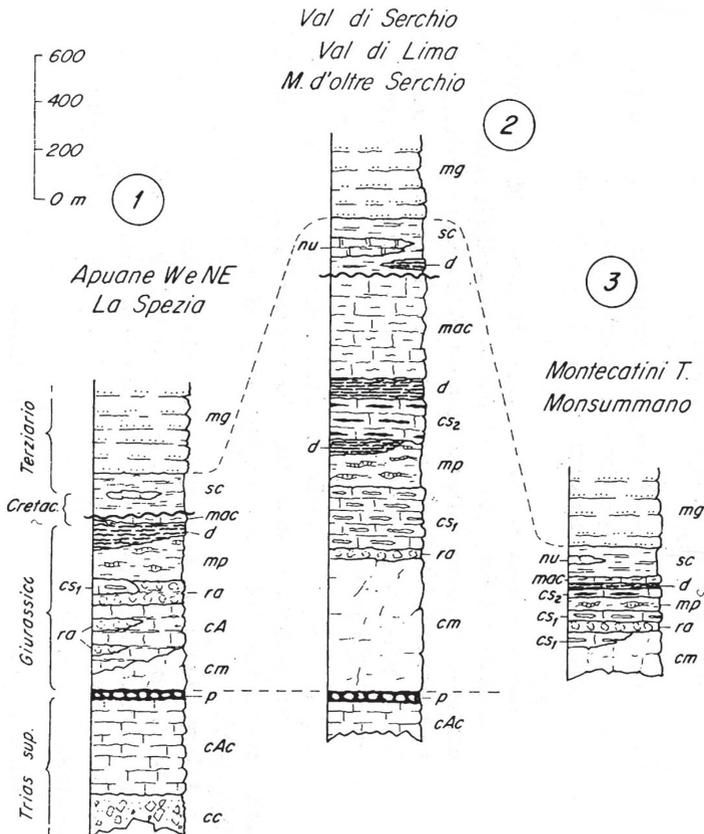


Fig. 2: Tre diverse colonne stratigrafiche della Successione toscana (da DALLAN NARDI, 1973).

magnesio $MgCa(CO_3)_2$ è il minerale che forma la roccia detta dolomia; mentre il carbonato di calcio, $CaCO_3$, è il minerale che costituisce la roccia chiamata calcare.

Per capire come le anidriti siano responsabili anche del riscaldamento delle acque si può ricordare come si fa la calce per l'edilizia. Il calcare, $CaCO_3$, viene arrostito nell'apposita fornace, ogni molecola di calcare perde una molecola di anidride carbonica, CO_2 , che si disperde nell'atmosfera lasciando ossido di calcio, CaO , la calce viva. La calce viva viene poi spenta con acqua per fare l'idrato di calce, $Ca(OH)_2$ e questa è una reazione fortemente esotermica; mentre la prima è endotermica, perché si deve somministrare calore perché si abbia la trasformazione del carbonato di calce in calce viva. Per completare la reazione, questo stesso idrato di calce, se miscelato con sabbia e acqua forma la malta, assorbe l'anidride carbonica CO_2 dall'atmosfera e ricrea una sorta di pietra calcarea secondo il processo a tutti noto.

Nell'anidrite avviene un processo analogo. Si idrata ($CaSO_4 + H_2O$) per formare il gesso ($CaSO_4 \times 2H_2O$) e questa è la reazione esotermica in cui si sviluppa calore esattamente come in quella della calce viva.

Le acque già termalizzate attraverso il gradiente geotermico, passando attraverso le evaporiti triassiche, oltre a mineralizzarsi, raggiungono così ulteriore calore a quello che già hanno acquisito.

È necessario a questo punto introdurre il concetto di *bilancio idrologico* perché se finora si è trattato di acque meteoriche che si infiltrano, si termalizzano, si mineralizzano e vengono a giorno, non si è detto però dove si infiltrano.

L'equazione di equilibrio del bilancio idrologico ha la seguente espressione:

$$P = R_s + E_t + I$$

in altre parole più chiare, la pioggia P che cade, in parte R_s ruscella in superficie e va ad alimentare i corsi d'acqua superficiali, in parte E_t rievapora e ricostruisce le nuvole, in parte I infine si infiltra e forma le acque sotterranee. È appunto la parte che si infiltra quella che interessa questa relazione in quanto se si calcola il bilancio idrologico delle sorgenti di Montecatini e Monsummano, risulta che l'acqua che sgorga

è molta di più di quella che si può infiltrare nelle aree permeabili di questi due nuclei calcarei. Questo fatto ci induce a ipotizzare che le acque termali abbiano un circuito idraulico più ampio: non può l'acqua meteorica cadere sul colle di Monsummano, risalire immediatamente ed essere calda, poiché viene a mancare il carico idrostatico che permette alle acque sotterranee di risalire. Deve esserci pertanto una zona di alimentazione più lontana e più profonda e il nucleo mesozoico della Val di Lima, come mostrato nello schema tettonico della figura 3, risponde a tutti i parametri di distanza e dislivello richiesti: si osservano la disposizione dei nuclei calcarei permeabili e l'orientamento delle faglie che costituiscono le vie preferenziali di risalita lungo cui, nelle varie stazioni termali, può venire a giorno le acque una volta riscaldate e mineralizzate.

Nell'area esistono infatti altre stazioni termali, come per esempio Bagni di Lucca, in cui esce acqua a 51 °C, quindi è ancora più termalizzata della più calda sorgente locale (le Leopoldine), che non supera i 34°C.

Ammettendo dunque come zona di infiltrazione la Val di Lima, il modello proposto potrebbe soddisfare l'equazione di bilancio idrologico sia per la quota altimetrica tra la Val di Lima e Montecatini sia per la profondità del serbatoio (2000-2500 m) in cui la temperatura presumibilmente si aggira tra 61-80°C.

Una sezione geologica relativa a Montecatini è mostrata nella figura 4 che evidenzia sulla sinistra la *faglia bordiera*, l'importante faglia distensiva corrispondente alla fase finale dell'orogenesi che delimita la pianura che va verso Lucca (queste faglie dirette sono appunto quelle lungo cui risalgono le acque di Montecatini e le acque di Monsummano). Si osservano poi una serie di pozzi, con la formazione geologica da cui attingono: il pozzo detto Sorgente Regina, che per esempio arriva fino alla Scaglia (formazione impermeabile), non può essere alimentato dal substrato roccioso, ma deve attingere dagli acquiferi della copertura quaternaria alluvionale, mentre il pozzo artesiano detto Sorgente Leopoldina attinge le acque direttamente nelle rocce dei Diaspri.

La figura mostra anche il Pozzo Spaz (che non esiste più, ma era più o meno accanto alla attuale Cascina Igea) che ha attraversato 107 m di sedimenti lacustri prima di incontrare il Macigno ed è estremamente

importante, come vedremo in seguito, perché permette di individuare una faglia (la faglia principale che alimenta il campo termale) tra la Sorgente Leopoldina e detto Pozzo Spaz. Le stratigrafie delle due trivellazioni della Sorgente Leopoldina e del Pozzo Spaz sono riportate nella figura 5.

Un disegno di Livio Trevisan, massimo studioso delle Terme di Montecatini, evidenzia invece con più dettaglio (Fig. 6) le modalità di risalita delle acque in corrispondenza della Sorgente Leopoldina, mostrando i particolari del miscelamento delle acque termali con le acque superficiali (intendendo come superficiali quelle immediatamente al di sopra del substrato roccioso) e la presenza di livelli più grossolani di sedimenti al contatto fra le formazioni rocciose e i depositi alluvionali

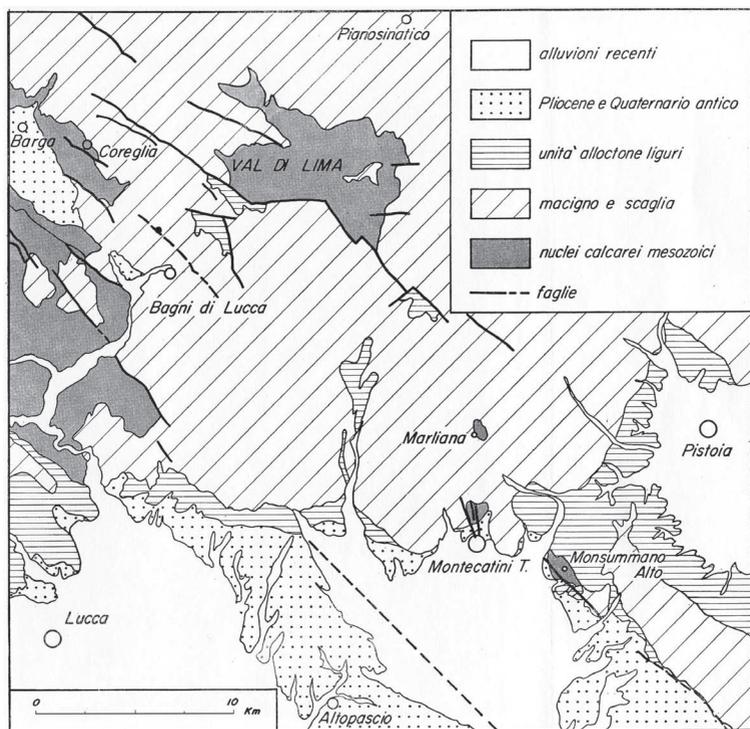


Fig. 3: Schema tettonico della Toscana settentrionale con evidenziati i nuclei calcarei mesozoici e le faglie ad andamento NW-SE che li collegano (da BRANDI E A., 1967).

attraverso cui circola la suddetta acqua dolce che diluisce le sorgenti di Montecatini.

Riguardo alla composizione chimica, le acque di Montecatini si possono classificare come clorurato-solfato-alcaline, in particolar modo sodiche, quelle di Monsummano invece non sono sodiche, ma solo carbonatico-solfatiche. La spiegazione di questa differenza è che, poiché le faglie lungo cui risalgono le acque termominerali sono numerose e possono avere anche (come mostra la Fig. 3) orientamenti lievemente differenti tra loro, parte delle acque seguono un percorso, parte ne seguono un altro. Il diverso contenuto salino delle acque termali di Montecatini potrebbe essere attribuito alla presenza di “lenti” di salgemma nella roccia madre (le evaporiti triassiche attraversate nel percorso sotterraneo): a dimostrazione della presenza di salgemma al loro interno, a Boccheggiano (GR) se ne possono osservare affioramenti anche in superficie. Le acque di Monsummano invece non hanno trovato nel loro andamento una analoga possibilità di mineralizzazione e il loro serbatoio ha un chimismo solfato-bicarbonato-calcico-magnesiaco, derivante dall’attraversamento soltanto di carbonati e dolomie, e pertanto sono più povere di NaCl. Un maggior dettaglio dei dati geochimici di

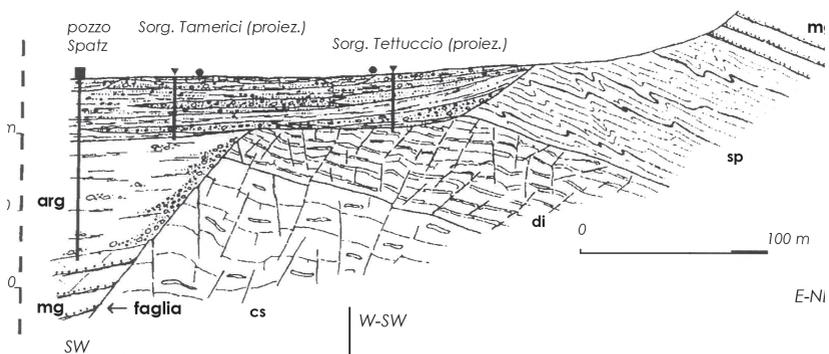


Fig. 4: Sezione geologica attraverso il campo idrotermale di Montecatini (da Brandi e A., 1967).

alcune acque prelevate nelle aree di Monsummano, presso la Grotta Giusti e le sorgenti Parlanti, di Montecatini e, per confronto, di alcune acque superficiali sono reperibili in un lavoro citato in bibliografia (DUCHI E A., 1999).

A completamento dell'argomento della tavola rotonda, può essere interessante esaminare i rapporti tra il campo idrotermale e due importanti tematiche: la pianificazione territoriale e l'attività estrattiva.

Per quanto riguarda la prima implicazione, è evidente che una risorsa come quella termale deve essere tutelata al massimo grado da qualsiasi inquinamento o anche da qualsiasi possibilità di danneggiamento.

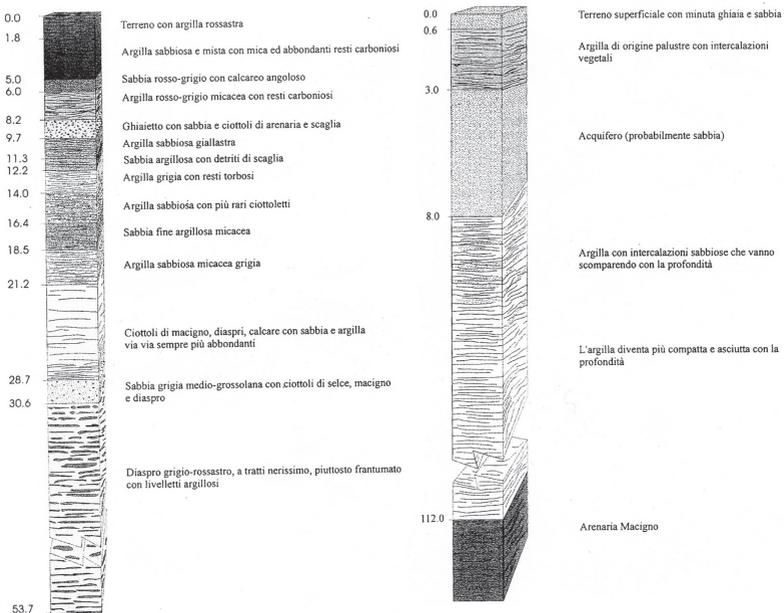


Fig. 5: Due importanti stratigrafie del campo idrotermale: a sinistra quello del piazzale Leopoldine (1953), a destra il Pozzo Spaz (1907) che raggiunge il Macigno.

leggi (D.M. 11/03/1988) prescrivono a supporto di qualsiasi intervento edilizio, pubblico o privato, sul territorio nazionale.

Un ulteriore contributo alla conoscenza scientifica del comprensorio montecatinese (PUCCINELLI E A., 2001) è stato recentemente sviluppato dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, con il supporto di una accurata campagna geognostico-geoelettrica in collaborazione con la facoltà di Ingegneria. Attraverso prospezioni geoelettriche, metodica di indagine che registra la conduttività di una roccia o di un sedimento, che è tanto maggiore quanto maggiore è il suo contenuto in acqua, è stata identificata la zona in cui il substrato è a breve profondità (Fig. 8) per cui il grado di contaminazione può essere elevato; nella parte occidentale invece, a valle della faglia che passa in corrispondenza della Sorgente Leopoldina, la vulnerabilità è nulla perché il serbatoio è protetto da decine di metri di sedimenti fluvio-lacustri dalla permeabilità molto limitata e comunque non in comunicazione con le vie di risalita delle acque termominerali.

È evidente che questa zonazione è di grande importanza nello sviluppo socio-economico di Montecatini, in quanto rende privi di pericolosità una serie di interventi di cui il più rilevante è il previsto interrimento della linea ferroviaria di cui in via preliminare si può già dire che, per almeno quanto riguarda il bacino idrotermale, non esistono controindicazioni. La scarsa acqua salata che talvolta è captata a valle della lineazione citata non è altro che il troppo pieno delle sorgenti che si infiltra nei sottili livelletti ghiaiosi all'interno dei citati sedimenti argillo-limosi: si tratta delle cosiddette "acque basse" (LOTTI, 1927) note in letteratura.

Al contrario, come evidente nella figura 9 che mostra in sezione quanto già illustrato nella figura precedente, la zona vulnerabile è quella che è compresa tra la faglia a SW e l'affioramento di Scaglia rossa a E-NE, cioè in corrispondenza della presenza nel sottosuolo della formazione dei Diaspri in cui attingono la maggior parte delle sorgenti e che, come già detto, è protetto solo da un sottile strato di depositi alluvionali.

È in questa zona che si trova il cuore del termalismo di Montecatini, ed è qui che volendo si potranno trivellare nuovi pozzi ove se ne presentasse la necessità.

In proposito ho sempre pensato (e detto in più occasioni) che sarebbe stato produttivo eseguire un pozzo che attraversasse i Diaspri e raggiungesse i sottostanti Calcari grigio scuri a selci nere: sicuramente si sarebbe ottenuta acqua termominerale in grande quantità, il cui sfruttamento sarebbe stato in grado di sopperire a qualunque incremento delle esigenze idriche delle Terme, una volta verificata la non interferenza dell'emungimento con le altre sorgenti, cosa che ritengo altamente improbabile stante le dimensioni di tale nuovo serbatoio. Un'ottima ubicazione per tale nuovo pozzo – all'interno del recinto termale, vicina agli stabilimenti e ad una quota idonea per la distribuzione dell'acqua – potrebbe essere in prossimità della sorgente Giulia, di grande portata (100 l/s), ma utilizzata solo per usi industriali perché inquinata.

Volendo infine esaminare i già citati rapporti tra termalismo e attività estrattiva, la maggior parte delle sorgenti termominerali si trova in regioni montuose o collinari o meglio ancora in quella fascia di raccordo tra la pianura e la zona pedecollinare che spesso è sede di faglie distensive (v. Fig. 1). Questo in quanto, affinché l'emergenza termale possa manifestarsi, è opportuno che le acque compiano il minor tragitto dal serbatoio alla sorgente, e soprattutto non si disperdano all'interno di un materasso alluvionale eccessivamente potente perché altrimenti si diluirebbero troppo nelle acque di origine superficiale. Spesso inoltre le sorgenti con una buona quantità di sali disciolti si trovano in corrispondenza di affioramenti di rocce calcaree in quanto è per mezzo dell'attraversamento di tali rocce che avviene la mineralizzazione delle acque.

Non è un caso quindi che molte cave di inerti calcarei siano state ubicate in prossimità di sorgenti termominerali perché anche per le cave sia la presenza della pietra calcarea sia la vicinanza alla pianura e alle sue infrastrutture costituiscono necessità vincolanti.

Una tale coesistenza, a torto o a ragione, è però risultata negli anni '80 impossibile ed ha portato alla chiusura di tutte le cave in prossimità delle sorgenti termominerali: soltanto nelle nostre zone, le cave di Caprona e Oliveto, di San Giuliano Terme, di Maona a Montecatini Terme e soprattutto, del Colle di Monsummano.

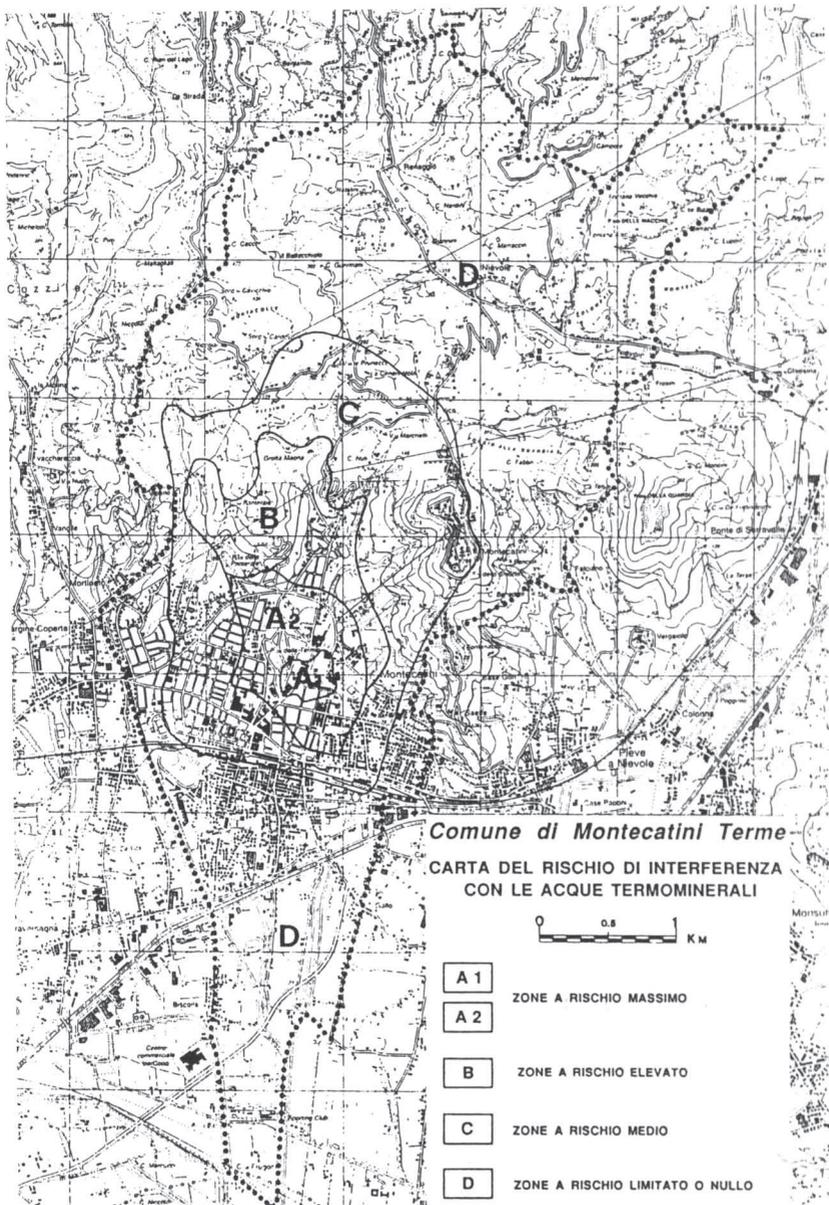


Fig. 7: La zonazione del territorio di Montecatini Terme indirizzata alla protezione del campo idrotermale (da VERANI, 1995).

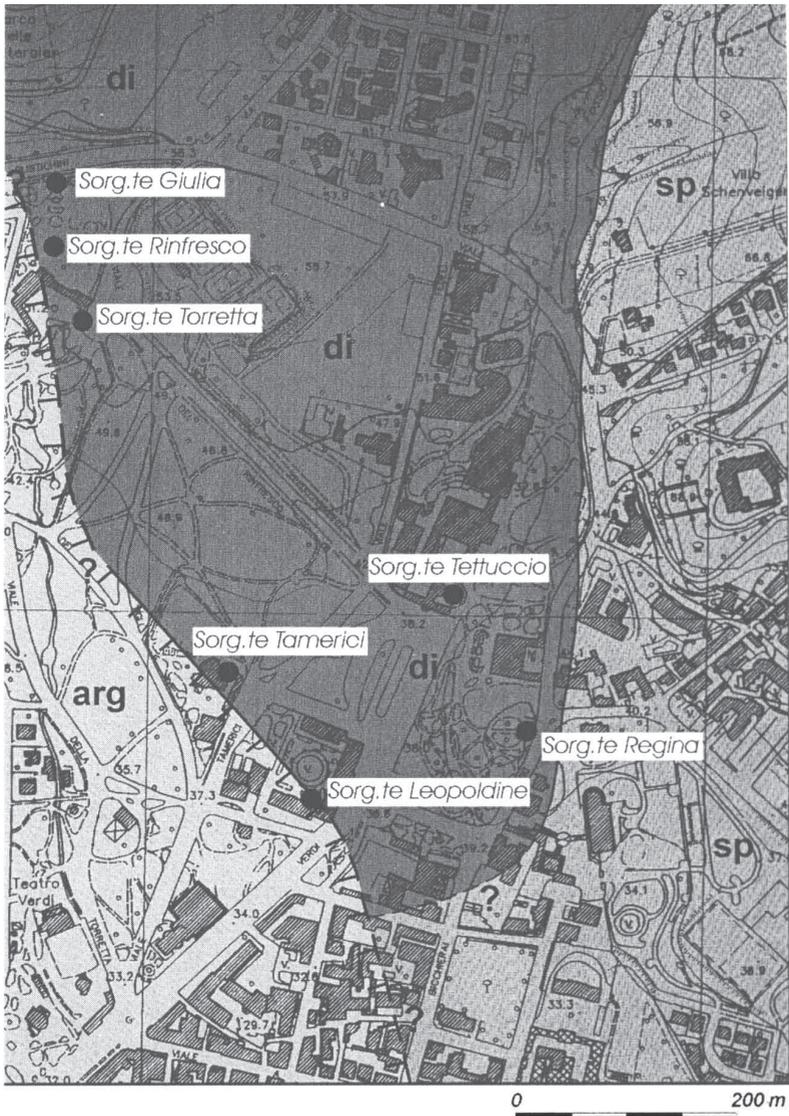


Fig. 8: Carta geologica del substrato pre-Pleistocene sup. (area di affioramento del substrato roccioso dei Diaspri senza la sua copertura quaternaria).

Anche per Monsummano infatti il termalismo sottostante è stato (DE GIULI, 1975) uno dei motivi che hanno portato ad una accelerata chiusura delle cave. In molti casi tuttavia più che una motivazione scientificamente suffragata, si è trattato di un pretesto per porre fine ad una attività indubbiamente molesta anche se di grande importanza per l'economia comprensoriale, in quanto nel caso di Monsummano – a mio parere – la possibilità di interferenza tra escavazione e termalismo non esisteva viste le modalità di risalita delle acque lungo le faglie, molto ben protette all'interno dell'ammasso calcareo.

In realtà la fine dello sfruttamento di molte cave in Toscana è stata causata da una neoacquisita e ancora un po' acerba coscienza ecologica e dal fatto che l'urbanizzazione, nel suo progressivo espandersi, ha portato a contatto con i poli estrattivi una popolazione poco disposta alla tolleranza dei disagi collegati a una attività industriale. La conseguenza di queste chiusure affrettate è stata però che non si è avuta l'accortezza di portare a termine quel processo di ripristino ambientale che pure le normative appena introdotte (L.R. 36/80) prescrivevano.

Questo in quanto il progetto di coltivazione di una cava consiste nel realizzare una nuova morfologia naturale, diversa ovviamente dalla precedente perché si è estratto del materiale, ma altrettanto compatibile con il contesto ambientale adiacente, in modo che non restino tracce evidenti dell'escavazione avvenuta, ma questa attività rimanga un momento transitorio, anziché perenne, nella vita del territorio. La nuova inclinazione del versante, l'andamento delle curve di livello e gli altri parametri che condizionano la morfologia devono pertanto essere ipotizzati, fin dalla fase progettuale, in maniera da creare un nuovo paesaggio armonico piuttosto che un contesto degradato di pareti verticali o subverticali e di nicchie simili ad un "morso" in un blando rilievo collinare.

Quando si debba poi recuperare una cava abbandonata o una cava in avanzato stato di attività si dovrà cercare di applicare gli stessi criteri progettuali, con le difficoltà connesse con l'operare in un'area già compromessa da una coltivazione non razionalmente indirizzata.

Nel caso del Colle di Monsummano tuttavia era possibile portare a compimento un piano di recupero con ottimi risultati in quanto la pianta ellittica del colle consentiva un allargamento delle spalle del fronte di

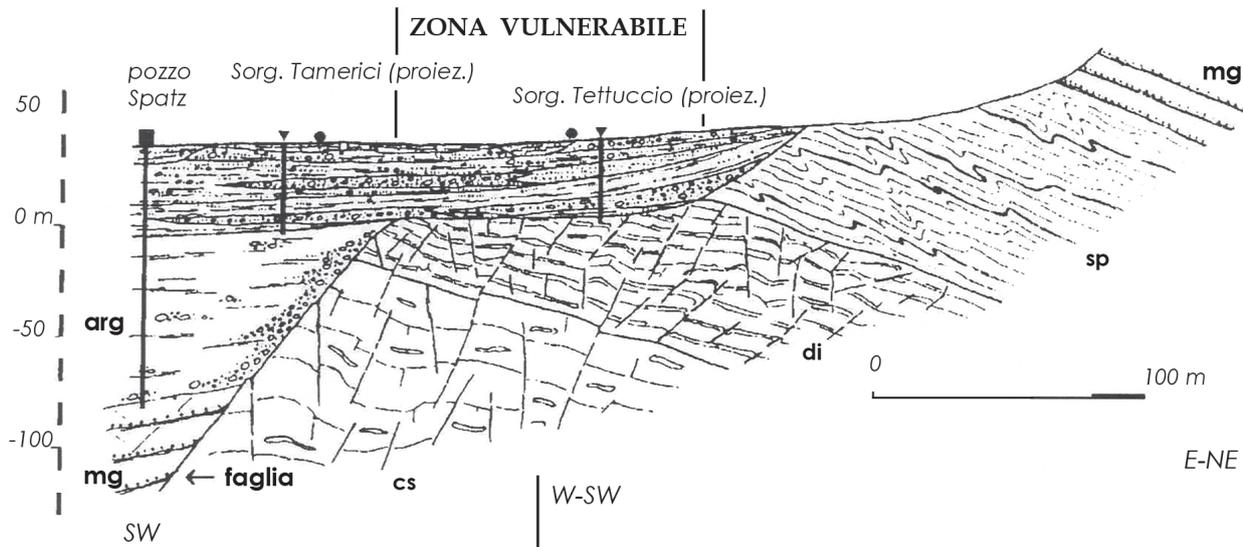


Fig. 9: Sezione geologica, attraverso il campo termale di Montecatini: la zona ad alta vulnerabilità per le sorgenti è quella compresa tra la faglia e i sedimenti argillosi fluvio-lacustri (arg), a sinistra, e il contatto dei Diaspri (di) con la Scaglia rossa (sp), a destra.

cava, l'abbattimento del diaframma che separava la cava inferiore da quella superiore permetteva la rigradonatura della parete subverticale ripristinando un versante dall'inclinazione accettabile e come risultato complessivo si sarebbe avuto un fronte completamente rinverdito con essenze tipiche del luogo e il piazzale alto poteva diventare un belvedere aperto sulla Valdinievole con una notevole possibilità di ricaduta turistica. La figura 10 tratta dallo studio eseguito a quell'epoca per i proprietari delle cave (ECOGEO, 1983) mostra quale sarebbe stato l'aspetto del colle al termine della risistemazione ipotizzata.

Purtroppo questo progetto non fu portato a compimento perché l'Amministrazione Comunale dell'epoca ritenne che da una iniziativa di parte imprenditoriale come quella si estraesse troppo materiale e durasse troppo tempo. Fu allora proposto un altro piano di coltivazione che voleva mantenere il diaframma tra le due cave e prometteva tempi minori: in realtà il diaframma non rimase integro e i tempi superarono di gran lunga le previsioni. Anche la riforestazione fu totalmente errata inserendo essenze (il cipresso) dalla scarsa crescita e dall'ancor più limitato effetto coprente del fronte anziché le specie tipiche del luogo (p. es. la roverella, il carpino e specie arbustive cadenti e coprenti).

Le cave di Monsummano rimarranno dunque l'esempio – e purtroppo non l'unico – di come l'eccessiva fretta nella chiusura di un bacino estrattivo abbia cristallizzato per sempre una situazione di degrado ambientale che una maggiore elasticità e lungimiranza di gestione avrebbe potuto ridurre o eliminare.

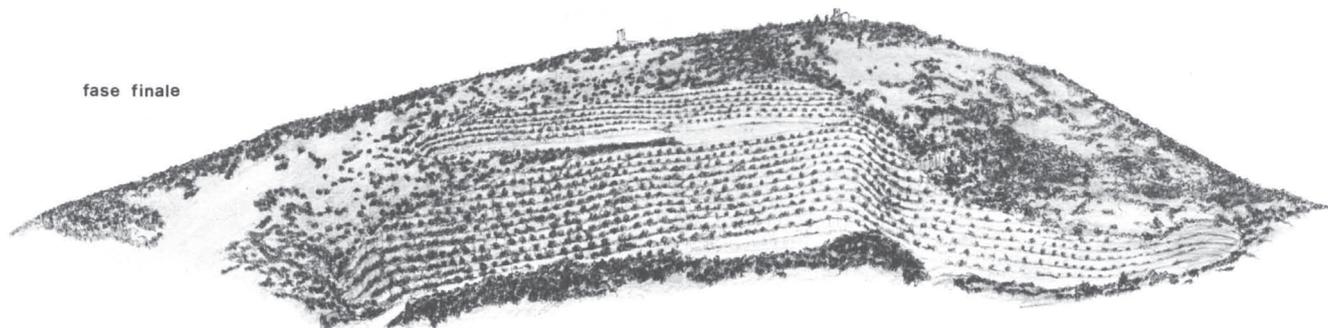


Fig. 10: Vista prospettica del progetto di recupero ambientale delle cave del Colle di Monsummano; la parte sinistra del fronte mostra il reimpianto della vegetazione in una fase già avanzata, mentre nella residua parte è ancora in fase iniziale (da ECOGEO s.r.l., 1983).

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- BANCHELLI B. (1973) – *Note tecnico-giuridiche sulla salvaguardia del bacino idrologico di Montecatini Terme*. *Tecnica e Metodologia Economale*, n. 4, XXIII, 3-10, Firenze.
- BARTOLINI C. (1980) – *Sulle variazioni dei parametri fisici e chimici delle acque termali di Monsummano*. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat.*, Mem., 87, 31-37, 1 tav., Pisa.
- BENCINI A., DUCHI V. & MARTINI M. (1977) – *Geochemistry of thermal springs of Tuscany (Italy)*. *Chemical Geology* 19, 229-252, Amsterdam.
- BINAZZI P.P. & VERANI M. (1979) – *Assistenza geologica alla Variante 1978 del P.R.G.* Relazione tecnica inedita per conto del Comune di Montecatini Terme, 6 tt. f.t.
- BINAZZI P.P. & VERANI M. (1979 – 1983) – *Progetto di massima e progetto esecutivo del recupero ambientale della cava abbandonata di Maona*. Relazioni tecniche inedite per conto del Comune di Montecatini Terme.
- BINAZZI P.P. & VERANI M. (1982) – *Metodologie di recupero ambientale nell'attività estrattiva*. Conv. Intern. "Progettazione del paesaggio e dell'ambiente", giugno 1982, Pre-print degli Atti, Tip. Comune di Pistoia
- BINAZZI P.P. & VERANI M. (1984) – *Problematica dell'attività estrattiva nel comprensorio pistoiese*. *Pistoia Programma*, terza serie, anno VI, 34, 22-30, Tipografica Pistoiese, Pistoia.
- BRANDI G.P., FRITZ P., RAGGI G., SQUARCI P., TAFFI L., TONGIORGI E., TREVISAN L. (1967) – *Idrogeologia delle Terme di Montecatini*. *Collana scientifica delle Terme di Montecatini*, 39, Montecatini Terme.
- CANAVARI M. (1920) – *Protezione delle sorgenti idrominerali*. L'idrologia, la climatologia e la terapia Fisica. Tip. E. Fattori & C., Firenze.
- CANAVARI M. (1923) – *Le sorgenti di Montecatini di fronte alla geologia*. *Giornale di Geologia pratica*, XVIII (1-4), Pavia.

- CAROBBI G. & CIPRIANI C. (1954) – *Ricerche geochimiche sulle acque minerali di Montecatini Terme (Pistoia)*. Rend. Soc. Min. It., X, Pavia.
- CORADOSSI N. & MARTINI M. (1965) – *Contributo allo studio geochimico delle acque di Montecatini Terme*. Rend. Soc. Min. It., 75, XXI, Milano.
- C.N.R. – G.N.D.C.I. (1988) – *Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acque sotterranee*. Pubbl. n° 75 (Francani V. Edit., Civita M. Coed.), Geo-graph, Milano.
- DALLAN NARDI L. & NARDI R. (1974) – *Schema stratigrafico e strutturale dell'Appennino settentrionale*. Mem. Accad. Lunig. Sc. "G. Capellini", 42 (1972), 1-212.
- DE GIULI C., DURAZZO A., FAZZUOLI M., PIERUCCINI V. (1975): *Problemi geologici inerenti la coltivazione delle cave sul colle di Monsummano*. In: Studi dell'Amministrazione Comunale di Monsummano Terme – La questione delle cave. 11-56, 12 ff., 5 tab., 2 tav. f.t. .
- DESIO A. (1973) – *Geologia applicata all'ingegneria*. 1193 pp., Hoepli ed., Milano
- DUCHI V., FAZZUOLI M., PICCINI L. & CHIAPPINI L. (1999) – *Idrogeologia e geochimica del sistema termale di Monsummano*. In "Il colle di Monsummano Alto: le pietre e le acque", 17-33, Pacini ed., Pisa.
- ECOGEO S.r.l., PISTOIA (1977-1981) – *Piano di risistemazione delle cave del Colle di Monsummano*. Relazioni tecniche inedite per le Imprese Baccioni e Vannucci, Monsummano Terme (PT).
- ECOGEO S.r.l., PISTOIA (1983) – *Indagine conoscitiva sull'idrogeologia superficiale del campo idrotermale*. Relazione tecnica inedita per il Comune di Montecatini Terme, 36 pp., 442 schede, 143 tabb., 16 tt. f.t.
- ECOGEO S.r.l., PISTOIA (1984) – *Criteri di protezione e salvaguardia del campo idrotermale*. Relazione tecnica inedita per il Comune di Montecatini Terme, 33 pp., 5 tt., 1 tab.
- ECOGEO S.r.l., PISTOIA (1993) – *Assistenza geologica al P.R.G. ai sensi della Delib. R.T. 94/85*. Relazione tecnica inedita per il Comune di Montecatini Terme, 75 pp., 3 tabb., 4 tt. f.t.

- FAZZUOLI M. & MAESTRELLI MANETTI O. (1973) – *I nuclei mesozoici di Monsummano, Montecatini Terme e Marliana (prov. di Pistoia)* – Mem. Soc. Geol. It., 12, 39-79, 32 ff.
- FAZZUOLI M., BURCHIETTI G. & MANNORI G. (1999) – *La geologia: stratigrafia e tettonica*. In “Il colle di Monsummano Alto: le pietre e le acque”, 63-78, Pacini ed., Pisa.
- GIANI E. (1951) – *Le sorgenti termali dell’azienda demaniale di Montecatini*. Rivista del catasto e dei servizi Tecnici Erariali, Nuova Serie, anno VI n. 1, 1951, pp. 3-21, 2 tt., 9 ff.
- LOTTI B. (1910) – *Geologia della Toscana*. Mem. Descr. Carta Geol. d’It., 13, 1-484, Roma.
- LOTTI B. (1927) – *Il regime sotterraneo delle acque basse di Montecatini Terme*. Boll. R. Uff. Geol. d’It., LII, n. 10, Roma.
- NARDI R., PUCCINELLI A. & VERANI M. (1981): *Carta geologica e geomorfologica con indicazioni di stabilità della Provincia di Pistoia* in 4 fogli alla scala 1:25.000. S.EL.CA., Firenze.
- PUCCINELLI A., VERANI M. & ROSSINI V. (2000) – *Nuovi dati sull’assetto idrogeologico dell’area termale di Montecatini Terme (Pistoia) e loro implicazioni nella pianificazione territoriale*. Quaderni di Geologia Applicata, 7 – 3(2000), pp. 33-48, 7 ff., Pitagora Ed. Bologna.
- RAGGI G. & TREVISAN L. (1973) – *Protezione idrogeologica del campo idrotermale di Montecatini: delimitazioni di aree di rispetto*. Relazione tecnica per conto della Società Terme di Montecatini, 3 pp., 1 t.
- ROSSINI V. (1997) – *Utilizzo delle prospezioni geoelettriche per la definizione dell’assetto idrogeologico dell’area termale di Montecatini Terme (PT)*. Tesi di laurea inedita, Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università, a.a. 1996/97, Pisa.
- TERRITORIO E AMBIENTE S.R.L., BORGO A BUGGIANO (1994-1995) – *Indagini sulle potenzialità di recupero ambientale delle situazioni di degrado conseguenti l’attività estrattiva presenti sul territorio provinciale*. Relazione tecnica inedita per conto dell’Amministrazione Provinciale di Pistoia, 8 tt. f.t., 46 schede.
- TREVISAN L. (1951) – *Una ipotesi sull’origine della termalità di al-*

cune sorgenti della Toscana. “L’Industria mineraria”, febbraio, Roma.

TREVISAN L. (1954) – *La nuova sorgente Leopoldina di Montecatini Terme e le condizioni geologiche del sottosuolo*. Boll. Ingegneri Firenze II, n° 8-9, Firenze

TREVISAN L., BRANDI G.P., DALLAN L., NARDI R., RAGGI G., RAU A., SQUARCI P., TAFFI L., TONGIORGI M, (1971) – *Note illustrative della Carta geologica d’Italia alla scala 1:100.000: Foglio 105 (Lucca)*. Min. Ind. Comm. Art., Serv. Geol. d’It, 51 pp., Arti grafiche Ditta E. Di Mauro, Cava dei Tirreni.

VERANI M. (1995) – *La vulnerabilità delle falde idrotermali di Montecatini Terme (Pistoia) nell’ambito della pianificazione territoriale del Comune ai sensi della L.R. Toscana 21/84*. Atti del 2° Convegno internazionale di geoidrologia, Firenze, dicembre 1993. Quaderni di Tecniche di protezione ambientale, 49, 294-302, 2 tabb., 1 f., Pitagora ed., Bologna.

LE MANIFESTAZIONI TERMALI DELL'AREA DI LARDERELLO
E DELLE AREE DI VULCANISMO ATTIVO:
UN CONFRONTO

L'industria termale in Toscana rappresenta un bene di grande importanza: essa è legata alle numerose sorgenti termali o termominerali che caratterizzano la nostra regione e che in parte sono legate al sistema geotermico toscano, e in parte hanno meccanismi di genesi e venuta in superficie differenti, come nel caso del campo termale di Montecatini-Monsummano trattato in precedenza.

Nel primo caso, le sorgenti termali costituiscono il corteo esterno di manifestazioni superficiali relativamente fredde dei sistemi geotermici di Larderello e del Monte Amiata mentre le sorgenti termali di Saturnia, Caldana e Calidario (Venturina) e Casciana Terme sono la espressione della zona bordiera di emergenza del serbatoio carbonatico del sistema geotermico di Larderello-Travale. Le altre manifestazioni termali sono sempre legate invece – in una situazione geologica di anomalia termica superiore al normale – a strutture tettoniche ben precise che consentono ai fluidi meteorici di percolare in profondità di riscaldarsi e di risalire per galleggiamento rispetto ai fluidi freddi circostanti. In particolare Montecatini, Monsummano, San Giuliano Terme ed altre, sono espressione di circuiti termali legati a faglie ed a vie preferenziali di permeabilità.

Volendo introdurre l'argomento di questa conferenza, è opportuno

*Docente di *Geotermia* - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa.

premettere che Geotermia deriva dalle parole greche *geo* terra e *therme* calore, la geotermia è quindi il calore della terra. L'energia geotermica è presente ovunque al disotto della superficie del pianeta. Dal punto di vista della utilizzazione pratica l'energia geotermica può essere definita come l'energia che può essere estratta da vapore ed acqua calda presenti in natura in formazioni rocciose. Le risorse geotermiche ad alta temperatura, le più importanti per l'uomo, sono concentrate in aree specifiche della terra ed in particolare in aree di vulcanismo attivo e recente.

Il calore geotermico trae la sua origine dal calore originato nella accrezione di polvere e gas cosmici avvenuta più di 4 miliardi di anni fa. Ad oggi nel nucleo terrestre si raggiungono quasi 5000 °C. e il calore fluisce continuamente dal nucleo verso la superficie della terra. Mediamente il flusso di calore sulla superficie terrestre è di 50 mW/m² sia in aree continentali che oceaniche. In opportune condizioni di temperatura e pressione nel mantello terrestre si possono raggiungere le condizioni di fusione generando i magmi. Questi risalgono dando origine a vulcani e trasportando grandi quantità di calore dal mantello terrestre a bassa profondità nella crosta; il magma può rimanere intrappolato in profondità consentendo il riscaldamento di volumi importanti di rocce e di fluidi, in particolare acque meteoriche, percolate in profondità. Le acque termali ed eventualmente i gas possono risalire in superficie attraverso faglie e fratture dando origine a sorgenti termali, eventualmente *geysers* e fumarole. La maggior parte dei fluidi termali rimane però intrappolato in profondità dando origine a serbatoi geotermici. Un contributo importante al flusso di calore terrestre è fornito nelle zone della terra caratterizzate da crosta continentale dal calore radiogenico derivante dal decadimento di isotopi radioattivi (Th, U e K). Il calore "radiogenico" contribuisce per circa il 50% al flusso di calore in aree continentali.

La geotermia si occupa dello sfruttamento industriale delle risorse geotermiche; ad oggi la tecnologia esistente consente esclusivamente di sfruttare l'energia termica immagazzinata nei cosiddetti sistemi idrotermali. Non esistono tecnologie industriali che consentano di sfruttare con ricavi economici l'energia contenuta direttamente nel magma o in rocce calde dove non sia presente acqua allo stato liquido o gassoso. Questo limita fortemente le possibilità di sfruttamento del calore terrestre che in teoria potrebbe essere sufficiente al fabbisogno globale di energia

dell'uomo. Questo limite è dettato dalla esistenza del vettore acqua, l'unico oggi in grado di estrarre calore da sistemi caldi.

I sistemi idrotermali in sfruttamento industriale sono chiamati campi geotermici. I sistemi idrotermali sono presenti in aree vulcaniche attive o recenti connessi alle anomalie termiche superficiali indotte dalle camere magmatiche dei vulcani stessi (in Italia esempi di questi sistemi idrotermali sono Ischia, Pantelleria, Vulcano, Lipari e Panarea ed i vulcani laziali Latera, Bolsena, Vico, Bracciano). Sistemi idrotermali si sviluppano anche in aree interessate da intrusioni magmatiche geologicamente recenti come Larderello e Amiata (quest'ultimo è però coincidente con un vulcano giovane) ed in aree di distensione crostale legate a risalita del mantello e a presenza di una tettonica regionale distensiva (Bacino di Parigi, *graben* del Reno, bacino Pannonico etc...).

Che cosa è dunque un campo geotermico? In sostanza è un settore della crosta dove sono immagazzinati fluidi idrotermali.

Per l'esistenza di un campo geotermico sono necessari tre requisiti; il primo è rappresentato dalla presenza di una anomalia termica nella crosta terrestre. Comunemente le anomalie termiche sono indotte dalle camere magmatiche dei vulcani o da intrusioni di magma nella crosta o dalla risalita anomala del mantello terrestre a profondità relativamente basse. Il secondo requisito perché si formi un campo geotermico è rappresentato dalla esistenza nel sottosuolo di formazioni rocciose permeabili in grado di contenere fluidi ed aventi permeabilità tali da consentire il libero movimento dei fluidi "per convezione"; queste formazioni debbono essere connesse a zone dove acque in genere meteoriche si infiltrano e alimentano il serbatoio. Il terzo requisito è rappresentato dalla esistenza al disopra del serbatoio di formazioni rocciose impermeabili che impediscano la libera dispersione in superficie delle acque e dei fluidi termali mantenendo così il calore immagazzinato nel serbatoio geotermico.

I fluidi geotermici possono essere utilizzati per generazione di energia elettrica oppure direttamente in numerose applicazioni civili ed industriali.

Per la generazione di energia elettrica si utilizzano fluidi aventi temperature maggiori di 180°C. I fluidi da pozzi di produzione che captano acqua o vapore nei serbatoi geotermici vanno in turbina fornendo

la forza per il movimento delle turbine stesse. Nel caso di un campo geotermico a vapore secco, ad esempio Larderello, il vapore dai pozzi di produzione va direttamente in turbina fornendo la forza per il movimento di rotazione di turbina ed alternatore. Nei campi ad acqua dominante l'acqua dal pozzo di produzione va in un separatore dove si trasforma in vapore e successivamente il vapore va in turbina. Se la temperatura del fluido geotermico è bassa ma superiore a 150-180 °C può ancora essere prodotta energia elettrica in un impianto binario. In questo tipo di impianto il fluido geotermico passa attraverso uno scambiatore di calore dove avviene il trasferimento della energia termica ad un fluido secondario ad esempio isobutano o isopentano che bolle a temperatura inferiore all'acqua. È questo liquido che riscaldato si trasforma in vapore e che viene inviato in turbina. In questo ciclo di produzione non avviene nessuna emissione di inquinanti o vapore in aria.

Nei tre casi descritti il fluido geotermico "esausto" all'uscita dalla turbina viene reiniettato nel serbatoio geotermico da cui è stato estratto evitando problemi di impatto ambientale e di depauperamento del serbatoio stesso. Una parte di vapore estratto dal serbatoio viene comunque perduto in atmosfera nelle torri di condensazione in misura variabile tra il 30 ed il 40%.

I fluidi geotermici possono essere impiegati anche direttamente nelle varie attività umane. I settori di impiego più importanti sono relativi agli usi civili, nel teleriscaldamento di abitazioni o di strutture pubbliche agli usi industriali dove è necessario calore di processo, agli usi agroindustriali, riscaldamento di serre, allevamenti di pesci o animali etc... ed agli usi balneo-terapeutici, l'industria delle terme o SPA dal latino *salus per aquam*.

In Toscana l'energia geotermica rappresenta una fonte energetica di primaria importanza. La produzione di energia elettrica geotermica copre circa il 25% del fabbisogno regionale contribuendo a mantenere l'impatto ambientale dovuto alla produzione di energia a livelli accettabili. I vantaggi della produzione di energia elettrica da fonti geotermiche sono molteplici:

— è una energia pulita, non sono impiegati combustibili per produrre il vapore che fa girare le turbine di una centrale; aiuta quindi

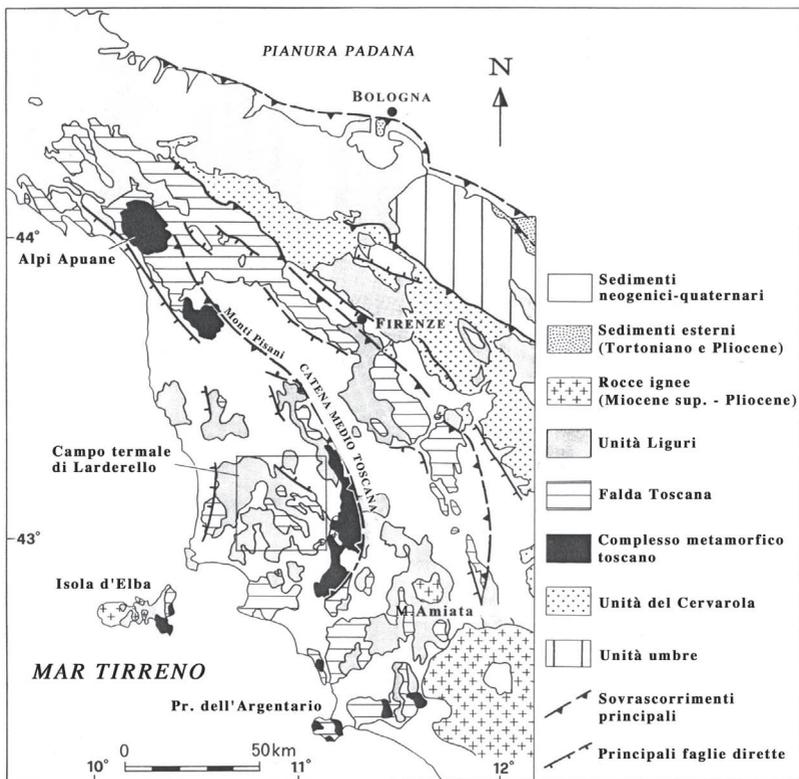


Fig. 1: Carta schematica delle zone centrale ed esterna dell'Appennino settentrionale. (Da Boccaletti & Sani – 1998 – “Cover thrust reactivations during Neogene-Quaternary evolution of the northern Apennines”, *Tectonics*, 17, 112-130, mod.)

a conservare le fonti di energia fossili e riduce fortemente le emissioni di gas serra in atmosfera.

- Le centrali geotermoelettriche hanno la percentuale di utilizzazione più alta tra tutti i tipi di centrali, lavorano comunemente 24 ore su 24 per 12 mesi all'anno.

- Presentano un minore impatto sul territorio rispetto alle centrali convenzionali avendo dimensioni ridotte.

- Con la tecnologia di abbattimento dei gas ad alto impatto ambientale (H_2S) sostanzialmente non si verifica inquinamento significativo di aria e suoli nell'area della centrale.

- Consente di non impegnare capitali per l'acquisto di

combustibile. I vantaggi economici rimangono nel paese di produzione e non si è soggetti agli *shocks* economici dovuti ad esempio alla fluttuazione del costo del petrolio.

La Toscana è a causa della sua conformazione geologica la regione geotermica italiana per eccellenza insieme alla Campania anch'essa ricca di risorse termali per la presenza dei tre vulcani attivi, Vesuvio, Campi Flegrei e Ischia. La anomalia termica toscana e l'elevato flusso di calore superficiale che ne consegue vede le sue origini nella evoluzione geodinamica delle regione nelle epoche geologiche recenti, dal Mio-Pliocene ad oggi. L'affondamento e l'arretramento della placca adriatica in subduzione al disotto dell' Appennino ha provocato la risalita del mantello astenosferico e l'assottigliamento della crosta nella nostra regione inducendo un elevatissima anomalia termica che ha portato ad esteso magmatismo legato a risalita di magmi mantellici ed a processi estesi di fusione parziale della crosta e conseguente messa in posto in

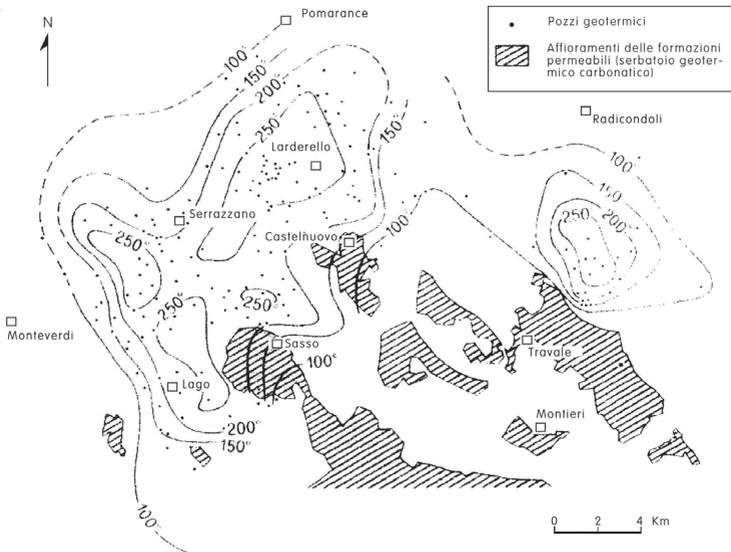


Fig. 2: Distribuzione delle temperature [°C] al tetto del serbatoio nell'area di Larderello/Radicondoli (da "Guida geologica di Larderello" dell'ENEL)

più fasi a bassa e bassissima profondità di intrusioni granitiche (Fig.1). Queste affiorano nell'arcipelago toscano e sulla costa tirrenica e sono intruse a pochi Km (2-4) di profondità nella crosta superiore nell'area geotermica della Toscana a sud dell'Arno. Le perforazioni profonde, le prospezioni sismiche a riflessione e gli esperimenti di sismica crostale hanno ormai dimostrato che nel sottosuolo della Toscana geotermica sono presenti batoliti granitici. È stata così dimostrata la intuizione geologica di uno dei padri della geotermia italiana, Giorgio Marinelli, che osservando la presenza di una ampia zona interessata da un sollevamento quasi circolare suggeriva che il sottosuolo toscano fosse interessato da intrusioni granitiche. Queste avrebbero provocato il sollevamento a scala regionale denominato *Etruscan swelling*. I batoliti granitici hanno rappresentato la sorgente di calore che ha indotto la formazione dei campi geotermici toscani. L'elevato flusso e le elevate temperature, che ancora oggi caratterizzano l'area geotermica (Fig. 2) è però da imputare oltre alla messa in posto di corpi intrusivi anche all'assetto strutturale della regione caratterizzato da un forte assottigliamento crostale e da risalita del mantello. Questo ha consentito per vari milioni di anni un flusso di calore molto elevato tale da impedire il completo raffreddamento delle intrusioni granitiche che ad oggi sarebbero in condizioni di flusso di calore normale in buona parte raffreddate. Le intrusioni granitiche hanno anche favorito la formazione di serbatoi geotermici profondi a causa delle modificazioni reologiche subite dalle rocce intruse dai magmi granitici stessi. I serbatoi profondi di Larderello-Travale sono ospitati in gran parte in rocce cornubianitiche (Fig. 3) che fanno parte della aureola termome-tamorfica dei batoliti granitici. Parte di questi sistemi idrotermali profondi si è sviluppata anche all'interno dei graniti stessi quando la fratturazione lo ha consentito. I fluidi del sistema idrotermale di Larderello Travale sono rappresentati da fluidi meteorici con minori apporti di fluidi profondi, metamorfici o magmatici. Questi fluidi profondi sono con tutta probabilità oggi stoccati in un particolare livello crostale rivelato dagli studi di sismica profonda eseguiti nell'area geotermica e definito "Orizzonte K".

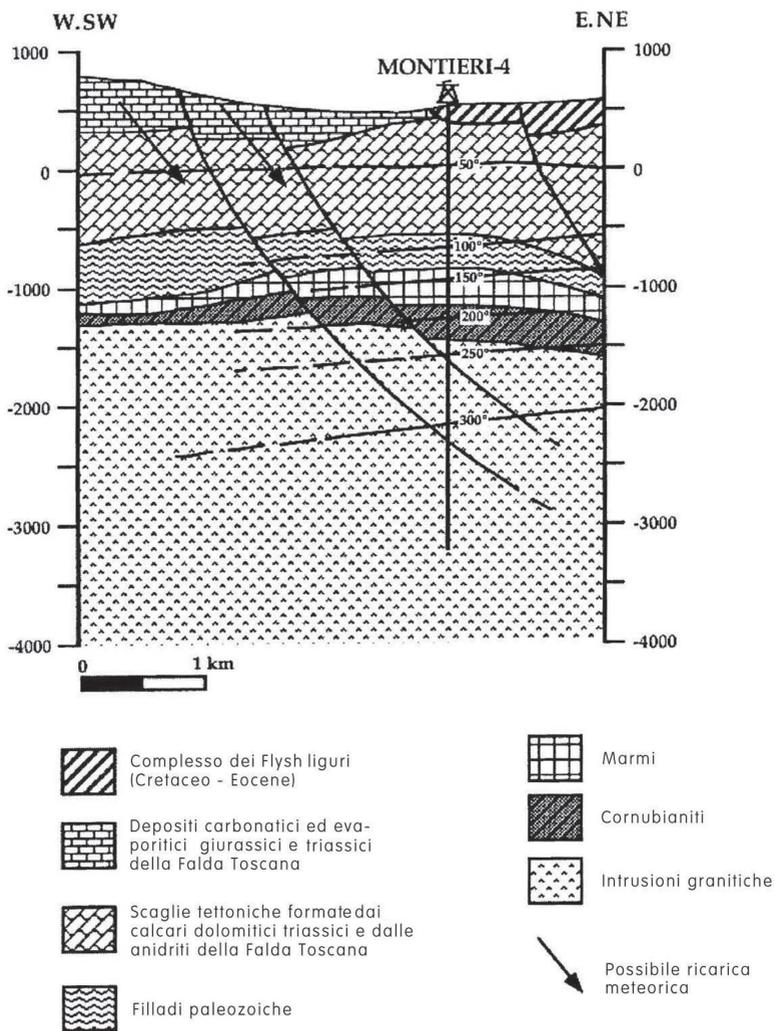


Fig. 3: Sezione geologica schematica attraverso l'area del pozzo geotermico Montieri-4 (da BOYCE et al. (2003) « Journal of Volcanology and Geothermal Research », 2634, pp. 1-20).

BIBLIOGRAFIA TEMATICA

- BOYCE A.J., FULIGNATI P., SBRANA A., *Deep hydrothermal circulation in a granite intrusion beneath Larderello geothermal area (Italy): constraints from mineralogy, fluid inclusions and stable isotopes*, « Journal of Volcanology and Geothermal Research », vol. 126, pp. 243-262, 2003.
- CAIOZZI F., FULIGNATI P., GIONCADA A., SBRANA A., *Studio SEM-EDS dei minerali figli nelle inclusioni fluide del granito di Botro ai Marmi (Campiglia Marittima) e possibili implicazioni minero-genetiche*, Atti Società Toscana Scienze naturali, vol. Serie A 105, p. 65, 1998.
- CARELLA M., FULIGNATI P., MUSUMECI G., SBRANA A., *Metamorphic consequences of neogene thermal anomaly in the northern Apennines (Radicondoli-Travale area, Larderello geothermal field, Italy)*, Geodinamica Acta, vol. 75, p. 42, 2000.
- CIONI R., SANTACROCE R., SBRANA A., *Pyroclastic deposits as a guide for reconstructing the multi-stage evolution of the Somma-Vesuvius caldera*, « Bulletin of Volcanology », vol. 60, p. 207, 1999.
- DEL MORO A., FULIGNATI P., MARIANELLI P., SBRANA A., *Magma contamination by direct wall rock interaction: constraints from xenoliths from the walls of a carbonate-hosted magma chamber (Vesuvius 1944 eruption)*, « Journal of Volcanology and Geothermal Research », num. 1-4, vol. 112, p. 17, 2001.
- FULIGNATI P., SBRANA A., LUPERINI W., GRECO V., *Formation of rock coatings induced by the acid fumarole plume of the passively degassing volcano of La Fossa (Vulcano Island, Italy)*, « Journal of Volcanology and Geothermal Research », vol. 115, p. 397, 2002.
- FULIGNATI P., GIONCADA A., & SBRANA A., *Geologic model of the magmatic-hydrothermal system of Vulcano (Aeolian islands, Italy)*, « Mineralogy and petrology », vol. 62, p. 195, 1998.
- FULIGNATI P., KAMENETSKY V.S., MARIANELLI P., SBRANA A., MERNAGH T.P., *A melt inclusion record of immiscibility between silicate, hydrosaline and carbonate melts: applications to skarn genesis at Mt. Vesuvius.*, « Geology », num. 11, vol. 29, p. 1043, 2001.

- FULIGNATI P., MALFITANO G., SBRANA A., *The Pantelleria caldera Geothermal system: data from the hydrothermal minerals*, « Journal of Volcanology and Geothermal Research », vol. 75, p. 251, 1997.
- FULIGNATI P., MARIANELLI P., SANTACROCE R., SBRANA A., *The skarn shell of the 1944 Vesuvius magma chamber. Genesis and PTX conditions from melt and fluid inclusion data*, « European Journal of Mineralogy », vol. 12, p. 12, 2000.
- FULIGNATI P., MARIANELLI P., SBRANA A., *The feeding system of 1944 eruption of Vesuvius: melt inclusion data from dunitic nodules.*, « Neues Jahrbuch für Mineralogie », Monatshefte, p. 301, 2000.
- FULIGNATI P., MARIANELLI P., SBRANA A., *Glass-bearing felsic nodules from the crystallizing sidewalls of the 1944 Vesuvius magma chamber*, « Mineralogical Magazine », vol. 64, p. 263, 2000.
- FULIGNATI P., MARIANELLI P., SBRANA A., *New insights on the thermo-metamorphic-metasomatic magma chamber shell of the 1944 eruption of Vesuvius*, Acta Vulcanologica, num. 1, vol. 10, p. 47, 1998.
- FULIGNATI P., MARIANELLI P., SBRANA A., *Rocce fergusonitiche dal margine in cristallizzazione della camera magmatica del Vesuvio, eruzione del 1944*, Atti Società Toscana Scienze Naturali, num. 105, vol. Serie A 105, p. 37, 1998.
- GIONCADA A., CLOCCHIATTI R., SBRANA A., BOTTAZZI P., MASSARE D. & OTTOLINI L., *A study of melt inclusions at Vulcano (Aeolian islands, Italy): insights on the primitive magmas and on the volcanic feeding system*, « Bulletin of Volcanology », vol. 60, p. 286, 1998.
- GURIOLI L., CIONI R., SBRANA A., ZANELLA E., *Transport and deposition of pyroclastic density currents over an inhabited area: the deposits of the 79 AD eruption of Vesuvius at Herculaneum (Italy)*, « Sedimentology », num. 1, vol. 49, pp. 929-953, 2002.
- GURIOLI L., SBRANA A., *Caratterizzazione stratigrafica e sedimentologica dei depositi della eruzione della Breccia di Commenda (Isola di Vulcano)*, Atti Società Toscana Scienze Naturali, num. 1, vol. 106, p. 13, 1999.

- MARIANELLI P., METRICH N., SBRANA A., *Shallow and deep reservoirs involved in the magma supply of the 1944 eruption of Vesuvius*, « Bulletin of Volcanology », vol. 61, p. 48, 1999.
- MAZZARINI F., PARESCHI M.T., SBRANA A., FAVALLI M., FULIGNATI P., *Surface hydrothermal alteration mapping at Vulcano Island using MIVIS data*, « International Journal of Remote Sensing », vol. 13, p. 47, 2000.
- SANTACROCE R., CIONI R., LONGO A., MACEDONIO G., SBRANA A., SULPIZIO R., ANDRONICO D., *Assessing pyroclastic fall hazard through field data and numerical simu Vesuvius*, « Journal of geophysical reserch-solid earth », num. 4, p. 567, 2002.

INDICE GENERALE

AMLETO SPICCIANI, <i>Ragioni della scelta di un tema</i>	pag.	5
ROBERTO SANTACROCE, <i>Parole d'introduzione</i>	»	9
MARIO VERANI, <i>Il termalismo nell'area tra Montecatini e Monsummano</i>	»	11
ROBERTO SBRANA, <i>Le manifestazioni termali dell'area di Larderello e delle aree di vulcanismo attivo: un confronto</i>	»	35

Stampato in proprio
Dicembre 2003

Parrocchia dei Santi
Pietro apostolo e Marco evangelista
p.za San Marco, 1
51018 Pieve a Nievole, Pistoia.

