

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



Rapporto finale WP2

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
IBIMET – Istituto per la Biometereologia – CNR, Firenze
CINIGEO – Dipartimento Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali, Bologna
DIPMAT - Dipartimento di Matematica – Università di Firenze

Data compilazione: Ottobre 2009 (Mese 12)

Indice

Premessa	3
1 Acquisizione dei dati	4
1.1 Acquisizione dati geologici	4
1.2 Acquisizione dati geochimici	4
1.3 Acquisizione dati idrogeologici	6
2 Analisi dei dati	10
2.1 Analisi dati geologici	10
2.2 Analisi dati geochimici	11
2.2.1 Analisi dei dati geochimici generali	11
2.2.2 Analisi dei dati geochimico-isotopici	12
2.3 Analisi dati idrogeologici	13
Appendice	15
Bibliografia	19

Premessa

Il presente report viene consegnato a conclusione di quasi tutto il lavoro compreso nel WP2 – Acquisizione e analisi dei dati.

Già nel Report P2.1 – “Rapporto su acquisizione dati e analisi” del Maggio 2009, sono state descritte le difficoltà incontrate durante le fasi di reperimento ed elaborazione dei dati, che hanno portato ad un ritardo sia nella consegna dello stesso Report P2.1, sia in generale nelle fasi di avanzamento del lavoro e di trasferimento dei dati al modello matematico. Si rimanda dunque al Report P2.1 per la descrizione dettagliata della fasi di acquisizione ed analisi dei dati e delle problematiche incontrate.

1. Acquisizione dei dati

In generale l'acquisizione dei dati dalla Regione, e tramite la Regione da ENEL e da Enti esterni, o direttamente da Enti esterni, ha comportato imprevisti problemi di vari ordini, ed in particolare riguardo a:

- 1) tempi di messa in disponibilità dei dati rispetto alle tempistiche previste dal progetto;
- 2) formato e omogeneità dei dati, anche nel caso di dati provenienti da una stessa fonte;
- 3) dati con sequenze temporali e spaziali incomplete, lacunose o anche discrepanti tra dati di fonti diverse;
- 4) assoluta mancanza di archivi affidabili per alcuni dati indispensabili, con necessità di supplire con non previste campagne dirette di rilievo o ricerca dati.

Queste problematiche hanno comportato una dilatazione dei tempi di acquisizione dati (WP-2) progettualmente preventivati sulla base del presupposto che, in base alle leggi ed alle norme, tutti i dati necessari esistessero in banche dati affidabili e rapidamente acquisibili.

Inoltre, altro tempo non previsto è stato necessario per la loro omogeneizzazione e l'integrazione di quanto mancante, con procedure di geostatistica o con non previsti diretti rilievi in loco. In particolare si sottolinea che per alcuni dati idrogeologici sono ancora in corso lavori di rilievo diretto (deflussi) o di loro ricerca in disponibilità (deflussi e neve).

Infine in alcuni casi la tardiva fornitura di dati ha comportato anche la necessità di rivedere le elaborazioni già fatte per verificarle e tararle anche in base a questi nuovi dati.

Tutto questo, oltre a maggiori tempi rispetto a quanto previsto, ha comportato anche un notevole maggior impegno di personale, e quindi di costi reali rispetto al preventivato.

Con il presente Report, a parte il completamento in corso per alcuni dati idrogeologici e quindi la successiva analisi ed elaborazione di tutto il complesso dei dati idrogeologici, si chiude il WP-2 e si mettono in disponibilità del progetto tutti i dati, le analisi e le elaborazioni eseguite; l'insieme di questo lavoro è inserito nel DVD allegato al presente Report e di cui fa parte integrale.

1.1 Acquisizione dati geologici

Per la descrizione della fasi di acquisizione dati geologici si veda il par. 3.1 del Report P2.1; rispetto alla situazione riportata in quel Report sono state successivamente eseguiti i lavori di calibratura e confronto delle elaborazioni geologiche già effettuate con i dati della BNPGS (fornita ad aprile 2009).

Questo ulteriore, non preventivato, lavoro di verifica ha comportato che solo ora è possibile consegnare i dati geologici nella loro forma definitiva.

Al momento non sono stati consegnati dalla Regione altri dati di potenziale interesse.

1.2 Acquisizione dati geochimici

Come descritto nel Report P2.1, la raccolta dei dati di natura geochimica, relativa alle manifestazioni superficiali e profonde dei campi geotermici di Monte Amiata e di Larderello-Travale, ha previsto sia la ricerca bibliografica sull'esistente sia indagini originali di tipo diretto e/o indiretto.

In generale, i dati relativi alla composizione chimica ed alle misure di temperatura, di conducibilità e di pH, caratterizzanti sorgenti (sorgenti fredde, sorgenti termominerali), acque superficiali, pozzi e gas, sono stati reperiti da materiale bibliografico proveniente dal Dipartimento di Scienze della Terra di Firenze, dal CNR-IGG di Firenze, dalla ricerca bibliografica svolta da CINIGEO, o rinvenuti in via telematica da differenti biblioteche scientifiche ufficiali (per esempio CNR-IGG di Pisa), oppure acquisiti mediante strutture che si sono occupate, per vari scopi, delle zone oggetto di studio, quali le Comunità Montane del Monte Amiata e l'Acquedotto del Fiora; altri dati di sorgenti e pozzi sono stati reperiti dalla Banca Dati delle Indagini Geotermiche a Bassa Entalpia (BNPGS), realizzata dal Centro di GeoTecnologie (CGT) – Università degli Studi di Siena per la Regione Toscana.

Inoltre, è stata effettuata una ricerca specifica di dettaglio, bibliografica e con analisi originali su nuovi campionamenti eseguiti ad hoc in campagna per il presente progetto, relativa alla composizione isotopica di sorgenti e gas delle aree di interesse.

Nonostante le ampie ed accurate indagini per reperire il più elevato numero di informazioni geochimiche, è da sottolineare la scarsità di dati riguardanti i pozzi geotermici, non essendo stati messi a disposizione, al momento della consegna del presente Report, i dati di Enel. Di conseguenza è stato possibile reperire solo pochi dati geochimici di profondità, su sola base bibliografica.

Infine, come accennato nel Report P2.1, sono state condotte missioni di campionamento di acque di pozzi e di sorgenti emergenti sul Monte Amiata, con lo scopo di implementare le informazioni già esistenti e di verificare la potenziale influenza dei fluidi profondi sui sistemi superficiali, tramite il campionamento di 61 manifestazioni al fine di determinare la composizione chimica (elementi maggiori, elementi minori, elementi in tracce, gas disciolti, specie ridotte dello zolfo).

Inoltre, per fornire ulteriori dati di specifico interesse per la verifica della provenienza delle acque sono state successivamente eseguite anche analisi isotopiche (O, H, C_{DIC}).

Tutti i dati disponibili, originali o reperiti in letteratura o presso i vari enti, sono stati implementati in un data base ed elaborati al fine di avere un quadro di riferimento dei fluidi di origine superficiale e profonda delle aree studiate, mettendo in evidenza tutte quelle caratteristiche geochimiche che possono risultare utili per la realizzazione e la validazione del modello numerico dei bacini geotermici.

Inoltre è stato effettuato un ulteriore database delle manifestazioni sulle quali sono state svolte indagini di natura isotopica.

In Tabella 1 sono riportati, in maniera schematica, i dati che sono stati implementati nel database, la provenienza di tali informazioni e la data di acquisizione.

DATO	PROVENIENZA	DATA DI ACQUISIZIONE
Dati geochimici generali di manifestazioni superficiali e profonde	Bibliografia disponibile (vedere Allegato 1, report P2.1) ed elaborato CINIGEO	Marzo 2009
Dati geochimici isotopici di manifestazioni superficiali	Bibliografia disponibile (vedere Allegato 1, report P2.1) ed elaborato CINIGEO	Marzo 2009
Dati di Pozzi Geotermici e Sorgenti	BNPGS – Centro di GeoTecnologie, Università di Siena	Aprile 2009
Dati geochimici generali di manifestazioni superficiali	Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze	Aprile 2009
Dati geochimici isotopici di manifestazioni superficiali	Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze	Giugno 2009
Ubicazione Sorgenti e Pozzi comuni di Castiglion d'Orcia, Abbadia S. Salvatore, Piancastagnaio, Santa Fiora, Arcidosso, Castel del Piano, Seggiano	Acquedotto del Fiora	Marzo 2009
Analisi chimiche ARPAT di: Galleria Alta, Galleria Bassa, Ente, Crognolo 1, Burlana, Ermicciolo, Galleria Drenante, Vena Vecchia, Pozzo Pian dei Renai, Pozzo Acqua Gialla	Acquedotto del Fiora	Marzo 2009
Analisi chimiche Acquedotto del Fiora di alcune sorgenti presso i comuni di Abbadia S. Salvatore, Arcidosso, Castel del Piano, Castiglion d'Orcia, Piancastagnaio, S. Fiora, Seggiano	Acquedotto del Fiora	Marzo 2009

Tab. 1 - Schema riassuntivo dei dati geochimici acquisiti

1.3 Acquisizione dati idrogeologici

Come descritto nel Report P2.1, il bilancio idrogeologico degli acquiferi relativi alle aree di interesse (Monte Amiata e Larderello-Travale) è un elemento fondamentale per definire l'eventuale impatto della coltivazione geotermica sull'ambiente in superficie. A tal fine sono reperiti dati di letteratura ed informazioni provenienti da diversi archivi.

Il periodo di riferimento per il bilancio idrogeologico è stato ridotto di due anni rispetto a quanto ipotizzato all'inizio della ricerca: questo perché negli anni 1937 e 1938 i dati disponibili sono scarsi, praticamente assenti. Pertanto l'intervallo di analisi dei dati è dal 1939 al 2008 compresi.

Per la redazione del bilancio i dati di principale interesse sono i dati mensili di precipitazione e di temperatura dell'aria; il database LAMMA, a noi trasmesso da IBIMET, è risultato particolarmente lacunoso e con errori, pertanto abbiamo dovuto svolgere un non previsto lavoro di integrazione e correzione con i database di ARSIA e IDROPISA reperiti dai rispettivi siti web ufficiali.

Questo ha comportato il dilatarsi dei tempi necessari per lo svolgimento del lavoro, poiché è stato necessario controllare ed integrare un gran numero di dati, eliminando quelli che

risultavano inattendibili. In seguito all'integrazione dei differenti archivi, in totale, i dati ritenuti validi ed attendibili per gli scopi del progetto, si riferiscono a 134 stazioni pluviometriche ed a 55 stazioni termopluviometriche.

Inoltre, una problematica che è stata affrontata, e ancora non risolta, riguarda le precipitazioni nevose. Infatti, nelle due aree di studio, nessuna delle stazioni pluviometriche riporta tali dati negli archivi informatici: *i)* IDROPISA, durante le precipitazioni nevose, non avendo pluviometri che sciolgono la neve, riporta il dato "zero"; *ii)* ARSIA, in caso di precipitazioni nevose, riporta il dato relativo ai mm di neve liquida sciolta nel pluviometro, anche in giorni successivi alla precipitazione nevosa (!!!); *iii)* LAMMA, per le aree di nostro interesse, presenta solamente una stazione (Radicofani) che registra l'altezza della neve caduta al suolo, in modo discontinuo e per pochi anni. I bollettini meteo sui siti web trasmettono i valori di neve caduta e manto nevoso solo giornalmente, senza archiviare i dati. I bollettini (in formato cartaceo) degli annali idrogeologici hanno poche stazioni pluviometriche, con pochi dati e discontinui. Il problema è particolarmente importante per confrontare il bilancio idrogeologico dell'acquifero vulcanico del Monte Amiata per periodi diversi; infatti è noto che le precipitazioni nevose erano più abbondanti nella prima metà del periodo analizzato e che il coefficiente d'infiltrazione della neve è maggiore di quello della pioggia.

Nel seguito della ricerca cercheremo di superare indirettamente questa mancanza d'informazione, al fine di rendere attendibile il confronto fra il bilancio idrogeologico prima dell'inizio dello sfruttamento geotermico e quello dopo.

Per la redazione del bilancio, inoltre, sono stati acquisiti, sia da ricerche bibliografiche che da indagini di tipo indiretto e/o diretto, anche i dati relativi alla portata dei corsi d'acqua. Le informazioni (tabelle cartacee) reperibili dagli annali idrologici sono tutt'ora in via di digitalizzazione. Inoltre, con l'obiettivo di misurare il deflusso di base della risorsa idrica superficiale che esce dalle vulcaniti dell'Amiata, nel settembre 2009 sono state eseguite, mediante micro-mulinello idrometrico, misure di deflusso in 6 sezioni di riferimento dei seguenti corsi d'acqua (T. Fiora, T. Ente, T. Pagliola, T. Senna, T. Rondinaia, T. Minestrone).

Il periodo di misura è stato preceduto da oltre due mesi con assenza di precipitazioni, quindi si ha la certezza che la portata dei corsi d'acqua corrispondeva solo alla riemersione delle acque di falda. Le sezioni sono state scelte a valle del contatto fra le vulcaniti e le Unità Liguri a bassa permeabilità, ed a valle della confluenza fra più torrenti, in modo da ridurre il numero delle misure ed anche gli errori di misura. E' stato anche controllato che il contributo idrico delle aree di affioramento delle Unità Liguri fosse effettivamente nullo. Delle 6 sezioni fluviali, di riferimento misurate 2 sono risultate prive di deflusso.

Le portate misurate non corrispondono alla portata di base complessiva delle vulcaniti: occorre aggiungere le portate delle sorgenti immesse negli acquedotti di Siena, Grosseto e Viterbo, ovvero quelle che non vengono utilizzate entro le vulcaniti stesse, mentre si può ritenere che le portate distribuite dagli acquedotti amiatini "interni" vadano comunque, una volta scaricate nel reticolo superficiale, a comporre i deflussi misurati. Nel calcolo finale si terrà conto delle perdite per evaporazione e traspirazione delle acque utilizzate nell'Amiata, mentre non risulta significativo (anche per l'approssimazione del calcolo complessivo) il ritardo fra la distribuzione dell'acqua agli utenti e lo scarico. L'Acquedotto del Fiora ha fornito, per riferimento significativo generale, il valore delle portate giornaliere "esportate" dall'Amiata nel periodo di misura e controllo.

Nell'area di Larderello, i dati relativi alle portate dei corsi d'acqua si riferiscono alle informazioni reperibili dagli annali idrologici, ancora in via di digitalizzazione, e ad un lavoro originale in corso presso il DST. In questa ricerca sono prese come riferimento 5 sezioni

fluviali con misure dei deflussi (T. Pavone, T. Trossa, T. Possera, T. Cornia, T. Milia). La loro posizione permette la redazione di bilanci idrogeologici parziali. Questi deflussi sono inseriti in un database e saranno utilizzati per valutare la ricarica degli acquiferi geotermici.

Per quanto riguarda la portata delle sorgenti e dei pozzi, come già descritto nel precedente Report P2.1, l'acquisizione dei dati disponibili è stata particolarmente laboriosa poiché tali informazioni sono disperse presso vari enti ed archiviate, spesso, in modo non omogeneo e di non semplice reperimento. Tuttavia, sono stati raccolti numerosi dati relativi, soprattutto, alle misure di portata di sorgenti emergenti sul Monte Amiata. Inoltre, durante i periodi di gennaio – marzo 2009 e settembre 2009 sono state effettuate delle campagne per misurare la portata di alcune sorgenti (in totale circa 70 siti per il primo periodo di campionamento, e di 14 siti per la seconda campagna) emergenti sul Monte Amiata ed al contatto tra le vulcaniti e le rocce sedimentarie. Di contro, le emergenze caratterizzanti l'area di Larderello–Travale presentano poche informazioni disponibili.

In generale, si ritiene ormai di avere un archivio completo delle sorgenti, anche se per molte sorgenti sono disponibili solo pochi dati.

Come descritto nel P2.1, per il calcolo dell'evapotraspirazione e dell'infiltrazione sono necessari, oltre ai valori mensili di P e T , anche i dati relativi al coefficiente di infiltrazione efficace C_{ie} , all'acclività A , al tipo di suolo s e all'uso del suolo v .

I dati di acclività sono stati ricavati dal DTM della Regione Toscana, il tipo di suolo è stato ripreso dalla Carta Pedologica della Regione Toscana in scala 1:25.000, mentre l'uso del suolo è stato dedotto dal Corine Land Cover, aggiornato al 2000, fornito a suo tempo dalla Regione al DTS per altri progetti.

In Tabella 2, in maniera schematica, vengono riportati tutti i dati acquisiti, il fornitore e la data di acquisizione.

DATO	PROVENIENZA	DATA DI ACQUISIZIONE
Precipitazioni e Temperature aria	LAMMA (tramite IBIMET)	Marzo 2009
Precipitazioni e Temperature aria	ARSIA	Marzo 2009
Precipitazioni e Temperature aria	IDROPISA	Marzo 2009
Portata sorgenti e pozzi – Amiata e Larderello	Bibliografia disponibile (vedere Allegato 1, Report 2.1)	Marzo 2009
Portata sorgenti e pozzi – Amiata	Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze	Gennaio – Marzo 2009 Settembre 2009
Portata sorgenti e pozzi – Amiata	UNCCEM – archivio informatico	Marzo 2009
Portata sorgenti e pozzi – Amiata	Regione Toscana	Gennaio 2009
Portata sorgenti e pozzi, livello di falda – Amiata	Acquedotto del Fiora	Marzo 2009
Portata sorgenti e pozzi – Amiata	Comunità Montana Arcidosso	Marzo 2009
Portata sorgenti e pozzi – Amiata	Comunità Montana Abbadia S. Salvatore	Agosto 2009
Portata sorgenti – Larderello	Associazioni Intercomunali – Censimento 1982	Febbraio 2009
Portata sorgenti – Larderello	Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze	Febbraio 2009
Misure deflusso di base – Amiata	Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze	Settembre 2009
Misure deflusso di base – Larderello	Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze	Febbraio 2009
Misure deflusso di base – Amiata e Larderello	IDROPISA – Annali idrologici	Ottobre 2009 (acquisizione ed elaborazione in corso)
Cie	Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze	Maggio 2009
Dati di Acclività A (dal DTM)	Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze	Dicembre 2008
Dati di tipo di suolo s (dalla Carta Pedologica)	Regione Toscana	Luglio 2009
Dati di uso del suolo v (dal Corine Land Cover 2000)	Regione Toscana	Dicembre 2008

Tab. 2 - Schema riassuntivo dei dati idrogeologici acquisiti

2. Analisi dei dati

I dati reperiti in letteratura (ricerche bibliografiche effettuate da DST e CINIGEO), 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.

2.1 Analisi dei dati geologici

Come precedentemente descritto nel Report P2.1, i dati acquisiti avevano come scopo principale la definizione dei modelli geometrici rappresentativi di supporto per il modello numerico.

I 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 e la scarsità dei dati esistenti, soprattutto per quanto riguarda la geologia profonda e i dati di pressione e temperatura, abbia reso necessarie una serie di semplificazioni.

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

- i dati forniti da ENEL: elaborazioni riguardanti dati stratigrafici, di pressione e temperatura (forniti in alcuni casi in formato shape e grid, ma per la maggior parte in formato raster non georiferito);
- i dati presenti nella BNPGS: dati tecnici e stratigrafici relativi ai pozzi geotermici e alle sorgenti (forniti solo dopo che una elaborazione era già stata effettuata, con necessità quindi di riverificare e tarare quanto già fatto!);
- dati presenti in letteratura, soprattutto derivanti da indagini geofisiche (studi CROP e altre indagini indirette, da acquisire in formato numerico ed integrare con quelli ENEL);
- 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;

Questi dati, provenendo da fonti molto diverse, avevano ovviamente caratteristiche molto diverse, quali accuratezza, precisione spaziale, scala, risoluzione, formati, sistemi di coordinate, ecc. E' stato quindi necessario un lavoro di omogeneizzazione che, per quanto possibile, è stato fatto, ma che in alcuni casi si è rivelato difficoltoso, quando non impossibile, e non compatibile con le modalità e la tempistica del progetto MAC-GEO; in alcuni casi è stato quindi necessario fare una scelta a priori e prendere in considerazione solo alcuni dati e scartarne altri perché comunque non utilizzabili così come forniti, o perché incompatibili e non omogeneizzabili agli altri.

Si è proceduto quindi ad un'analisi incrociata dei dati provenienti dalle varie fonti: in alcuni casi, è stato possibile un vero e proprio confronto, ad es., tra dati forniti da ENEL e dati pubblicati in letteratura, in altri casi (come ad es. per i dati di pressione e temperatura) i dati disponibili erano provenienti per la maggior parte da ENEL e sono stati confrontati con i pochi dati presenti in letteratura o nella BNPGS.

L'elaborazione dei dati, tramite analisi geostatistica, è stata effettuata in ambiente GIS: sono stati quindi prodotti una serie di shapefiles e raster che descrivono le principali caratteristiche geologiche e termodinamiche dei due serbatoi geotermici.

2.2 Analisi dei dati geochimici

2.2.1 Analisi dei dati geochimici generali

I dati reperiti mediante ricerche bibliografiche, acquisiti presso vari enti o in maniera diretta dal gruppo di lavoro del Dipartimento di Scienze della Terra di Firenze sono stati confrontati, elaborati ed organizzati in un database dedicato al fine di implementare e validare il modello matematico dei bacini geotermici toscani.

Come accennato nel Report P2.1 un primo problema da risolvere è stato quello di identificare le manifestazioni di interesse in modo univoco, così da poter confrontare sorgenti o pozzi provenienti da differenti fonti (archivi, letteratura, nuovi campionamenti in situ).

In generale, l'analisi dei dati raccolti ha evidenziato una loro notevole disomogeneità. Infatti, mentre per le manifestazioni superficiali ed i gas esistono numerosi e molteplici dati, per i pozzi geotermici sono presenti pochi dati sulle condizioni che caratterizzano la parte profonda dei sistemi, oggetto del presente progetto e, anche nel caso in cui sia presente un'analisi sulla composizione chimica, questa si riferisce al fluido a boccapozzo.

Quindi, per i fini del progetto, abbiamo ritenuto, in aggiunta a quanto previsto, di provare ad avere informazioni relativamente alla composizione dei fluidi in profondità sulla base di specifici software che, a partire dalla composizione chimica del fluido a boccapozzo e dai dati di pressione e temperatura, ricostruiscono la composizione chimica del fluido in profondità; i risultati di questa ulteriore analisi saranno presentati in un successivo addendum.

Nonostante ciò, tutti i dati disponibili sono stati rielaborati e raccolti in un database dedicato delle acque superficiali e profonde delle aree.

Occorre specificare che sono stati creati due database: uno, relativo alla geochimica generale, relativamente più completo e ricco di informazioni; l'altro, più specifico e dedicato ma con un ridotto numero di dati, contenente una caratterizzazione geochimica isotopica delle manifestazioni esaminate.

Inoltre, per quanto riguarda i dati di sorgenti e di pozzi reperibili nella Banca Dati delle Indagini Geotermiche a Bassa Entalpia (BNPGS), per la loro consultazione si rimanda a tale database, che risulta organizzato in modo chiaro, per cui non è stato necessario raggrupparlo con altro materiale acquisito. 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.

Per quanto riguarda i database elaborati dal gruppo di lavoro, come già menzionato nel Report P2.1, l'analisi dei dati è stata impostata sia considerando il fattore temporale (inserimento dell'analisi più recente per meglio rappresentare la condizione attuale), sia la fonte che ha effettuato lo studio geochimico: sono state privilegiate le analisi svolte direttamente dal Dipartimento di Scienze della Terra di Firenze e, in mancanza di altri dati, quelle che potevano ritenersi più attendibili (eseguite con tecniche di campionamento ed analitiche affidabili). Dunque, il database è stato strutturato in modo che vi sia un tipo di analisi per ogni manifestazione, le quali sono suddivise in base alla loro origine in: 1_ sorgenti (sorgenti fredde, sorgenti termominerali, acque superficiali, pozzi); 2_ emissioni gassose; 3_ pozzi geotermici. Inoltre, per ogni manifestazione compaiono vari campi (colonne) che verranno qui di seguito descritte.

Per quanto riguarda il database di geochimica generale, nelle prime colonne sono inseriti i dati più generali relativi alle manifestazioni: codice (FID), Comune di appartenenza (COMUNE),

tipo di manifestazione (TIPO), data di campionamento o di pubblicazione del dato (DATA), fonte di provenienza del dato (FONTE ANALISI), zona in cui la manifestazione è ubicata rispetto alle due aree di interesse (ZONA), quota (QUOTA) e coordinate in Gauss-Boaga (GB_E e GB_N), informazioni su eventuali captazioni (CAPTAZIONE), profondità del pozzo in metri (solo per i pozzi geotermici: DEPTH), portata espressa in l/s (FLOW), livello freatico misurato nei pozzi, espresso in m (LIV. FREATICO), temperatura in °C (T), pH (pH), Eh (Eh), conducibilità in $\mu\text{S}/\text{cm}$ (CND), Total Dissolved Inorganic Carbon espresso in mol/l (TDIC), pressione di CO_2 in bar (P_{CO_2}). Successivamente a queste informazioni di carattere generale, sono introdotti i dati relativi alla composizione chimica delle acque, quali i campi dedicati alle analisi degli elementi maggiori e minori, quelli caratterizzati dalle analisi degli elementi in tracce, le eventuali analisi dei gas disciolti e della CO_2 libera, quelli esclusivi alle analisi degli elementi organici. In Tabella 3 vengono riportate le specie disciolte disponibili e le unità di misura relativa.

TIPO DI ANALISI	UNITÀ DI MISURA	ELEMENTI ANALIZZATI
Elementi maggiori	mg/l	Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , HCO_3^-
Elementi minori	mg/l	HS^- , $(\text{SO}_4)^{2-}$, Cl^- , F^- , Br^- , $(\text{NO}_3)^-$, SiO_2
Elementi in tracce	$\mu\text{g}/\text{l}$	Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Si, Sr, Tl, U, W, Zn
Gas disciolti	mmol/l	CO_2 , N_2 , Ar, CH_4 , O_2 , He, H_2
CO_2 libera	mmol/l	CO_2 libera
Elementi organici	$\mu\text{g}/\text{l}$	Esano, benzene, toluene, stirene, tetracloroetilene, tricloroetilene

Tab. 3 - Schema riassuntivo delle analisi chimiche inserite nel database relativo alla geochimica generale

2.2.2 Analisi dei dati geochimico-isotopici

Per quanto riguarda il database di geochimica isotopica, esso presenta, nei campi generali, gli stessi aspetti di quello precedente, ma si distingue per il tipo di analisi inserito: infatti qui sono raccolti tutti i dati disponibili degli isotopi: $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C} - \text{CO}_2$, $\delta^{13}\text{C} - \text{CH}_4$, $\delta^{15}\text{N} - \text{N}_2$.

Infine, tutte le informazioni raccolte (composizione chimica ed isotopica) sono state elaborate ed inserite in un progetto GIS mediante la creazione di shapefiles, rappresentativi di ubicazione delle manifestazioni e loro caratterizzazione geochimica. La realizzazione e la gestione di mappe tematiche eseguite tramite algoritmi geostatistici, servirà per implementare e validare il modello numerico dei sistemi geotermici di interesse.

2.3 Analisi dei dati idrogeologici

Successivamente alla fase di raccolta dei dati, si è proceduto alla elaborazione, analisi critica e validazione di tali informazioni con lo scopo di inserirle in un database e/o di utilizzarle per implementare il modello numerico dei bacini geotermici toscani.

Per quanto riguarda le stazioni pluviometriche e termometriche, prima di tutto queste sono state inserite in un progetto GIS: ciò ha permesso di definire la loro ubicazione e di identificare ogni stazione, potendola, eventualmente, confrontare ed integrare con stazioni simili di archivi differenti.

Successivamente, una volta conclusa la fase di integrazione dei dati, è stato necessario completare le serie, ricostruendo i valori di P e di T, poiché molti dati erano mancanti. Tale ricostruzione è necessaria per giungere alla distribuzione geografica delle precipitazioni e delle temperature, a sua volta indispensabile per redigere il bilancio idrogeologico del periodo 1939–2008 ed i bilanci dei periodi minori.

La ricostruzione, come d'uso classico, è stata eseguita in una prima fase mediante un algoritmo basato su un metodo geostatistico, che ricostruisce il dato di P mensile mancante di una stazione come media pesata dei dati registrati dalle stazioni circostanti, media ponderata in funzione della loro distanza. Ma ai fini del progetto questo metodo di ricostruzione è stato ritenuto non del tutto soddisfacente poiché non tiene conto del fattore quota. Tale problema si presenta soprattutto per il Monte Amiata, dove, infatti, le stazioni pluviometriche sono poste intorno all'edificio vulcanico, fra le quote di 500 e 800 m, mentre la sola stazione "Monte Amiata", si trova in prossimità della vetta, alla quota di 1700 m, stazione che, oltre tutto, ha pochi anni di registrazione.

La relazione fra le precipitazioni annue e la quota delle stazioni mostra chiaramente l'influenza di quest'ultima sulle altezze di precipitazione. Per tenere conto di tale effetto, il dato di P mensile ottenuto per interpolazione geostatistica è stato corretto con l'equazione di regressione quota–precipitazione tenendo conto della differenza di quota fra la stazione in questione e la quota media delle stazioni utilizzate.

Inoltre, si è considerato che la sola stazione di "Monte Amiata" non avrebbe consentito di ricostruire la distribuzione delle piogge in maniera sufficientemente valida per il calcolo della P media sulle vulcaniti stesse; per questo è stato posto sulla montagna un certo numero di stazioni fittizie, per le quali i dati di P mensile sono stati ricostruiti con lo stesso metodo sopra descritto: interpolazione geostatistica con le stazioni circostanti e correzione per la quota.

Nel caso della temperatura, la ricostruzione è risultata più facile e più attendibile, per il fatto che T varia con continuità nel tempo e nello spazio, a differenza degli afflussi meteorici.

Per completare le serie dei dati di T è stato utilizzato, come per le P, il metodo geostatistico. Tuttavia, anche in questo caso, soprattutto per l'area di affioramento delle vulcaniti del Monte Amiata, tale metodo non è stato ritenuto sufficientemente preciso per la redazione dei bilanci idrogeologici; quindi, come per le precipitazioni, il valore ottenuto è stato corretto per tenere conto della diminuzione della temperatura con la quota. In questo caso, le stazioni termometriche erano poche per ottenere una regressione valida fra le quote e le temperature; per questo si è preferito utilizzare il gradiente, scientificamente accettato, di $-0,33\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Sempre nel caso del Monte Amiata, si è anche tenuto conto della diversa esposizione della montagna, alla quale corrisponde una significativa differenza di temperatura.

Questo processo porta alla compilazione di un database di riferimento riguardo alle temperature ed alle precipitazioni.

Tutti i dati di letteratura relativi alle portate di pozzi e di sorgenti emergenti nelle due aree di interesse raccolti sono stati inseriti nel database relativo.

Ai fini del bilancio idrogeologico dell'acquifero vulcanico del Monte Amiata, sarebbe necessario avere almeno le portate mensili delle sorgenti, ma queste portate sono disponibili solo per alcune delle sorgenti maggiori e non per tutto il periodo d'interesse. Nel seguito dello studio si cercherà di arrivare ad una valutazione della portata totale delle sorgenti, ma fin d'ora possiamo dire che sarà difficile ottenere un valore sufficientemente attendibile, non solo per la scarsità o assenza di dati, ma anche perché le sorgenti dell'Amiata hanno dei regimi diversi: quelle che hanno un circuito piuttosto superficiale hanno dei tempi di residenza delle acque entro uno–due mesi, quelle con circuiti più profondi hanno tempi di residenza medi di vari mesi, se non di anni. Questo rende impossibile attribuire alle sorgenti con poche misure il regime delle sorgenti con misure mensili, e quindi di calcolarne la portata media.

Un altro problema è conseguente alla realizzazione delle gallerie drenanti da parte dell'Acquedotto del Fiora, gallerie che hanno sconvolto l'equilibrio idrogeologico delle vulcaniti dell'Amiata, spostando alcuni spartiacque sotterranei e dando origine ad un regime transitorio nel periodo nel quale i livelli di falda sono progressivamente scesi per mettersi in equilibrio con i nuovi livelli di base.

Per la redazione dei bilanci idrogeologici, inoltre, sono in fase di acquisizione anche i dati di portata dei corsi d'acqua. Al momento sono state reperite alcune informazioni (indagini di tipo diretto e/o indiretto) relative al deflusso superficiale delle due aree di interesse, ma ai fini del controllo dei bilanci sono in fase di acquisizione anche altri dati presenti sugli annali idrologici. Tali dati sono in realtà assai pochi, quindi sarà necessario ricorrere anche a valutazioni indirette, ad esempio utilizzando le tabelle di Kennessey (1930) che forniscono un valore del coefficiente di deflusso: anche se tale metodo fornisce un valore molto approssimativo del coefficiente di deflusso di un bacino, esso permette il confronto fra bilanci dello stesso bacino per anni diversi.

Per quanto riguarda i valori del Cie (coefficiente d'infiltrazione efficace), essi sono ricavati dalle diverse unità geologiche affioranti nelle due aree di studio. Questi derivano solo per poche unità da bilanci idrogeologici eseguiti, ovvero tramite la misura delle portate totali delle sorgenti o il calcolo del deflusso di base annuo; per la maggior parte il coefficiente d'infiltrazione è stato valutato per confronto fra le litologie delle unità. Nella redazione dei bilanci idrogeologici delle aree Amiata e Larderello–Travale, questi coefficienti saranno corretti in funzione dei vari termini del bilancio: in altre parole i vari Cie saranno calibrati in fase di taratura dei bilanci stessi.

Tutti i dati climatici ed idrogeologici acquisiti sono stati inseriti in appositi database dedicati alle acque. Come precedentemente accennato, a causa dell'incongruenza dei dati provenienti da archivi diversi, il database è ancora in fase di completamento.

Appendice

Di seguito vengono elencati i file prodotti e presenti all'interno del DVD allegato al presente Report e di cui fa parte integrale.

NOME FILE O CARTELLA E TIPOLOGIA	CONTENUTI	FONTI	DATA ACQUISIZIONE DATA ELABORAZIONE	NOTE
area_larderello <i>shapefile</i>	Rappresenta l'area scelta per il modello	Elaborato da DST	Dicembre 2008	
area_amiata <i>shapefile</i>	Rappresenta l'area scelta per il modello	Elaborato da DST	Dicembre 2008	
flusso_calore <i>shapefile</i>	Rappresenta il flusso di calore (area Larderello e Amiata) – Linee di isoflusso (mW/m^2)	<ul style="list-style-type: none"> DB bibliografici DST e CINIGEO Elaborato da DST 	Dicembre 2008	Nel campo "codice", 1: isolinea certa, 0: isolinea ipotizzata
gradiente_geot <i>shapefile</i>	Rappresenta il gradiente geotermico (area Larderello e Amiata) – Linee di isogradiente geotermico ($^{\circ}\text{C/km}$)	<ul style="list-style-type: none"> DB bibliografici DST e CINIGEO Elaborato da DST 	Dicembre 2008	Nel campo "codice", 1: isolinea certa, 0: isolinea ipotizzata
pozzi_toscana_BDP GS <i>shapefile</i>	Ubicazione dei pozzi geotermici (area Larderello e Amiata)	BNPGS	Aprile 2009	Per la descrizione si rimanda alla relazione associata alla Banca Dati (Centro di GeoTecnologie)
top_serb <i>shapefile</i>	Rappresenta le isobate del tetto del serbatoio superficiale (Amiata)	<ul style="list-style-type: none"> ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS Elaborato da DST 	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009 Ottobre 2009	Nel campo "contour": quota in m s.l.m. delle isolinee
top_serb <i>raster (tingrid)</i>	Rappresenta la superficie del tetto del serbatoio superficiale (Amiata)	<ul style="list-style-type: none"> ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS Elaborato da DST 	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009 Ottobre 2009	
base_serbsup_Am <i>shapefile</i>	Rappresenta le isobate della base del serbatoio superficiale (Amiata)	<ul style="list-style-type: none"> ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS Elaborato da DST 	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009 Ottobre 2009	Nel campo "quota": quota in m s.l.m. delle isolinee
base_serbsup_Am <i>raster (tingrid)</i>	Rappresenta la superficie della base del serbatoio superficiale (Amiata)	<ul style="list-style-type: none"> ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS Elaborato da DST 	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009 Ottobre 2009	
top_serbprof_Am <i>shapefile</i>	Rappresenta le isobate della base del serbatoio profondo (Amiata)	<ul style="list-style-type: none"> ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS 	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009	Nel campo "profondità": quota in m s.l.m. delle isolinee

Progetto MAC-GEO

		• Elaborato da DST	Ottobre 2009	
top_serbprof_Am <i>raster (tingrid)</i>	Rappresenta la superficie del tetto del serbatoio superficiale (Amiata)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009 Ottobre 2009	
K_Am <i>shapefile</i>	Rappresenta le isobate dell'Orizzonte K (Amiata)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Ottobre 2009	Nel campo "quota": quota in m s.l.m. delle isolinee
K_Am <i>raster (tingrid)</i>	Rappresenta la superficie dell'Orizzonte K (Amiata)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Ottobre 2009	
base_vulcaniti <i>shapefile</i>	Rappresenta le isobate della base delle vulcaniti (Amiata)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009 Maggio 2009	Nel campo "quota": quota in m s.l.m. delle isolinee
base_vulcaniti <i>raster (tingrid)</i>	Rappresenta la superficie della base delle vulcaniti (Amiata)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009 Ottobre 2009	
limite_vulcaniti <i>shapefile</i>	Rappresenta il limite di affioramento delle vulcaniti (Amiata)	• DB bibliografici DST e CINIGEO • Elaborato da DST	Marzo 2009 Aprile 2009	
T_Amiata_shp <i>Cartella contenente 16 shapefiles</i>	Rappresentano una serie di isoterme (Amiata)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009 Ottobre 2009	Nel campo "quota": quota in m s.l.m. delle isoterme
T_Amiata_raster <i>Cartella contenente 16 raster (tingrid)</i>	Rappresentano una serie di isoterme (Amiata)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009 Ottobre 2009	
aff_serb_amiata <i>shapefile</i>	Rappresenta le aree di affioramento delle rocce serbatoio (Amiata)	• DB bibliografici DST e CINIGEO • Elaborato da DST	Marzo 2009 Settembre 2009	
dtm_amiata	Digital Terrain Model 10m (Amiata)	LAMMA	Marzo 2009	
base_flysch <i>shapefile</i>	Rappresenta le isobate della base della copertura impermeabile (Larderello)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009 Settembre 2009	Nel campo "contour": quota in m s.l.m. delle isolinee
base_flysch <i>raster (tingrid)</i>	Rappresenta la superficie della base della copertura impermeabile	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009	

Progetto MAC-GEO

	(Larderello)	• Elaborato da DST	Settembre 2009	
top_serbatoio_reale <i>shapefile</i>	Rappresenta le isobate del tetto del serbatoio geotermico (Larderello)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009 Settembre 2009	Nel campo "contour": quota in m s.l.m. delle isolinee
top_serb_real <i>raster (tingrid)</i>	Rappresenta la superficie del tetto del serbatoio geotermico (Larderello)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009 Settembre 2009	
k_contour_200 <i>shapefile</i>	Rappresenta le isobate dell'Orizzonte K (Larderello)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Settembre 2009	Nel campo "contour": quota in m s.l.m. delle isolinee
K <i>raster (tingrid)</i>	Rappresenta la superficie dell'Orizzonte K (Larderello)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Settembre 2009	
aff_serb_lard <i>shapefile</i>	Rappresenta le aree di affioramento delle rocce serbatoio (Larderello)	• DB bibliografici DST e CINIGEO • Elaborato da DST	Marzo 2009 Settembre 2009	
T_Larderello_shp <i>Cartella contenente 7 shapefiles</i>	Rappresentano una serie di isoterme (Larderello)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009 Settembre 2009	
T_Larderello_raster <i>Cartella contenente 7 raster (tingrid)</i>	Rappresentano una serie di isoterme (Larderello)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO BNPGS • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Aprile 2009 Settembre 2009	
P_Larderello_shp <i>Cartella contenente 5 shapefiles</i>	Rappresentano una serie di isobare (Larderello)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Settembre 2009	
P_Larderello_raster <i>Cartella contenente 5 raster (tingrid)</i>	Rappresentano una serie di isobare (Larderello)	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO • Elaborato da DST	Febbraio 2009 Marzo 2009 Settembre 2009	
Perm_Cond <i>File excel</i>	Contiene valori di permeabilità e conducibilità termica	• ENEL DB bibliografici DST e CINIGEO	Febbraio 2009 Marzo 2009	

Progetto MAC-GEO

	(Amiata e Larderello)	• Elaborato da DST	Settembre 2009	
DB geochimica generale <i>File excel</i>	Database di geochimica delle manifestazioni delle due aree di interesse	• Bibliografia DST Acquedotto del Fiora • Elaborato da DST	Ottobre 2009	
DB geochimica isotopica <i>File excel</i>		• Bibliografia DST • Elaborato da DST	Ottobre 2009	
An_chim_manif_sup <i>shapefile</i>	Analisi chimiche delle manifestazioni superficiali delle due aree	Elaborato da DST	Ottobre 2009	
An_isot_manif_sup <i>shapefile</i>	Analisi isotopiche delle manifestazioni superficiali delle due aree	Elaborato da DST	Ottobre 2009	
An_chim_gas <i>shapefile</i>	Analisi chimiche delle emissioni gassose delle due aree	Elaborato da DST	Ottobre 2009	
An_isot_gas <i>shapefile</i>	Analisi isotopiche delle emissioni gassose delle due aree	Elaborato da DST	Ottobre 2009	
An_chim_pozzi geot <i>shapefile</i>	Analisi chimiche dei pozzi geotermici delle due aree	Elaborato da DST	Ottobre 2009	

Bibliografia

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