

Regione Toscana
Accordo di Programma Quadro Ricerca e trasferimento tecnologico per il sistema produttivo
III Accordo integrativo



Rapporto su acquisizione dati e analisi (Prodotto P2.1)

Pacco di lavoro: WP.2– Acquisizione e analisi dati
Task 2.1 – Acquisizione dei dati
Task 2.2 – Analisi dei dati

A cura di: DST – Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Firenze

Data compilazione: Maggio 2009 (Mese 7)

Indice

1	Premessa	3
2	Introduzione	3
3	Acquisizione dei dati	4
3.1	Acquisizione dati geologici.....	4
3.2	Acquisizione dati geochimici	5
3.3	Acquisizione dati idrogeologici	6
	Analisi dei dati	8
3.4	Analisi dati geologici.....	9
3.5	Analisi dati geochimici	9
3.6	Analisi dati idrogeologici	10
	Allegato I - Estratto dal Database Bibliografico	12

1. Premessa

Il presente report avrebbe dovuto essere consegnato alla fine del sesto mese di lavoro, quando, da cronoprogramma, era previsto si sarebbero concluse le operazioni di raccolta ed elaborazione dati ai fini della realizzazione del modello geometrico dei due bacini di Larderello-Travale e del M. Amiata.

Ma il reperimento dei dati a suo tempo tempestivamente e ripetutamente richiesti alla Regione Toscana e tramite di lei agli altri Enti interessati (in primis ENEL) non ha avuto la tempestività necessaria al rispetto dei tempi previsti.

In particolare la Banca Dati Pozzi Geotermici e Sorgenti (BNPGS) è stata trasmessa solo in data 25 Aprile 2009 e le basi cartografiche in data 9 Giugno 2009. I dati ENEL sono stati reperiti direttamente presso ENEL, manca ancora una loro ufficializzazione da parte della Regione, e sono risultati disponibili solo dati accorpati e in gran parte già frutto di loro interpretazione.

Inoltre la BNPGS avuta dalla Regione riporta ubicazione dei sondaggi difforme in posizionamento e sigle rispetto a quanto avuto da ENEL.

Pertanto la gran mole di lavoro di raccolta, analisi, interpretazione e sviluppo del modello geologico delle aree geotermiche di Larderello-Travale e del M. Amiata svolta a partire dall'ampia bibliografia raccolta sull'argomento, e la sua implementazione in GIS 2D e 3D, in armonia anche con i dati ENEL, necessita attualmente di essere completata con l'inserimento delle basi cartografiche opportune (ancora da verificare nel loro stato di essere e di fruibilità diretta o dopo più o meno ampia elaborazione) e più che altro confrontata, verificata e armonizzata con i dati della BNPGS, azione questa ancora in atto e di non rapido completamento.

Anche i dati di natura meteorologica, forniti dal LAMMA tramite IBIMET, sono risultati in gran parte da rivedere per manifeste incongruenze nei dati stessi e nelle loro elaborazioni di base. Anche questo aspetto sta comportando un lungo e tedioso lavoro di reperimento diretto di dati originali, di confronti e verifiche e di nuove globali elaborazioni. Pertanto anche in relazione a questo aspetto tematico i tempi si dilazioneranno di alcuni mesi, pena il non senso delle elaborazioni risultanti.

Nel complesso ci siamo trovati a dovere fare un lavoro di reperimento diretto di dati, di verifica dei dati forniti dalla Regione e di una loro elaborazione di base assolutamente non previsto nei nostri compiti progettuali, con pesante aggravio dei costi ed allungamento dei tempi, i cui termini non sono al momento precisabili.

Quanto segue nel presente rapporto è pertanto quanto di meglio è stato possibile fare in queste disastrose condizioni di lavoro.

2. Introduzione

I dati presentati in questo report sintetizzano i risultati relativi al lavoro effettuato in questi primi sette mesi di progetto, che può essere suddiviso in due fasi.

La prima fase è stata dedicata alla raccolta dei dati relativi ai campi geotermici toscani di interesse (Larderello–Travale e M. Amiata), al fine di comprendere lo stato delle conoscenze, la tipologia e la disponibilità del dato esistente, nonché la loro effettiva utilità ai fini del progetto. Questa fase si è sviluppata a partire da un'ampia ricerca bibliografica di dati pregressi e implementata, per quanto possibile, sia grazie ad una serie di dati specifici richiesti alla Regione Toscana e, tramite essa, ad altri Enti (Enel, CNR-IGG, etc.) e anche tramite una serie di indagini e rilievi condotti direttamente dal Gruppo di Lavoro del DST.

La seconda fase è stata dedicata all'analisi, organizzazione ed elaborazione dei dati acquisiti, mediante il confronto e l'incrocio fra le informazioni raccolte ed i dati analitici di dettaglio, al fine di definire i parametri più significativi di utilità per il modello fisico–matematico.

L'obiettivo principale di questa fase del progetto era quello di considerare e validare tutti i dati disponibili per produrre una caratterizzazione geologica e termodinamica dei serbatoi geotermici d'interesse e definire i loro limiti geometrici, nonché le loro condizioni di contorno.

3. Acquisizione dei dati

L'acquisizione dei dati è stata effettuata, in primo luogo, mediante un'ampia ricerca bibliografica di dati pregressi (Allegato I), con particolare attenzione anche al reperimento di dati analitici, anche storici, da indagini di tipo indiretto e/o diretto, di natura geologica, idrogeologica, geochimica e geofisica e attraverso una raccolta dei dati derivanti dalle reti di monitoraggio dei dati climatici e da pozzi e sorgenti, operanti in particolare nell'area amiatina. Tale ricerca è stata inoltre estesa ad enti o strutture che, per vari scopi, si sono occupati delle zone oggetto di studio, quali la Regione Toscana, Enel, IGG–CNR, UNCEM, ARSIA, IDROPISA, le Comunità Montane delle aree di interesse, l'Acquedotto del Fiora, etc.

L'insieme del materiale raccolto è stato quindi inserito in un database, aperto e soggetto ad ulteriori integrazioni ed inserimenti, che sarà parte integrante dei prodotti finali.

3.1 Acquisizione dati geologici

Affinché il modello concettuale potesse trovare la sua espressione e rappresentazione nel modello geometrico, così come era stato concepito nelle prime fasi del progetto e come descritto nel precedente rapporto P2.1, è stato necessario implementare le conoscenze già in possesso con una serie di dati specifici, puntuali o areali.

L'acquisizione dei dati geologici, già iniziata durante le fasi di definizione del modello concettuale, è stata effettuata a partire dai dati reperibili in letteratura, su riviste scientifiche nazionali ed internazionali e su pubblicazioni di Enti di Ricerca (quali CNR, etc).

La conoscenza bibliografica è stata comunque supportata da una profonda conoscenza diretta delle problematiche, in quanto alcuni dei partecipanti al progetto hanno condotto diversi studi sulle aree di interesse nei decenni precedenti, così come da partecipazioni a Congressi e Convegni, nazionali ed internazionali, per aggiornamento e confronti critici sull'argomento. Dopo aver raccolto e preso visione di tutta la cartografia geologica esistente pubblicata, sono stati effettuati, in questi mesi, controlli diretti in campagna per verificare alcune situazioni più complesse o sulle quali c'era una certa discordanza nell'interpretazione. In particolare però, in questa fase del progetto, la ricerca è stata mirata alla definizione e ricostruzione,

quanto più precisa possibile, della situazione di sottosuolo delle due aree geotermiche, per la quale purtroppo la conoscenza, per quanto accurata e dettagliata possibile, della geologia di superficie, non è ovviamente sufficiente. Per questo motivo, oltre alle informazioni presenti in letteratura, derivanti da sondaggi o indagini geofisiche di varia natura, sono stati richiesti una serie di dati aggiuntivi, essenziali per gli scopi del progetto, direttamente alla Regione Toscana o, tramite questa, ad altri Enti, soprattutto ENEL che, essendo gestore della risorsa geotermica nei due bacini di Larderello-Travale e M. Amiata, detiene la maggior parte delle conoscenze di dettaglio, sia per quanto riguarda l'assetto geologico-strutturale del sottosuolo dei bacini, sia per quanto ovviamente concerne le caratteristiche termodinamiche e fisiche dei serbatoi geotermici; detiene inoltre, ovviamente contestualmente alla Regione Toscana, tutte quelle informazioni riguardanti il ciclo tecnologico di sfruttamento e reimmissione dei fluidi geotermici. I dati richiesti sono stati forniti solo in parte, direttamente da Enel o tramite la Regione Toscana, in quanto alcuni di questi vincolati come dati industriali sensibili; la maggior parte dei dati forniti inoltre, è stata fornita in maniera aggregata, cioè senza avere a disposizione i singoli dati puntali ma una loro elaborazione spaziale (ad es. dati stratigrafici, di pressione, di temperatura).

Era stata inoltre richiesta la Banca Dati delle Indagini Geotermiche a Bassa Entalpia (BNPGS), redatta dal Centro di GeoTecnologie (CGT) – Università degli Studi di Siena per la Regione Toscana, che ci è stata fornita soltanto alcune settimane fa, sulla base della quale stiamo calibrando e confrontando i dati reperiti in letteratura e i dati provenienti da ENEL.

Infine, altri dati richiesti ad altri Enti, sempre tramite la Regione Toscana, non sono ancora pervenuti.

L'analisi di questi dati è servita per costruire il modello geometrico, a partire dal modello concettuale già esposto nel precedente Rapporto P1.2.

3.2 Acquisizione dati geochimici

Affinché il modello numerico del progetto possa descrivere in maniera realistica i campi geotermici studiati, occorre prendere in esame la componente geochimica, ovvero la composizione chimica della fase liquida e della fase gassosa relativa alle manifestazioni superficiali dei campi di Larderello-Travale e del M. Amiata.

A tal fine sono state condotte sia ricerche bibliografiche sia indagini di tipo diretto e/o indiretto per acquisire dati analitici dei fluidi di superficie (sorgenti termali, sorgenti fredde, manifestazioni gassose, acque superficiali) e dei pozzi.

In generale, per quanto riguarda i dati relativi alla composizione chimica ed isotopica e alle misure di temperatura, di pH e di conducibilità caratterizzanti sorgenti e gas, è stato raccolto materiale bibliografico proveniente dal Dipartimento di Scienze della Terra di Firenze o reperito in via telematica da varie biblioteche scientifiche ufficiali. Da sottolineare la scarsità di informazioni geochimiche riguardanti i dati dei pozzi profondi.

Inoltre, relativamente ai dati di sorgenti e pozzi, un grosso contributo è stato offerto dalla Banca Dati delle Indagini Geotermiche a Bassa Entalpia (BNPGS) redatto dal Centro di GeoTecnologie (CGT) – Università degli Studi di Siena per la Regione Toscana. I dati delle sorgenti si riferiscono a: ubicazione, tipologia, tipo di utilizzo, temperatura, temperatura del serbatoio, portata media; mentre, i dati dei pozzi sono relativi a: ubicazione, tipologia, quota dell'acquifero, tipo di utilizzo, profondità, temperatura massima, profondità della T_{max} , portata.

In particolare, i dati relativi al Monte Amiata sono stati integrati con elementi provenienti da archivi informatici messi a disposizione dai responsabili tecnici dell'Acquedotto del Fiora (Dott.ssa Falletti e Dott. Bellatalla). Presso gli uffici dell'Acquedotto del Fiora a Siena, sono stati recuperati i seguenti dati:

- ubicazione di sorgenti e pozzi dei comuni di Castiglione d'Orcia, Abbadia S. Salvatore, Piancastagnaio, Santa Fiora, Arcidosso, Castel del Piano, Seggiano (per un totale di 78 siti);
- analisi chimiche effettuate dall'ARPAT per il periodo 2002 – 2008 delle sorgenti: Galleria Alta, Galleria Bassa, Ente, Crognolo 1, Burlana, Ermicciolo, Galleria Drenante, Vena Vecchia, Pozzo Pian dei Renai, Pozzo Acqua Gialla;
- analisi chimiche effettuate dall'Acquedotto del Fiora per il periodo 2005 – 2008 di alcune sorgenti presso i comuni di Abbadia S. Salvatore, Arcidosso, Castel del Piano, Castiglione d'Orcia, Piancastagnaio, S. Fiora, Seggiano (solo per gli anni 2005 e 2006).

Contemporaneamente alla fase di raccolta dei dati, sono state effettuate delle missioni nell'area amiatina, per campionare acque di sorgenti e pozzi ubicati intorno all'edificio vulcanico, al contatto tra le vulcaniti e le rocce sedimentarie, con lo scopo di implementare i dati già esistenti e per verificare l'eventuale influenza dei fluidi profondi su quelli superficiali. In questo contesto, l'insieme dei dati raccolti, è stato utilizzato sia per l'acquisizione di informazioni utili alla definizione dell'assetto geochimico dei campi geotermici, sia come supporto alla pianificazione dei campionamenti delle acque delle sorgenti nella zona del M. Amiata.

Durante la fase di campionamento, sono state effettuate varie missioni nella zona del M. Amiata, per un totale di 67 sorgenti censite, di cui 61 campionate. Le sei sorgenti rimanenti non sono state campionate poiché secche.

I campionamenti delle acque di sorgenti hanno previsto la misurazione in situ di temperatura, di conducibilità, del pH e, dove possibile, misure di portata. Per le analisi da effettuare in laboratorio, sono state raccolte le seguenti aliquote per le varie emergenze: tal quale (ammonio, carbonati, cationi: Na^+ , K^+ , anioni: F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-}), acidificato (cationi: Ca^{2+} , Mg^{2+} , metalli), isotopi (O, H, C_{DIC}), organici, CO_2 libera, gas disciolti e specie ridotte dello zolfo. Lo scopo principale di tale indagine è stato quello di verificare su base geochimica l'esistenza di eventuali rapporti tra i reservoir profondi e gli acquiferi superficiali presenti nelle vulcaniti, a completamento delle informazioni bibliografiche già esistenti. Attualmente, l'acquisizione di questi dati analitici può ritenersi conclusa.

Per quanto riguarda il campo di Larderello-Travale, oltre alle informazioni disponibili, mediante ricerche bibliografiche e tramite gli studi effettuati dal Dipartimento di Scienze della Terra e dal CNR-IGG di Firenze, relativi alle analisi chimiche ed isotopiche delle acque di sorgenti e pozzi e dei gas naturali, e da poco anche attraverso la banca Dati delle Indagini Geotermiche a Bassa Entalpia (BDPGS).

Tutte le informazioni raccolte sono state rielaborate per creare un geodatabase dedicato alle acque superficiali e profonde delle aree prese in esame, mettendo in evidenza le caratteristiche chimico-fisiche, che possono essere utilizzate nella realizzazione di un modello numerico dei bacini geotermici studiati.

3.3 Acquisizione dati idrogeologici

La condizione attuale e storica degli acquiferi di sottosuolo è fondamentale per valutare la compatibilità ambientale dello sfruttamento dei campi geotermici toscani. In particolare, il

bilancio idrogeologico degli acquiferi è l'elemento più importante per stabilire l'eventuale impatto della geotermia. A tale scopo, sono stati reperiti dati di letteratura ed informazioni esistenti sia negli archivi del Dipartimento di Scienze della Terra di Firenze, sia provenienti da altri enti. Si tratta di una notevole quantità di dati, soprattutto per l'area dell'Amiata, in relazione all'importanza che l'acquifero vulcanico rappresenta per l'approvvigionamento idropotabile delle province di Siena, Grosseto e Viterbo.

Come descritto nel rapporto P1.2, il bilancio idrogeologico delle due aree Larderello-Travale e M. Amiata sarà relativo al periodo 1937–2008. Saranno anche redatti bilanci relativi ad intervalli temporali minori, in modo da confrontare la situazione precedente allo sfruttamento geotermico con quella successiva. Inoltre, sarà redatto un bilancio con i dati climatici "attuali", cioè quelli che la linea di tendenza della serie storica indica per il 2008.

Per la redazione del bilancio idrogeologico sono stati acquisiti, prima di tutto, i dati pluviometrici e termometrici.

IBIMET ha fornito, in formato digitale, una serie di dati delle stazioni pluviometriche e termometriche delle aree d'interesse, M. Amiata e Larderello-Travale, provenienti dal database LAMMA; in totale i dati si riferiscono a 125 stazioni pluviometriche e a 40 stazioni termopluviometriche. Tali dati presentano però varie lacune per cui è stato necessario, al fine degli scopi del progetto, integrarli con dati reperiti nei siti web ufficiali di IDROPISA e ARSIA. Questo ha portato a verificare che il database LAMMA, che deriva dai dati originali di IDROPISA e ARSIA, presenta una serie di incongruenze rispetto a quanto riportato nei database di IDROPISA e ARSIA. Pertanto si è reso necessario ricontrollare tutti i valori di ogni stazione effettuando un controllo incrociato. Tutto comporta il dilatarsi dei tempi utili per terminare il lavoro e quindi anche per il trasferimento dei dati al modello matematico.

Nello studio idrogeologico, il termine principale del bilancio è l'**infiltrazione**, che sarà confrontata con le riemergenze naturali (sorgenti) e con quelle artificiali (pozzi). L'infiltrazione sarà calcolata con la relazione:

$$I = (P-E) \cdot Cie \cdot A$$

dove:

- I = Infiltrazione
- P = Precipitazione
- E = Evapotraspirazione
- Cie = Coefficiente d'infiltrazione specifica
- A = Acclività

Le **uscite** del bilancio idrogeologico sono rappresentate, come detto, dalla portata delle sorgenti e dalla portata dei pozzi. L'acquisizione dei dati relativi a questo punto è stata particolarmente laboriosa perché sono dispersi presso vari enti e, spesso, non sono archiviati secondo un criterio logico e di semplice acquisizione.

Per quanto riguarda i punti di captazione delle acque sotterranee dell'area del M. Amiata, alcuni dati di **portata** di sorgenti e pozzi ed una parte dei dati disponibili riguardanti i **livelli freatici** dei pozzi provengono dall'archivio informatico dell'UNCHEM e dal materiale informatico fornitoci dal Dott. Micheli della Regione Toscana. Inoltre, tale materiale è stato integrato con i dati messi a disposizione dall'Acquedotto del Fiora, relativi a:

- misure di portata e del livello di falda (misure di livello dinamico) per Pozzo Acqua Gialla (2008 – 2009), Pozzo S. Michele 1 e Pozzo S. Michele 2 (2007 – 2009);

- misure di portata per le sorgenti Ermicciolo (1999 – 2009), Galleria Nuova e Galleria Bassa + Carolina (1990 – 2009);
- dati di portata del gruppo Peschiera e del Gruppo Fosso Caro estrapolati dalle Relazione Idrologica del Ministero LL. PP. Del. 11.12.1939;
- dati di portata estrapolati dalla Relazione Idrogeologica del Prof. L. Trevisan per l'Ufficio del Genio Civile di Grosseto – Luglio 1965;
- dati relativi al bilancio idrico dell'acquifero superficiale del Monte Amiata, estrapolati dal "Piano di Bacino del Fiume Fiora", redatto dal Prof. P. Celico (1987);
- relazione di G. Pizzi (1998): "Modello di simulazione finalizzato allo studio della vulnerabilità dell'acquifero che alimenta le sorgenti di S. Fiora";
- dati di precipitazioni e di portata delle sorgenti di S. Fiora nel periodo 1998 – 2007 (misure discontinue).

Altri dati sulle sorgenti sono state riprese da materiale bibliografico e da studi condotti nell'ambito di alcune tesi di laurea svolte presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze.

Per l'area dell'Amiata, i dati si riferiscono ad oltre 200 sorgenti, le principali delle quali captate da acquedotti pubblici o privati.

Considerata l'importanza dell'acquifero vulcanico dell'Amiata per gli obiettivi della ricerca, nei mesi da gennaio a marzo 2009 sono state eseguite misure di portata di alcune sorgenti non captate, per un totale di circa 70 punti. Si è trattato di un periodo preceduto da precipitazioni intense, nettamente superiori alla media pluriennale: questo, oltre a comportare un aumento delle portate, ha fatto sì che si siano riattivate alcune sorgenti in quota, che erano state segnalate prosciugate. I dati di portata rilevati saranno utilizzati, insieme a quelli storici, per il bilancio idrogeologico dell'acquifero vulcanico.

Per l'area di Larderello, le misure di portata disponibili sono decisamente inferiori: per la maggior parte si dispone di un solo valore, relativo al censimento condotto dalle Associazioni Intercomunali nel 1982 per la Regione Toscana. Un'altra serie di misure di portata è stata eseguita nel periodo aprile 1992 – marzo 1993 per una tesi di laurea svolta presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze: in 48 sorgenti sono state eseguite misure mensili, in 57 sorgenti almeno due misure (una in periodo di massima portata ed una in periodo di minima), in altre 17 una sola misura di portata.

4. Analisi dei dati

I dati reperiti in letteratura, acquisiti in maniera diretta dal gruppo di lavoro, o raccolti durante la fase di acquisizione, sono stati organizzati, confrontati ed elaborati allo scopo di definire i parametri più significativi da implementare nel modello matematico.

4.1 Analisi dei dati geologici

I dati acquisiti avevano come scopo principale la definizione dei modelli geometrici rappresentativi di supporto per il modello numerico.

Questi modelli geometrici sono stati definiti per essere il più rappresentativi possibile della realtà dei campi geotermici, per quanto, ovviamente, la complessità della situazione geologica-strutturale abbia reso necessarie una serie di semplificazioni.

La situazione di sottosuolo delle due aree geotermiche è stata ricostruita a partire da:

- dati presenti in letteratura, soprattutto derivanti da indagini geofisiche (studi CROP e altre indagini indirette);
- ricostruzioni basate su cartografie e sezioni geologiche esistenti in letteratura, elaborate e modificate per gli scopi del progetto, o in alcuni casi eseguite ex-novo;
- i dati forniti da ENEL: elaborazioni riguardanti dati stratigrafici, di pressione e temperatura (sempre, forniti in alcuni casi in formato shape e grid, ma per la maggior parte in formato raster non georiferito);
- i dati presenti nella BNP GS: dati tecnici e stratigrafici relativi ai pozzi geotermici e alle sorgenti; visto il ritardo con cui tale banca dati ci è pervenuta, verifiche e controlli incrociati sono tuttora in corso.

Tutti i dati disponibili sono stati implementati in GIS relazionali 2D e 3D che raccolgono le cartografie topografiche e geologiche più significative per gli scopi del progetto, il DTMx10m fornito dalla Regione Toscana e foto aeree, oltre a una serie di shapefiles rappresentativi delle aree scelte per lo sviluppo del modello, l'ubicazione dei pozzi geotermici e delle sorgenti, e altre informazioni quali l'andamento del gradiente geotermico, del flusso di calore, delle quali sarà fornita appropriata descrizione al momento della consegna del materiale informatico.

Sono stati inoltre riportate rappresentazioni dell'andamento in profondità delle superfici di interesse per gli scopi del progetto quali: la base della copertura impermeabile (Larderello-Travale), la base delle vulcaniti (M. Amiata), il tetto e la base dei serbatoi, l'orizzonte K, l'andamento delle pressioni e delle temperature in profondità...

Tutti questi dati sono stati ottenuti elaborando il materiale raccolto e acquisito in questi mesi e, per alcune parti, è ancora in corso di verifica, controllo ed integrazione.

4.2 Analisi dei dati geochimici

Una volta conclusa la fase di raccolta dei dati utili alla caratterizzazione geochimica dei campi studiati, il materiale disponibile acquisito è stato analizzato ed implementato.

Un primo problema da dover affrontare, in questo contesto, è stata l'identificazione delle varie sorgenti ubicate nelle aree d'interesse. Infatti, analizzando i differenti archivi acquisiti relativi ai dati delle manifestazioni superficiali e profonde, è stato osservato che siti con diversa denominazione possedevano le stesse coordinate geografiche, viceversa, ad una stessa sorgente corrispondevano varie ubicazioni. La risoluzione di queste discrepanze ha comportato allungamento dei tempi e scelte operative non previste.

Per quanto riguarda i dati relativi alla composizione chimica ed isotopica e alle misure di temperatura, di pH e di conducibilità caratterizzanti sorgenti, pozzi e gas, il materiale raccolto si presenta disomogeneo. Infatti, le analisi delle sorgenti e dei gas sono molteplici e provengono da fonti diverse; ciò può essere positivo per il numero di analisi raccolte da una singola manifestazione, ma presenta un problema nel definire la validità del dato che viene prodotto con tecniche di campionamento, metodologie analitiche e rielaborazioni che non possono considerarsi univoche. Dall'altro lato, i dati dei pozzi risultano essere scarsi e, anche nel caso in cui vi sia un'analisi, questa è relativa al fluido a boccapozzo. Dunque, sarà necessario rielaborare il dato mediante specifici software che, a partire dalla composizione

chimica di un fluido campionato a boccapozzo, ricostruiscono la composizione dello stesso fluido in profondità.

Le informazioni raccolte sono state rielaborate ed inserite in un database dedicato alle acque superficiali e profonde delle aree studiate da utilizzare per la realizzazione del modello numerico dei bacini geotermici toscani. L'analisi di tali dati è stata impostata considerando sia il fattore temporale sia la fonte che ha effettuato lo studio geochimico. Infatti, per omogeneizzare le analisi provenienti da differenti studi, tutti i dati sono stati confrontati con quelli dei siti corrispondenti eseguiti dal Dipartimento di Scienze della Terra di Firenze. Per uno stesso sito è stata scelta l'analisi più recente (in modo da rappresentare la situazione attuale delle aree geotermiche) ed effettuata dal Dipartimento di Scienze della Terra di Firenze. Nel caso in cui il dato non provenisse dal DST di Firenze, sono state selezionate delle analisi che possono essere considerate attendibili.

Il database è stato strutturato in modo che vi sia un tipo di analisi per ogni manifestazione (sorgente, pozzo, gas). Attualmente, a causa della complessità riscontrata nell'acquisizione ed elaborazione dei dati, il database è in fase di completamento.

Come precedentemente accennato, le indagini di natura geochimica sulla fase liquida e gassosa nell'area amiatina sono appena state ultimate e quindi devono essere ancora esaminate approfonditamente. Un rapporto specifico sugli aspetti geochimici dell'area dell'Amiata verrà presentato appena possibile ad integrazione del modello.

4.3 Analisi dei dati idrogeologici

L'archivio informatico con i dati pluviometrici e termometrici fornito da LAMMA (IBIMET) è attualmente in corso di integrazione con i dati IDROPISA e ARSIA. L'insieme dei dati, però, non è sufficiente all'elaborazione del bilancio idrogeologico pluriennale in programma; risulta infatti che molte stazioni hanno registrato i dati di **P** e **T** solo per alcuni anni. Per ottenere valori distribuiti attendibili, sarà poi necessario completare le serie di dati mediante regressione fra i dati delle stazioni vicine che hanno la migliore correlazione fra le serie.

Come scritto al § 3.3, l'**infiltrazione** sarà calcolata per mezzo del Coefficiente d'infiltrazione efficace **Cie**. Per il calcolo dell'evapotraspirazione reale è stato scelto il metodo di Thornthwaite e Mather (1957)¹, che calcola l'**E** annua come somma dei 12 valori mensili. Questi derivano dal bilancio idrico dei suoli, che richiede, oltre ai valori mensili di **P** e **T**, un valore di **u**, capacità di campo del suolo.

Il valore di **u** si ottiene incrociando il tipo di suolo **s** (in realtà solo la sua granulometria) con l'uso del suolo **v** (essenzialmente il tipo di vegetazione).

Ad ogni formazione geologica affiorante nelle due aree di studio è stato attribuito un tipo di suolo **s**, utilizzando le Carte Pedologiche relative ad aree di affioramento di queste formazioni, anche in aree diverse; in assenza di Carte Pedologiche relative ad alcune delle formazioni geologiche delle due aree, il tipo di suolo è stato dedotto per confronto con la litologia delle formazioni geologiche affioranti delle quali si conosce il tipo di suolo prodotto.

¹ Thornthwaite C.W. & Mather (1957) Instructions and Tables for computing potential evapotranspiration and water balance. *Public. Climatology*, 10:185-311.

I valori del **Cie** delle formazioni geologiche che affiorano nelle due aree di studio provengono solo in minima parte da dati di letteratura, e riguardano essenzialmente aree con formazioni permeabili delle quali è stato fatto il bilancio idrogeologico. Gli altri valori sono stati assegnati alle formazioni geologiche tenendo conto della loro litologia. In entrambi i casi si tratta di valori approssimativi, perché, anche nel caso di valori del Cie ottenuti sperimentalmente, questi si riferiscono ad aree geograficamente e climaticamente diverse.

Si deve dire che, nonostante questa incertezza, l'uso del Cie per la redazione del bilancio idrogeologico ha dato buoni risultati nel caso del bacino del F. Cecina e della pianura costiera livornese fra Rosignano a San Vincenzo²: in questi casi il bilancio si è chiuso con percentuali di errore accettabili (10%), anche in relazione all'incertezza sui prelievi dai pozzi.

I valori del Cie saranno corretti per tenere conto del fattore pendenza del terreno **A**, che influenza il rapporto fra l'infiltrazione e il ruscellamento superficiale. A tal fine è stato acquisito il DTM della Regione Toscana.

Per quanto riguarda le misure di **portata** delle sorgenti delle zone studiate, al fine di poter integrare i dati acquisiti dai vari enti con quelli misurati recentemente, sono state confrontate le informazioni relative all'ubicazione dei siti (coordinate e quota).

Per la redazione dei bilanci idrogeologici, sono in fase di acquisizione anche i dati di **portata dei corsi d'acqua**. Tali dati sono in realtà assai pochi, quindi sarà necessario ricorrere a valutazioni indirette, ad esempio utilizzando le tabelle di Kennessey (1930)³ che forniscono un valore del coefficiente di deflusso.

Tutti i dati climatici ed idrogeologici acquisiti fino ad ora (precipitazioni, temperatura dell'aria, portata delle sorgenti e pozzi, livelli freatici) sono stati inseriti in un database dedicato alle acque. Come precedentemente accennato, a causa dell'incongruenza dei valori di P e T provenienti da archivi diversi, il database è tuttora in fase di completamento.

² Pranzini G. (2004) *Studio idrogeologico del Bacino Toscana Nord*. Relazione per l'Autorità di Bacino Toscana Nord. Regione Toscana, 225 pp..

³ Kennessey B. (1930) *Lefolyasi tényezok és retenciok*. Vizugy, Koziemnyek.

Allegato I - Estratto dal Database Bibliografico

Viene presentato di seguito un estratto proveniente dal Database Bibliografico ancora in fase di completamento, contenente lavori di interesse riguardanti i campi geotermici di Larderello-Travale e M. Amiata e più in generale pubblicazioni riguardanti sia la geologia della Toscana meridionale sia lo sfruttamento della risorsa geotermica italiana in generale. Oltre alle informazioni presenti nell'allegato (autori, anno, titolo e rivista), nel database sono inseriti anche i seguenti campi: settore principale, parole chiave e note sul contenuto della pubblicazione.

AUTORE	ANNO	TITOLO	RIVISTA
Acocella V.	2000	Space accommodation by roof lifting during pluton emplacement at Amiata (Italy)	Terra Nova, 12: 149 - 155
Acocella V., Rossetti F.	2002	The role of extensional tectonics at different crustal levels on granite ascent and emplacement: an example from Tuscany (Italy)	Tectonophysics, 354: 71 – 83
Allegrini G., Cappetti G., Sabatelli F.	1995	Geothermal development in Italy: country update report	Proceedings fo the World Geothermal Congress, 1995
Arca S., Geri G., Rossi A.	1988	Controllo altimetrico dell'area "boracifera" toscana mediante livellazione di precisione	Bollettino di geodesia e scienze affini, 3: 301 - 312
Atkinson P., Miller F.G., Marconcini R., Neri G., Celati R.	1978	Analysis of reservoir pressure and decline curves in Serrazzano zone, Larderello geothermal field	Geothermics, 7, 2 - 4: 133 - 144
Baldi P., Bellani S., Ceccarelli A., Fiordelisi A., Rocchi G., Squarci P., Taffi L.	1995	Geothermal anomalies and structural features of southern Tuscany (Italy)	Proceedings fo the World Geothermal Congress, 1995
Baldi P., Bertini G., Ceccarelli A., Dini I., Ridolfi A., Rocchi G.	1995	Geothermal research in the Monteverdi zone (Western border of the Larderello geothermal field)	Proceedings fo the World Geothermal Congress, 1995
Baldi P., Buonasorte G., Funicello R., Mattei M., Kissel C.	1995	Paleomagnetic evidence of non rotational tectonism in the Tuscan-Latium geothermal province (Italy)	Proceedings fo the World Geothermal Congress, 1995
Baldi P., Ferrara G.C., Masselli L., Pieretti G.	1973	Hydrogeochemistry of the region between Monte Amiata and Rome	Geothermics, 2, 3 - 4: 124 - 128
Bannino E., Cerrina Feroni A.	1967	Stratigrafia delle Formazioni Alloctone della Toscana Marittima. 3. Studio stratigrafico di una sezione presso Monteverdi Marittimo (Provincia di Pisa)	Bollettino Società Geologica Italiana, 86: 317 - 338
Barelli A., Capetti G., Stefani G.	1995	Results of deep drilling in the Larderello-Travale/Radicondoli geothermal area	Proceedings fo the World Geothermal Congress, 1995

Batini F., Bertini G., Gianelli G., Pandeli E., Puxeddu M.	1983	Deep structure of the Larderello field: contribution from recent geophysical and geological data	Memorie Società Geologica Italiana, 25: 219 - 235
Batini F., Bertini G., Gianelli G., Pandeli E., Puxeddu M., Villa I.	1985	Deep structure, age and evolution of the Larderello-Travale geothermal field	Geothermal Resources Concil - Transactions, 9, 1: 253 - 259
Batini F., Brogi A., Lazzarotto A., Liotta D., Pandeli E.	2003	Geological features of Larderello-Travale and Mt. Amiata geothermal areas (southern Tuscany, Italy)	Episodes, 26, 3: 239 - 244
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	Memorie Società geologica Italiana, 19: 477 - 484
Batini F., Castellucci P., Neri G.	1985	The Travale geothermal field	Geothermics, 14, 5 - 6: 623 - 636
Batini F., Console R., Luongo G.	1985	Seismological study of Larderello — Travale geothermal area	Geothermics, 14, 2 - 3: 255 - 272
Batini F., Nicolich R.	1985	P and S reflection seismic profiling and well logging in the Travale geothermal field	Geothermics, 14, 5/6: 731 - 747
Battaglia S., Gherardi F., Gianelli G., Leoni L., Origlia F.	2007	Clay mineral reactions in an active geothermal area (Mt. Amiata, southern Tuscany, Italy)	Clay Minerals, 42: 353 – 372
Bellani S., Brogi A., Lazzarotto A., Liotta D., Ranalli G.	2004	Heat flow, deep temperatures and extensional structures in the Larderello Geothermal Field (Italy): constraints on geothermal fluid flow	Journal of Volcanology and Geothermal Research 132: 15 - 29
Bernardi A., Cameli M.G., Romanini E., Squarci P., Stefani G.	1976	Seismic survey in Larderello - First results	"Simposio Internacional sobre energia geotermica en America Latina"
Bertani R., Cappetti G.	1995	Numerical simulation of the Monteverdi zone (Western border of the Larderello geothermal field)	Proceedings fo the World Geothermal Congress, 1995
Bertani R., Parisi L., Perini R., Tarquini B.	1999	High-temperature measurements of water adsorption in geothermal rocks	Geothermics, 28: 277 - 294

*Progetto MAC-GEO**Prodotto P2.1*

Bertini G., Cameli G.M., Costantini A., Decandia F.A., Dini I., Elter F.M., Lazzarotto A., Liotta A., Pandeli E., Sandrelli F.	1994	Structural features of Southern Tuscany along the Monti di Campiglia - Rapolano Terme cross-section	Memorie Società Geologica Italiana, 48: 51 - 59
Bertini G., Cappetti G., Dini I., Lovari F.	1995	Deep drilling results and updating of geothermal knowledge on the Monte Amiata area	Proceedings fo the World Geothermal Congress, 1995
Bertini G., Casini M., Gianelli G., Pandeli E.	2006	Geological structure of a long-living geothermal system, Larderello, Italy	Terra Nova, 18: 163 - 169
Bertini G., Elter F.M., Talarico F.	1994	Evidenze di una fase estensionale pre-triassica nel complesso delgi gneiss nell'area geotermica di Larderello (Toscana Meridionale)	Studi Geologici Camerti, Vol. speciale 1: 129 - 137
Bertini G., Giovannoni A., Stefani G.C., Gianelli G., Puxeddu M., Squarci P.	1980	Deep exploration in Larderello field: Sasso 22 drilling Venture	Commission of the European Communities - Second International Seminar
Bettagli N., Bidini G.	1996	Larderello-Farinello-Valle Secolo geothermal area: exergy analysis of the transpotrtation network and of the electric power plants	Geothermics, 25, 1: 3 - 16
Bettelli G.	1980	Le unità tettoniche del Complesso Ligure nell'area fra il F. Albegna e il F. Fiora (Toscana Meridionale)	Memorie Società Geologica Italiana, 21: 157 - 161
Bettelli G.	1985	Geologia delle alte valli dei fiumi Albegna e Fiora (Toscana Meridionale)	Geologica Rom., 24: 147 - 188
Bettelli G., Bonazzi U., Fazzini P.	1980	Il Complesso Alloctono Ligure nella Toscana Meridionale	Memorie Società Geologica Italiana, 21: 163 - 168
Bianchi F., Quintavalle C., Rossi M.	1995	Enel's experience wuth directional geothermal wells	Proceedings fo the World Geothermal Congress, 1995
Bianchini G., Pennisi M., Cioni R., Muti A., Cerbai N., Kloppmann W.	2005	Hydrochemistry of the high-boron groundwaters of the Cornia aquifer (Tuscany, Italy)	Geothermics, 34: 297 - 319

Boila P., Lavecchia G., Giaquinto S., Piali G.	1982	Caratteri geologico-strutturali del Bacino del Fiume Paglia (Umbria - Toscana)	CNR - PFE - RF 16
Boiron M.C, Cathelineau M., Ruggieri G., Jeanningros A., Gianelli G., Banks D.A.	2007	Active contact metamorphism and CO ₂ -CH ₄ fluid production in the Larderello geothermal field (Italy) at depths between 2.3 and 4 km	Chemical Geology, 237: 303 - 328
Boyce A.J., Fulignati P., Sbrana A.	2003	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, 126: 243 - 262
Bracaloni M., Culivicchi G., Fornari B.	1995	Erosion and corrosion problems experienced during the operation of geothermal turbines in Italy	Proceedings fo the World Geothermal Congress, 1995
Bracaloni M., Fornari B., Bicchi G., Mattioli M., Cianferoni R.	1995	Remote control of geothermal power stations criteria and operational experience	Proceedings fo the World Geothermal Congress, 1995
Brogi A.	2004b	Miocene low-angle detachments and crust megaboudinage in the Mt. Amiata geothermal area (Northern Appennines, Italy)	Geodinamica Acta, 17/6: 375 - 387
Brogi A.	2004a	Seismic reflection and borehole logs as tools for tectonic and stratigraphical investigations: new geological data for the Tuscan Nappe exposed in the northeastern Mt. Amiata area (Northern Appennines, Italy)	Bollettino Società Geologica Italiana, 123: 189 - 199
Brogi A.	2004	Tettonica distensiva sin-sedimentaria del Dominio Toscano: evidenze mesoscopiche nelle successioni cretacico-eoceniche della Falda Toscana ad ovest del Monte Amiata (Appennino Settentrionale)	Bollettino Società Geologica Italiana, 123: 81 - 95
Brogi A., Fabbrini L.	2009	Extensional and strike-slip tectonics across the Monte Amiata - Monte Cetona transect (Northern Appennines, Italy) and seismotectonic implications	Tectonophysics, in press
Brogi A., Lazzarotto A.	2002	Deformazioni sin-collisionali nella Falda Toscana a sudovest del Monte Amiata (Toscana meridionale): il sovrascorrimento di Monte Aquilaia	Bollettino Società Geologica Italiana, 121: 299 - 312
Brogi A., Lazzarotto A., Liotta D., Nicolich R., Ranalli G.	2003	L'orizzonte K nell acrosta dell'area geotermica di Larderello (Toscana Meridionale)	Bollettino Società geologica Italiana, 122: 103 - 116
Brogi A., Lazzarotto A., Liotta D., Ranalli G.	2003	Extensional shear zones as imaged by reflection seismic lines: the Larderello geothermal field (central Italy)	Tectonophysics, 363: 127 - 139

Progetto MAC-GEO

Prodotto P2.1

Brogi A., Lazzarotto A., Liotta D., Ranalli G., CROP18 Working Group	2005	Crustal structures in the geothermal areas of southern Tuscany (Italy): Insights from the CROP 18 deep seismic reflection lines	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 148: 60 - 80
Brunacci S., Donati C., Faraone D., Manganelli V., Stoppa F.	1983	Vulcanismo alcalino cretaceo post-ofiolitico nell'alloctono ligure della Toscana meridionale nell'area del T. Senna (Siena - Grosseto)	Ofioliti, 8, 1: 47 - 76
Burgassi P., Cataldi R., Donati C.	1995	Scientific investigations and technological development in the Larderello Region from XVI through XIX centuries	Proceedings of the World Geothermal Congress, 1995
Burgassi P.D.	1983	Energia geotermica nelle Colline Metallifere	Memorie Società Geologica Italiana
Burgassi P.D., Cappetti G., Grassi A.	1980	Rilievi termici nell'area del campo geotermico di Travale - Radicondoli	Memorie Società Geologica Italiana, 21: 349 - 357
Burgassi R., Calamai A., Cataldi R.	1967	Développement récents de la recherche géothermique dans le région du Monte Amiata. Le nouveau "champ" de Poggio Nibbio	Symposium sur le Flux de Chaleur, Zurich
Burgassi R., Cataldi R., Mouton I., Scandellari F.	1965	Prospezioni delle anomalie geotermiche e sua applicazione alla regione amiatina	Industria mineraria, 16: 1 - 15
Cadoux A., Pinti D. L.	2008	Hybrid character and pre-eruptive events of Mt Amiata volcano (Italy) inferred from geochronological, petro-geochemical and isotopic data	Journal of Volcanology and Geothermal Research
Calamai A., Cataldi R., Squarci P., Taffi L.	1970	Geology, Geophysics and Hydrogeology of the Monte Amiata Geothermal Fields	Geothermics - special issue 1
Calore C., Celati R., Gianelli G., Salomone M., Squarci P.		Studi sull'origine dei giacimenti geotermici: simulazione numerica	—
Cappetti G., Parisi L., Ridolfi A., Stefani G.	1995	Fifteen years of reinjection in the Larderello-Valle Secolo area: analysis of the production data	Proceedings of the World Geothermal Congress, 1995
Cappetti G., Passaleva G., Sabatelli F.	2000	Italy country update report 1995 - 1999	Proceedings World Geothermal Congress, 2000

Carella M., Fulignati P., Musumeci G., Sbrana A.	2000	Metamorphic consequences of Neogene thermal anomaly in the northern Apennines (Radicondoli-Travale area, Larderello geothermal field – Italy)	Geodinamica Acta, 13: 345 - 366
Carella R., Verdiani G., Palmerini C. G., Stefani G.C.	1985	Geothermal activity in Italy: Present status and future prospects	Geothermics, 14, 2 - 3: 247 - 254
Castellucci P., Minissale A., Puxeddu M.	1983	Nature and tectonic setting of the Travale-Radicondoli basement in the Larderello geothermal field (Italy)	Memorie Società Geologica Italiana, 25: 237 - 245
Cataldi R., Ferrara G. C., Stefani G., Tongiorgi E.	1969	Contribution to the Knowledge of the Geothermal Field of Larderello (Tuscany - Italy). Remarks on the Carboli area	Bulletin of Volcanology, 33, 1: 29 - 55
Cataldi R., Mongelli F., Squarci P., Taffi L., Zito G., Calore C.	1994	Geothermal ranking of italian territory	—
Cataldi R., Rossi A., Squarci P., Stefani G., Taffi L.	1970	Contribution to the Knowledge of the Larderello Geothermal Region: Remarks on the Travale Field	Geothermics - special issue 2
Cataldi R., Stefani G., Tongiorgi M.	1963	Geology of Larderello region (Tuscany): Contribution to the study of the geothermal basin	—
Cathelineau M., Dubessy J., Marignac C., Valori A., Gianelli G., Puxeddu M.	1989	Pressure-temperature-fluid composition changes from magmatic to present day stages in the Larderello geothermal field (Italy)	Water-Rock interaction, Miles
Cavarretta G., Gianelli G., Puxeddu M.	1980	Hydrothermal metamorphism in the Larderello geothermal field	Geothermics 9: 297 - 314
Cavarretta G., Puxeddu M.	1990	Schorl-Dravite-Ferridravite Tourmalines deposited by hydrothermal magmatic fluids during early evolution of the Larderello geothermal field, Italy	Economic Geology, 85: 1236 - 1251
Ceccarelli A., Celati R., Grassi S., Minissale A., Ridolfi A.	1987	The southern boundary of Larderello geothermal field	Geothermics, 16, 5 - 6: 505 - 515
Celati R., Cappetti G., Calore C., Grassi S., D'Amore F.	1991	Water recharge in Larderello geothermal field	Geothermics, 20, 3: 119 - 133

Celati R., Grassi S., Calore C.	1990	Overflow thermal springs of Tuscany (Italy)	Journal of Hydrology, 118: 191 - 207
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, 2, 3 - 4: 174 - 185
Celati R., Squarci P., Taffi L., Stefani G.		Analysis of water levels and reservoir pressure measurements in geothermal wells	—
Cerrina Feroni A., Patacca E., Plesi G.	1973	La zona di Lanciaia fra il Cretaceo Inferiore e l'Eocene Inferiore	Atti Società Scienze Naturali, Memorie, Serie A, 80: 162 - 187
Chessa M.	2008	L'Amiata si scalda di nuovo	Il Geologo, 72: 8 - 13
Chiodini G., Comodi P., Giaquinto S., Mattioli B., Zanzari A. R.	1988	Cold groundwater temperatures and conductive heat flow in the Mt. Amiata geothermal area, Tuscany, Italy	Geothermics, 17, 4: 645 - 656
Console R., Rosini R.	1998	Non-double-couple microearthquakes in the geothermal field of Larderello, central Italy	Tectonophysics, 289: 203 - 220
Conti P., Costantini A., Decandia F.A., Elter F.M., Gattiglio M., Lazzarotto A., Meccheri M., Pandeli E., Rau A., Sandrelli F., Tongiorgi M., Di Pisa A.	1991	Structural frame of the Tuscan Paleozoic: a review	Bollettino Società Geologica Italiana, 110: 523 - 541
Costantini A., Lazzarotto A., Micheluccini M.	1977	Le formazioni Liguri nell'area a sud del Monte Cetona (Toscana Meridionale)	Atti Società Toscana Scienze Naturali, Serie A, 84: 25 - 60
Costantini A., Lazzarotto A., Sandrelli F.	1982	Il Graben di Siena - Studi geologici, idrogeologici e geofisici finalizzati alla ricerca di fluidi caldi nel sottosuolo	C.N.R. - Progetto Finalizzato Energetica - Sottoprogetto Energia Geotermica
Crescenti U., Giussani A.	1969	Osservazioni sugli Scisti Policromi della Toscana Meridionale: il sovrascorrimento di M. Labbro (F°129, S. Fiora - Grosseto)	Bollettino Società Geologica Italiana, 88: 347 - 362

Dallai L., Magro G., Petrucchi E., Ruggieri G.	2005	Stable isotope and noble gas isotope compositions of inclusion fluids from Larderello geothermal field (Italy): Constraints to fluid origin and mixing processes	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 148: 152 - 164
D'Amore F., Celati R. , Ferrara G.C. , Panichi C.	1977	Secondary changes in the chemical and isotopic composition of the geothermal fluids in Larderello field	Geothermics, 5, 1 - 4: 153 - 163
D'Amore F., Pruess K.	1986	Correlations between steam saturation, fluid composition and well decline in vapor-dominated reservoirs	Geothermics, 15, 2: 167 - 183
De Matteis R., Vanorio T., Zollo A., Ciuffi S., Fiordelisi A., Spinelli E.	2008	Three-dimensional tomography and rock properties of the Larderello-Travale geothermal area, Italy	Physics of the Earth and Planetary Interiors, 168: 37 – 48
Decandia F.A., Elter P., Lazzarotto A., Liotta D., Spallone S., Stea B.	1994	Structural features of the Castell'Azzara mountains	Memorie Società Geologica Italiana, 48: 509 - 513
Del Moro A., Puxeddu M., Radicati di Brozolo F., Villa I.M.	1982	Rb-Sr and K-Ar ages on minerals at temperatures of 300°-400°C from deep wells in the Larderello geothermal field (Italy)	Contributions to Mineralogy and Petrology
Della Vedova B., Vecellio C., Bellani S., Tinivella U.	2007	Thermal modelling of the Larderello geothermal field (Tuscany, Italy)	Int J Earth Sci (Geol Rundsch)
Desideri U., Di Maria F.	2000	Simulation code for design and off design performance prediction of geothermal power plants	Energy Conversion & Management 41: 61 - 76
Dini A., Gianelli G., Puxeddu M., Ruggieri G.	2005	Origin and evolution of Pliocene–Pleistocene granites from the Larderello geothermal field (Tuscan Magmatic Province, Italy)	Lithos, 81: 1 – 31
Duchi V., Manganelli M., Minissale A.	1991	Composizione chimica delle fasi fluide naturali superficiali del campo geotermico di Larderello	Bollettino Società Geologica Italiana, 110: 41 - 46
Duchi V., Minissale A.	1993	A new hypothesis on the production of Cl-bearing steam in the Larderello Geothermal Field, Italy	Chemie der Erde Geochemistry, 53: 259 - 271
Duchi V., Minissale A., Manganelli M.	1992	Chemical composition of natural deep and shallow hydrothermal fluids in the Larderello geothermal field	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 49: 313 - 328

Duchi V., Minissale A., Paolieri M., Prati F., Valori A.	1992	Chemical relationship between discharging fluids in the Siena-Radicofani graben and the deep fluids produced by the geothermal fields of Mt Amiata, Torre Alfina and Latera (Central Italy)	Geothermics, 21, 3: 401 - 413
Duchi V., Minissale A., Rossi R.	1986	Chemistry of thermal springs in the Larderello-Travale geothermal region, Southern Tuscany, Italy	Applied Geochemistry, 1, 6: 659 - 667
Duchi V., Minissale A.A., Prati F.	1987	Chemical composition of thermal springs, cold springs, streams, and gas vents, in the Mt.Amiata geothermal region (Tuscany, Italy)	Journal of Volcanology and Geothermal Research 31: 321 – 332
Duchi V., Prati F.	1985	Indagine geochemica su acque e gas dei sistemi termali a bassa temperatura dell'area amiatina	Bollettino Società Geologica Italiana, 104: 527 - 538
Elter F.M., Pandeli E.	1993	Alpine tectono-metamorphic framework of the Tuscan Paleozoic (Southern Tuscany, Italy)	Annales Tectonicae, 7, 1: 71 - 84
Elter F.M., Pandeli E.	1990	Alpine and Hercynian orogenic phases in the basement rock of the Northern Apennines (Larderello geothermal field, Southern Tuscany, Italy)	Eclogae geol. Helv., 83/2: 241 - 264
Elter F.M., Pandeli E.	1991	Structural features of the metamorphic paleozoic-triassic sequences in deep geothermal drillings of the Monte Amiata area (SE Tuscany, Italy)	Bollettino Società Geologica Italiana, 110: 511 - 522
Elter F.M., Talarico F.	1993	The low P high / T metamorphic overprint in the "gneiss group" (Larderello geothermal field, Italy): a thermal record of late Hercynian orogenic extension in the basement of Southern Tuscany	International meeting Montpellier Late Orogenic Extension In Mountain Belts, 219
Fazzuoli M.	1974	Facies di "Laguna Interna" nel Calcare Massiccio della Toscana Sud-orientale	Bollettino Società Geologica Italiana, 93: 369 - 396
Ferrara G. C., Gonfiantini R., Panichi C.	1965	La composizione isotopica del vapore di alcuni soffioni di Larderello e dell'acqua di alcune sorgenti e mofete della Toscana	Atti Società Toscana Scienze Naturali - Seria A, LXXII: 2- 21
Ferrari L., Conticelli S., Burlamacchi L., Manetti P.	1996	Volcanological evolution of the Monte Amiata, Southern Tuscany: new geological and petrochemical data	Acta Vulcanologica, 8 (1): 41 - 56
Finetti I.R.	2006	Basic regional crustal setting and superimposed local pluton-intrusion-related tectonics in the Larderello - M. Amiata geothermal province, from integrated CROP seismic data	Bollettino Società Geologica Italiana, 125: 117 - 146

Progetto MAC-GEO

Prodotto P2.1

Franceschelli M., Pandeli E., Puxeddu M.	1984	Kyanite-bearing early Alpine metapsammite in the Larderello geothermal region (Italy) and its implications Alpine metamorphism and Triassic paleogeography	Scweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., 64: 405 - 422
Franceschini F.	1995	The Larderello plutono-metamorphic core complex: petrographic data	Proceedings fo the World Geothermal Congress, 1995
Franceschini F.	1993	L'intrusione monzogranitica di M.te Canneto (Monteverdi Marittimo, Toscana Meridionale) e la sua aureola termometamorfica	Bollettino Società Geologica Italiana, 112: 943 - 953
Froncini F.	2008	Geochemistry of regional aquifer system hosted by carbonate-evaporite formations in Umbria and southern Tuscany (Central Italy)	Applied Geochemistry 23: 2091 - 2104
Froncini F., Caliro S., Cardellini C., Chiodini G., Morgantini N.	2009	Carbon dioxide degassing and thermal energy release in the Monte Amiata volcanic-geothermal area (Italy)	Applied Geochemistry, in press
Gambardella B., Marini L., Baneschi I.	2005	Dissolved potassium in the shallow groundwaters circulating in the volcanic rocks of central-southern Italy	Applied geochemistry, 20: 875 - 997
Gelmini R., Mantovani M.P., Mucchi A.M.	1967	La Serie a Facies Toscana del Fiume Albegna presso Semproniano (già Samprugnano - Grosseto)	Memorie Società Geologica Italiana, 6: 359 - 378
Gherardi F., Panichi C., Gonfiantini R., Magro G., Scandiffio G.	2005	Isotope systematics of C-bearing gas compounds in the geothermal fluids of Larderello, Italy	Geothermics 34: 442 – 470
Gianelli G.	1994a	Brittle - ductile transition in geothermal systems: a contribution from the Tuscany geothermal fields	Memorie Società Geologica Italiana, 48: 707 - 713
Gianelli G., Calore C.	1996	Models for the origin of carbon dioxide in the Larderello geothermal field	Bollettino Società Geologica Italiana, 115: 75 - 84
Gianelli G., Manzella A., Puxeddu M.	1997	Crustal models of the geothermal areas of southern Tuscany (Italy)	Tectonophysics 281: 221-239
Gianelli G., Puxeddu M.	1979	An attempt at classifying the Tuscan Paleozoic: geochemical data	Memorie Società Geologica Italiana, 20: 435 - 446

Progetto MAC-GEO

Prodotto P2.1

Gianelli G., Puxeddu M., Batini F., Bertini G., Dini I., Pandeli E., Nicolich R.	1988	Geological model of a young volcano - plutonic system: the geothermal region of Monte Amiata (Tuscany, Italy)	Geothermics, 17, 5/6: 719 - 734
Gianelli G., Puxeddu M., Squarci P.		Sintesi delle conoscenze sulle strutture profonde nelle aree geotermiche toscane	—
Gianelli G., Puxeddu M., Squarci P.	1978	Structural setting of the Larderello - Travale geothermal region	Memorie Società Geologica Italiana, 19: 469 - 476
Gianelli G., Ruggieri G.	2002	Evidence of a contact metamorphic aureole with high-temperature metasomatism in the deepest part of the active geothermal field of Larderello, Italy	Geothermics 31: 443 – 474
Gianelli G., Ruggieri G., Mussi M.	1997	Isotopic and fluid inclusion study of hydrothermal and metamorphic carbonates in the Larderello geothermal field and surrounding areas, Italy	Geothermics, 26, 3: 339 - 417
Giannini E., Lazzarotto A., Stefani G.	1970	Studio strutturale del tetto del basamento filladico-quarzitico (Verrucano) nella Toscana a sud dell'Arno	Memorie Società Geologica Italiana, 9: 435 - 449
Jacobacci A., Martelli G., Nappi G.	1967	Note illustrative della carta geologica d'Italia (scala 1:100000) - foglio 129 S. Fiora	Carta geologica d'Italia (scala 1:100000) - Foglio 129 S. Fiora
Kravanja S., Batini F., Fiordelisi A., Panza G. F.	2000	Full moment tensor retrieval from waveform inversion in the Larderello geothermal area	Pure and Applied Geophysics, 157: 1379 - 1392
Landi B., Tanini C., Sani F., Carobbi S.	1995	Evoluzione geologico-strutturale del Bacino di Cinigiano-Baccinello (Toscana meridionale)	Studi Geologici Camerti, Vol. speciale 1: 475 - 488
Liotta D.	1994	Structural features of the Radicofani basin along the Piancastagnaio (Mt. Amiata) - S. Casciano dei Bagni (Mt. Cetona) cross section	—
Loppi S., Nascimbene J.	1998	Lichen bioindication of air quality in the Mt. Amiata geothermal area (Tuscany, Italy)	Geothermics, 27, 3: 295 - 304
Manganelli V.	1982	Il Complesso Alloctono Ligure nella Toscana Meridionale (Province di Siena e Grosseto)	Memorie Società Geologica Italiana, 24: 139 - 147

Mantovani E., Babbucci D., Tamburelli C., Viti M.	2008	A review on the driving mechanism of the Tyrrhenian-Apennines system: Implications for the present seismotectonic setting in the Central-Northern Apennines	Tectonophysics
Manzella A., Gianelli G., Puxeddu M.	1995	Possible models of the deepest part of the Larderello geothermal field	Proceedings of the World Geothermal Congress, 1995
Marinelli G.	1969	Some geological data on the geothermal areas of Tuscany	Bollettino Vulcanologia, 33, 1:320 - 333
Marinelli G., Barberi F., Cioni R.	1993	Sollevamenti neogenici e intrusioni acide della Toscana e del Lazio Settentrionale	Memorie Società Geologica Italiana, 49: 279 - 288
Marini L., Manzella A.	2005	Possible seismic signature of the α - β quartz transition in the lithosphere of Southern Tuscany (Italy)	Journal of Volcanology and Geothermal Research 148: 81 - 97
Mazor E.	1979	Noble gases in a section across the vapor dominated geothermal field of Larderello, Italy	Pageophysics, 117: 262 - 275
Mazzanti R.	1966	Geologia della zona di Monteverdi Marittimo Canneto (Provincia di Pisa)	—
Mazzanti R.	1966	Geologia della zona di Pomarance - Larderello (Prov. di Pisa)	Memorie Società Geologica Italiana, 5: 105 - 138
Minissale A.	1991	The Larderello geothermal field: a review	Earth-Science Review, 31: 133 - 151
Minissale A.	1991	Thermal springs in Italy: their relation to recent tectonics	Applied geochemistry, 6: 201 - 212
Minissale A., Duchi V.	1988	Geothermometry on fluids circulating in a carbonate reservoir in north-central Italy	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 35: 237 - 252
Minissale A., Evans W. C., Magro G., Vaselli O.	1997	Multiple source components in gas manifestations from north-central Italy	Chemical Geology, 142: 175 - 192

Progetto MAC-GEO

Prodotto P2.1

Minissale A., Magro G., Martinelli G., Vaselli O., Tassi G.F.	2000	Fluid geochemical transect in the Northern Appennines (central-northern Italy): fluid genesis and migration and tectonic implications	Tectonophysics 319: 199 - 222
Minissale A., Magro G., Vaselli O., Verrucchi C., Perticone I.	1997	Geochemistry of water and gas discharges from the Mt. Amiata silicic complex and surrounding areas (central Italy)	Journal of Volcanology and Geothermal Research 79: 223 - 251
Moller P., Dulski P., Morteani G.	2203	Partitioning of rare earth elements, yttrium, and some major elements among source rocks, liquid and vapor of Larderello-Travale Geothermal Field, Tuscany (Central Italy)	Geochimica et Cosmochimica Acta, 67, 2: 171 – 183
Montegrossi G., Tassi F., Vaselli O., Bidini E., Minissale A.	2006	A new, rapid and reliable method for the determination of reduced sulphur (S2-) species in natural water discharges	Applied Geochemistry 21: 849 – 857
O'Sullivan M.J., Pruess K., Lippmann M. J.	2001	State of the art of geothermal reservoir simulation	Geothermics, 30: 395 - 429
Pandeli E.	1987	Revisione della stratigrafia dei sondaggi Villa alle Monache, Saline 1, Valle Cecina 2 e Pomarance 1	UNG - Enel Geominerario Ufficio Minerario - Rapporto Interno
Pandeli E.	1988	Le successioni sedimentarie e metamorfiche della "regione boracifera" (Larderello-Travale)	UNG - Enel Geominerario Ufficio Minerario - Rapporto Interno
Panichi C., Celati R., Noto P., Squarci P., Taffi L., Tongiorgi E.	1974	Oxygen and hydrogen isotope studies of the Larderello (Italy) geothermal system	Isotope techniques in groundwater hydrology, 2: 3 - 28
Panichi C., Ferrara G.C., Gonfiantini R.	1977	Isotope geothermometry in the larderello geothermal field	Geothermics, 5, 1 - 4: 81 - 88
Paoli L., Loppi S.	2007	A biological method to monitor early effects of the air pollution caused by the industrial exploitation of geothermal energy	Environmental Pollution XX: 1 - 6
Pasquarè G., Chiesa s., Vezzoni L., Zanchi A.	1983	Evoluzione paleogeografica e strutturale di parte della Toscana meridionale a partire dal Miocene Superiore	Memorie Società Geologica Italiana, 25: 145 - 157
Pennisi M., Gonfiantini R., Grassi S., Squarci P.	2006	The utilization of boron and strontium isotopes for the assessment of boron contamination of the Cecina River alluvial aquifer (central-western Tuscany, Italy)	Applied Geochemistry 21: 643 – 655

Petracco C., Squarci P.		Hydrological balance of Larderello geothermal region	—
Puxeddu M., Squarci P., Rau A., Tongiorgi M., Burgassi P.D.	1977	Stratigraphic and tectonic study of Larderello - Travale basement rock and its geothermal implications	Geothermics, 6, 83 - 93
Ranalli G., Rybach L.	2005	Heat flow, heat transfer and lithosphere rheology in geothermal areas: Features and examples	Journal of Volcanology and Geothermal Research 148: 3 – 19
Rossetti F., Balsamo F., Villa I. M., Bouybaouenne M., Faccenna C., Funicello R.	2008	Pliocene Pleistocene HT LP metamorphism during multiple granitic intrusions in the southern branch of the Larderello geothermal field (southern Tiscany, Italy)	Journal of the Geological Society, 165: 247 - 262
Ruggieri G., Cathelineau M., Boiron M., Marignac C.	1999	Boiling and fluid mixing in the chlorite zone of the Larderello geothermal system	Chemical geology, 154: 237 - 256
Ruggieri G., Gianelli G.	1999	Multi-stage fluid circulation in a hydraulic fracture breccia of the Larderello geothermal field (Italy)	Journal of Volcanology and Geothermal Research 90: 241 – 261
Ruggieri G., Giolito C., Gianelli G., Manzella A., Boiron M.	2004	Application of fluid inclusions to the study of Bagnore geothermal field (Tuscany, Italy)	Geothermics, 33: 675 - 692
Scandiffio G., Panichi C., Valenti M.	1995	Geochemical evolution of fluids in the Larderello geothermal field	Proceedings fo the World Geothermal Congress, 1995
Tassi F., Vaselli O., Cuccoli A., Buccianti A., Nisi B., Lognoli E., Montegrossi G.	2008	A geochemical multi-methodological aproach in hazard assessment of CO2-rich gas emissions at Mt.Amiata Volcano (Tuscany, Central Italy)	Water Air Soil Pollut: Focus 9: 117 - 127
Valduga A.	1960	Note al rilevamento geologico dei dinotrni di Gerfalco e di Travale	Bollettino della Società Geologica Italiana, LXXIX: 2 - 41
Van Bergen M.J.	1983	Polyphase metamorphic sedimentary xenoliths from Mt. Amiata volcanics (Central Italy); evidence for a partially disrupted contact aureole	Geologische Rundschau, 72, 2: 637 - 662

*Progetto MAC-GEO*Prodotto P2.1

Villa I. M., Ruggieri G., Puxeddu M., Bertini G.	2006	Geochronology and isotope transport systematics in a subsurface granite from the Larderello–Travale geothermal system (Italy)	Journal of Volcanology and Geothermal Research 152: 20 – 50
Volpi G., Manzella A., Fiordelisi A.	2003	Investigation of geothermal structures by magnetotellurics (MT): an exemple from the Mt.Amiata area, italy	Geothermics, 32: 131 - 145