

**OSSERVAZIONI SULLO STUDIO DELL'UNIVERSITÀ DI SIENA SULL'AREA DEL
MONTE AMIATA IN RAPPORTO ALLO SFRUTTAMENTO GEOTERMICO**

- **Rapporto**
- **Allegato**

**Nota interna redatta su richiesta degli Assessori Marco Betti e Annarita Brammerini
da
Maria Sargentini, Alessandro Marzocchi, Luigi Micheli**

6 marzo2009

PREMESSA

La presente nota costituisce un rapporto interno all'Amministrazione Regionale, che viene espresso su richiesta degli Assessori Marco Betti e Annarita Brammerini, al fine della valutazione dello "Studio geostrutturale, idrogeologico e geochimico ambientale dell'area Amiata" (Siena 10 ottobre 2008), commissionato all'Università di Siena da parte del Settore Energia della Regione Toscana.

Tale studio si colloca nel più generale contesto di analisi delle relazioni sistema idrogeologico-sistema geotermico avviato dalla Regione Toscana e tuttora in corso ed è nello specifico motivato da esigenze di approfondimento delle conoscenze globali dell'area dell'Amiata, in relazione ai diversi fattori relativi a possibili rischi ambientali connessi alla geotermia indicati nei 2 studi di carattere preliminare dello Studio Edra, e che possono essere così sintetizzati:

1. il collasso gravitativo del vulcano Amiata (forse ancora attivo nel versante meridionale Amiata) ha profondamente fagliato il vulcano, mettendo in contatto la falda freatica con quella geotermica.
2. le strutture diapiriche correlate allo sprofondamento possono mettere in crisi (vedi esplosioni di fango presso Piancastagnaio) i pozzi geotermici vicini con possibili eventi pericolosi.
3. l'acquifero freatico del Monte Amiata per le sue caratteristiche può tendere a svuotarsi, qualora diminuisca la ricarica o nel caso sia estratta acqua dallo stesso (nel caso che la falda freatica sia richiamata verso la falda geotermica in conseguenza dello sfruttamento geotermico).
4. la superficie della falda freatica definita con la recente indagine geofisica del CNR (Dott.ssa Manzella) evidenzia notevoli depressioni rispetto allo studio ENEL (Geothermics 1970).
5. le depressioni della falda freatica di cui al punto 4 sono connesse quindi ad una correlazione fra aumento della produzione di vapore e calo nelle portate delle sorgenti del Fiora con conseguente incremento di presenza di "elementi inquinanti". Inoltre il camino di aerazione della ex miniera di Abbadia San Salvatore ha incrementato l'emissione di vapori geotermici.

La presente valutazione sullo studio dell'Università di Siena è riferita ai contenuti effettivi dello stesso indipendentemente dalla loro rispondenza o meno ai contenuti del bando, ai tempi e all'entità dell'incarico.

Gli scopi dichiarati nello studio dell'Università di Siena sono:

- valutazione delle possibili correlazioni fra i 2 acquiferi, in base al modello strutturale, per verificare l'influenza della geotermia sulla falda strategica dell'Amiata;
- valutazione dello stato di inquinamento conseguente alle emissioni geotermiche.

L'analisi delle singole sezioni dello studio ha seguito l'ordine originale. La sezione 3 (Studio geochimica ambientale) non è stata comunque oggetto di specifica valutazione in quanto non direttamente correlata agli aspetti tecnici d'interesse delle strutture scriventi e non disponendo le stesse di specifiche adeguate professionalità.

L'incarico all'Università di Siena ha fatto seguito allo studio CNR e allo Studio Edra, sviluppati nell'ambito delle attività finalizzate alla definizione del bilancio idrico di dettaglio dell'acquifero del Monte Amiata.

La valutazione ha quindi considerato le seguenti parti dello studio dell'Università di Siena:

- q la Sez. 1 (Studio geostrutturale dell'apparato vulcanico amiatino);
- q la Sez. 2 (Studio idrogeologico dell'apparato vulcanico amiatino);
- q la Sez. 4 (Supporto delle tecniche di telerilevamento alle problematiche trattate in questo studio).

L'analisi è basata su una lettura critica dello studio, comparata con altri dati geologici pubblicati e valutando quanto emerso da ripetuti sopralluoghi. Si sono infine analizzate in via preliminare le foto aeree e immagini DEM tridimensionali con esagerazione delle altezze.

SEZ.1 STUDIO GEOSTRUTTURALE DELL'APPARTO VULCANICO AMIATINO

Nella parte introduttiva di questa sezione si indica che scopo dell'incarico ricevuto dalla Regione Toscana era quello di definire l'assetto strutturale dell'area amiatina e del suo sottosuolo, individuando oltre alla serie dei terreni le strutture di faglia e frattura, le pieghe e strutture cupoliformi (diapiri). Quanto sopra valutando anche i dati emersi dallo studio Edra. L'analisi strutturale contenuta in questa sezione è stata condotta alla mesoscala, tralasciando la microscala; la megascala sembra quella affrontata nella sezione 4.

Nel secondo paragrafo viene fatta una sintesi dell'evoluzione geologica di questa parte di territorio, definendo la serie dei terreni presenti e sommarie indicazioni sull'evoluzione del vulcano Amiata. In tale parte dello studio è riportata l'unica carta geologica prodotta: si tratta di uno schema geologico semplificato, che contiene meno informazioni geologiche di quelle contenute nella Carta Geologica Regionale in scala 1:10.000. Ci sembra evidente che tale carta riveste solo un carattere di inquadramento, non essendo sufficiente a definire l'assetto strutturale dell'area amiatina, in relazione agli aspetti idrogeologici che devono essere chiariti in merito alla geotermia.

Questo paragrafo si conclude affermando che le osservazioni di campagna sono state eseguite principalmente sulle vulcaniti e soprattutto per esaminare le strutture geologiche individuate da Edra.

Nel terzo paragrafo vengono dapprima definite le caratteristiche di faglie e fratture e quindi sono brevemente elencati i sistemi di fratturazione che sono stati individuati (si presume sulle vulcaniti), senza però indicare il numero di misure effettuate (ai fini della validità statistica), né sono allegati degli stereogrammi di distribuzione spaziale degli elementi individuati.

Il paragrafo passa quindi ad illustrare i risultati delle osservazioni di campagna sulle faglie nelle varie aree, partendo da quelle segnalate nello studio Edra.

- I Zona Pian delle Mura: le osservazioni dello studio sono riferite a fratturazione presente sul "versante di faglia", che comunque concordano abbastanza con quelle dello studio Edra (che cita tale faglia come una di quelle che meglio testimoniano una fase di sprofondamento dell'edificio vulcanico). Nello studio si afferma che non è stato però possibile stabilire i caratteri del movimento della faglia (a parere degli scriventi i caratteri morfo-strutturali della zona sono a sostegno della tesi Edra); inoltre nello studio mancano osservazioni sulle superfici delle colate laviche tagliate

dalla faglia delle Mura, che avrebbero potuto fornire altri elementi conoscitivi in merito.

- | Zona Poggio Falco - Poggio Pinzi: lo studio riconosce la presenza di una faglia, con un movimento trascorrente sinistro. Sulla base delle osservazioni mesostrutturali di campagna, senza altri tipi di indagini, né richiamando i risultati della Sez. 4, viene dedotto che non esiste il graben sommitale indicato negli studi preliminari di Edra.
- | Zona Poggio Trauzzolo: sono riconosciute fratture allineate con le faglie che Edra indica nella zona delle Piane.
- | Zona Le Piane: viene riconosciuto un lineamento morfologico di natura indefinita (secondo Edra e altri autori si tratta invece di una faglia che indica uno sprofondamento dell'edificio vulcanico).
- | Zona La Montagnola Poggio di Belluria: viene riconosciuta come probabile una delle faglie individuate da Edra, mentre viene negata l'esistenza di quella coniugata che per Edra costituisce il graben sommitale.
- | Zona Prato delle Macinaie: anche in questa zona sia Edra che altri autori individuano una faglia che indicherebbe lo sprofondamento della parte centrale dell'edificio vulcanico. Lo studio riconosce l'esistenza solo di un lineamento morfologico, allineato con la presunta faglia, ma di natura indefinita.

A questo punto lo studio conclude:

- solo poche delle faglie Edra sono state riconosciute come tali.
- le altre corrispondono a contatti litologici o a lineamenti morfologici, che possono avere carattere di fratture di cui non è stata riconosciuta né la dislocazione né la giacitura del piano.

A proposito di tali conclusioni si debbono fare le seguenti osservazioni

Gli autori usano una logica per la quale le faglie esistono solo quando confermate dai rilievi strutturali alla mesoscala. senza considerare che le litologie vulcaniche presenti non sono certo le migliori per tali osservazioni e neppure in tale fase vengono considerati i "lineamenti tettonici" individuati nella sez. 4 dello stesso studio. Si vuole qui far notare che una faglia può esistere anche se il rilievo di campagna non ne consente l'individuazione, considerando soprattutto che le emissioni vulcaniche tendono a ricoprire e "distruggere" le evidenze delle discontinuità tettoniche che ne hanno permesso la risalita.

La verifica sul campo delle faglie ipotizzate da Edra si è basata solo su un'analisi mesostrutturale (peraltro su un numero di misure non dichiarato e senza l'elaborazione di stereonet) su litologie vulcaniche non molto favorevoli a tale tipo di indagine. Si deve anche osservare che in questi casi sarebbe stato utile affiancare alle analisi mesostrutturali delle indagini fotogeologiche e geomorfologiche.

Viene detto che i lineamenti morfologici possono corrispondere a fratture. A tal proposito si deve osservare che se la demarcazione fra faglie e fratture è indice dell'esistenza di uno spostamento dei blocchi, è chiaro che la classificazione di un elemento tettonico in uno dei due tipi, dipende dalla scala di indagine. Inoltre si deve ricordare che nell'edificio vulcanico, anche se inquadrabili solo come fratture, alcune di esse hanno consentito la

fuoriuscita di emissioni laviche, indicando un collegamento profondo delle stesse, cosa poi importante ai fini generali dello studio per chiarire se esistano possibili collegamenti tra le 2 falde.

Nel quarto paragrafo viene verificata la presenza delle strutture duttili (Diapiri, anticlinali e sinclinali) indicate nello studio Edra.

Per quanto riguarda i diapiri (indicati nel numero di 7 da Edra) lo studio conclude che in base a sopralluoghi e ad analisi delle giaciture di strato riportate nelle carte geologiche esistenti, la loro effettiva presenza non è documentata. Non sono però prodotte carte di sintesi delle suddette analisi.

In relazione alle sinclinali ipotizzate da Edra intercalate fra i diapiri ed a questi correlate come genesi, è chiaro che tali ipotetici effetti secondari si sovrappongono alla giacitura a sinclinale alla base delle colate vulcaniche esterne all'edificio vulcanico, che già in origine si sono deposte su morfologie vallive, anche se oggi, per il fenomeno di inversione del rilievo (maggiore resistenza all'erosione rispetto alle rocce di base) queste colate costituiscono strutture positive.

In merito alle anticlinali disposte ad anello intorno alla base dell'edificio vulcanico (come proposto dalle ipotesi Edra) lo studio afferma che la loro esistenza non è stata confermata, né è emersa dall'analisi di varie cartografie geologiche.

In effetti anche il sopralluogo congiunto su un tratto di una delle più evidenti di queste strutture supposte ad anticlinale, ha indicato non trattarsi di tale caso.

Una nostra analisi del rilievo 3D del DEM dell'area, ha comunque evidenziato che almeno sui lati nord ed ovest dell'area amiatina esistono tratti molto evidenti di strutture (di faglia?), che coincidono abbastanza con quelle di Edra e sulla cui presenza e natura nulla dice lo studio.

Nel quinto paragrafo lo studio richiama le conclusioni delle indagini geostrutturali, che per buona parte consistono nel ricordare gli elementi che confutano le tesi Edra.

Nella seconda parte delle conclusioni vengono fornite alcune interessanti notizie che, pure se riferite all'Amiata, rivestono un carattere solo generale: si afferma infatti che il vulcano è stato interessato da una tettonica postvulcanica (deformazione fragile pleistocenica superiore a cinematica trascorrente), forse ancora attiva e di carattere regionale, negando però una evoluzione gravitativa del vulcano.

Aldilà di quanto sopra espresso e di quanto alle successive conclusioni, la Sez. 1 dello studio, appare nei contenuti più orientata a sviluppare "controdeduzioni allo studio Edra con note di geologia strutturale" che non lo "studio geostrutturale dell'apparato vulcanico amiatino".

Infatti un effettivo studio geostrutturale avrebbe dovuto basarsi sui seguenti elementi qui solo sintetizzati:

1. analisi dei dati contenuti nei vari studi geologici esistenti e approfondimento dei dati contenuti nella carta geologica al "10.000" della Regione Toscana;
2. confronto con le indicazioni dello studio fotogeologico;

3. elaborazione di un modello di evoluzione dell'area amiatina, riferito anche al vulcano, basato su carte geologiche e sezioni geologiche, nonché su schemi vulcano-tettonici.
4. applicazione del modello suddetto per una valutazione del possibile-probabile collegamento che le faglie hanno sulle 2 falde idriche in discussione.

Come è noto e riportato in diversi studi geologici (ENEL e Cataldi ecc) la base dell'edificio vulcanico è sprofondata in parte nel substrato, con genesi quindi di una fratturazione recente nelle vulcaniti e verosimilmente anche nei camini vulcanici.

Inoltre l'esistenza di una tettonica recente e forse attiva, può ancor più aver favorito detto collegamento.

Questi aspetti non sono stati affrontati in modo soddisfacente nello studio e sono invece proprio quelli che dovevano essere definiti, per poter poi essere utilizzati come base della parte idrogeologica dello studio.

SEZ. 2 STUDIO IDROGEOLOGICO DELL'APPARTO VULCANICO AMIATINO

Nella parte introduttiva di questa sezione si indica che scopo dell'incarico ricevuto dalla Regione Toscana era quello di verificare la correlazione in termini qualitativi e quantitativi tra sfruttamento geotermico e la falda superficiale ospitata nelle vulcaniti. Gli autori di questa sezione utilizzano dati derivati da studi e indagini pregressi poiché “..visto il modesto budget e il brevissimo tempo a disposizione non hanno potuto avvalersi di studi ideologici ex novo”. Le verifiche vengono affrontate attraverso evidenze di tipo idrologico, idrogeologico e correlazioni tra input (piogge efficaci ed infiltrazione) e output (deflusso sotterraneo). Tali verifiche si basano su uno schema teorico generale mai oggettivo rispetto al modello geologico della zona. Lo sviluppo della sezione 2 infatti non fa mai riferimento alla struttura vulcanica e agli aspetti dinamici e strutturali connessi.

1. Bilancio idrico delle vulcaniti amiatine: valutazione della ricarica dell'acquifero per infiltrazione

Il paragrafo 1 valuta la ricarica dell'acquifero superficiale per infiltrazione attraverso dati climatici e loro elaborazione (punto 1.1). Gli autori evidenziano come l'altitudine e l'azione mitigatrice del mare rappresentino gli elementi principali che determinano il clima amiatino. Per la caratterizzazione climatica i principali parametri da considerare sono le precipitazioni e le temperature ai quali si affiancano l'intensità della irradiazione solare e l'eliofania. Gli autori precisano che per questi ultimi aspetti non esistono stazioni di misura utilizzabili per il Monte Amiata.

1.1.1. Dati di base e variabili utilizzate

I dati utilizzati, relativi al periodo 1939 – 2007, si riferiscono a 6 stazioni climatiche (4 pluvio-termometriche e 2 pluviometriche). Gli autori evidenziano la presenza di diverse lacune di registrazione dei dati. I dati mancanti vengono ricostruiti con il procedimento delle medie analoghe di Hann utilizzando i dati disponibili per lo stesso periodo di tempo dalle altre stazioni. Ben 5 stazioni climatiche utilizzate sono ubicate alla base del vulcano. L'unica stazione in quota (Casello del Guardiano) presenta solo 4 anni di registrazione (1951, 1953-1955), si ricorda che gli stessi autori sottolineano come l'altitudine rappresenti uno degli elementi principali per la definizione degli input dell'acquifero

1.1.1.1 Precipitazioni.

Vengono valutati gli afflussi medi mensili e annui sulla base dei dati delle 6 stazioni utilizzate (Castel del Piano, Vivo d'Orcia, Casello del Guardiano, Abbadia San Salvatore, Piancastagnaio, Santa Fiora). Come già precedentemente detto le lacune di registrazione vengono "riempite" con il procedimento delle medie analoghe di Hann. Si osserva che il numero di anni con i dati ricostruiti con tale procedimento per il periodo 1939-2007 risultano i seguenti:

Stazione Castel del Piano: nessun anno ricostruito

Stazione Vivo d'Orcia: 6 anni ricostruiti su 69

Stazione Casello del Guardiano: 65 anni ricostruiti su 69

Stazione Abbadia San Salvatore: 21 anni ricostruiti su 69

Stazione Piancastagnaio: 31 anni ricostruiti su 69

Stazione Santa Fiora: 13 anni ricostruiti su 69.

Si mette in evidenza come la stazione con la quasi totalità degli anni ricostruiti e quella del Casello del Guardiano (l'unica in quota).

Per la valutazione delle precipitazioni medie sull'intero acquifero viene utilizzato il metodo dei topoi. Si osserva che i valori attribuiti al poligono comprendente la stazione del Casello del Guardiano si basano su dati ricostruiti. Il grafico relativo ai valori annuali di precipitazione sull'acquifero dell'Amiata evidenzia un trend di diminuzione delle piogge di circa 6 mm. annui.

Si osserva a questo proposito che i valori individuati nel bilancio idrologico eseguito dalla Comunità Montana Amiata nel 1990 mostra valori diversi da quelli calcolati dagli autori di questa sezione.

1.1.1.2 Temperature

Vengono utilizzate le stazioni termometriche di:

Castel del Piano

Abbadia San Salvatore

Piancastagnaio

Santa Fiora

Anche in questo caso le lacune di registrazione vengono riempite con il procedimento delle medie analoghe di Hann. Si osserva che alle stazioni del Vivo d'Orcia e del Casello del Guardiano (prive di registrazioni termometriche) vengono attribuiti dati totalmente ricostruiti. Viene quindi prodotto il grafico delle temperature medie annue per il periodo di osservazione considerato (1939-2007). Il grafico evidenzia un trend di leggera diminuzione delle temperature.

1.1.2 Parametri derivati

Sulla base dei valori termici e pluviometrici ricavati secondo le metodologie sopra riportate vengono effettuate stime sull'evapotraspirazione reale annua e sulle precipitazioni efficaci annue (parametri di base di input e di output per il bilancio idrologico)

1.1.2.1 Evapotraspirazione

Viene utilizzata la formula di Turc. L'elaborazione evidenzia un trend di leggera diminuzione dell'evapotraspirazione reale media annua. Si osserva che la definizione del valore dell'evapotraspirazione rappresenta uno degli aspetti più critici nel bilancio idrologico trattandosi inevitabilmente, se non a mezzo di costosi e prolungate misurazioni, di calcoli indiretti.

1.1.2.2. Piogge efficaci

Le piogge efficaci si ottengono per differenza tra le precipitazioni e l'evapotraspirazione reale e rappresentano la risorsa idrica totale. Vengono calcolate, per ogni anno, le precipitazioni efficaci per il periodo di osservazione. Anche il grafico relativo all'andamento annuale delle precipitazioni efficaci evidenzia un trend di diminuzione delle stesse. Anche la definizione dei valori di precipitazione efficace deriva da un calcolo basato su parametri in parte ricostruiti o individuati per via indiretta e quindi affetti da un margine di errore.

1.1.3 Valutazione indiretta dell'infiltrazione

L'infiltrazione rappresenta il parametro di input fondamentale (ricarica) dell'acquifero. Si mette in evidenza che tale valutazione, inevitabilmente e come evidenziato nello stesso titolo del paragrafo in questione, è di natura indiretta.

1.1.3.1. Infiltrazione in vari A.I.

Per il calcolo dell'infiltrazione viene utilizzato un coefficiente di infiltrazione potenziale elevato (0,90). Anche il grafico relativo alle piogge efficaci evidenzia un trend di diminuzione delle stesse. Il coefficiente di infiltrazione utilizzato (precauzionalmente elevato) deriva da dati di letteratura. I valori dei vari coefficienti attribuiti in letteratura ai diversi tipi litologici hanno un valore indicativo e utilizzabili per un bilancio idrologico di massima.

2. Calcolo del deflusso sotterraneo dell'acquifero amiatino

Vengono descritte le caratteristiche principali dell'acquifero dotato di elevata permeabilità per macrofratturazione con immagazzinamento prevalente a carico della microfessurazione. Viene descritta la geometria dell'acquifero caratterizzato dal cono vulcanico che sovrasta rocce a bassa permeabilità che costituiscono un substrato impermeabile.

Si osserva che il modello geologico dell'acquifero preso a riferimento dagli autori di questa sezione non tiene conto di elementi geologico-strutturali (che possono favorire il collegamento idraulico del sistema geotermico) riportati in numerosissime pubblicazioni scientifiche (comprese quelle di ENEL) ma anche citati nelle sezioni 1, 3 e 4 del lavoro dell'Università di Siena.

Gli elementi geologico-strutturali che favoriscono il collegamento idraulico sono costituiti da: faglie e fratture, camini vulcanici e contatto diretto tra le vulcaniti e i termini superiori della falda toscana (zona Abbadia San Salvatore).

Si mette in evidenza che:

- la sezione 1) dello studio riconosce che l'edificio vulcanico è interessato da tettonica regionale probabilmente attiva,
- nella sezione 3) paragrafo B figura 1 viene riportato lo schema stratigrafico e tettonico del Monte Amiata (da Brogi et alii 2005) con evidenziato un camino vulcanico e alle pagine 200 e 201 viene riprodotta nelle figure 14 e 15 la sezione geologica della miniera di Abbadia che evidenzia il contatto diretto tra le vulcaniti e le formazioni superiori della falda toscana dove attualmente fuoriescono fluidi geotermici da pozzi minerari.
- nella sezione 4) viene confermata la presenza di faglie e fratture ad alto angolo interessanti l'edificio vulcanico.

La sezione 2 dello studio dell'Università di Siena risulta pertanto scollegata dalle altre sezioni e non svolge alcune considerazioni sugli elementi geologico-strutturali sopra elencati.

Viene citata la principale emergenza idrica dell'acquifero (circa 700 l/sec) presente nella zona di Santa Fiora. Gli autori precisano che di tale emergenza non sono disponibili misure di portate prolungate nel tempo. L'unica emergenza dell'intero acquifero della quale sono disponibili misure di portata prolungata è quella dell'Ermicciolo (ad eccezione del periodo tra il 1998 e il 2004). Delle altre emergenze sono disponibili solo misure saltuarie.

Tutto il calcolo relativo al deflusso sotterraneo dell'acquifero amiatino si basa in buona parte su dati incompleti e ricostruiti quindi inevitabilmente affetto da un margine di errore. Tale sezione riporta nell'allegato 1 il censimento e relativa localizzazione delle sorgenti amiatine. Tale elaborato, estremamente puntuale, rappresenta un'importantissima banca dati indispensabile per la definizione di dettaglio del bilancio idrico dell'Amiata.

2.1 Dati di base

2.1.1 Portate delle sorgenti

Viene ribadito il fatto che l'unica sorgente dotata di misure continue, ad eccezione del periodo 1998-2004, è quella dell'Ermicciolo (si coglie l'occasione per segnalare la bella mostra in corso a Siena sui lavori dell'acquedotto del Vivo: "Viva l'acqua del Vivo"). Per le sorgenti di Santa Fiora sono disponibili misure quantitative dal 1990 ad oggi. Si osserva che anche la carenza di dati relativi al deflusso sotterraneo, soprattutto nel periodo di inizio dello sfruttamento geotermico (1959), non può che determinare approssimazioni sulla definizione di questo parametro.

2.1.1.1. Le sorgenti di Santa Fiora

Viene dettagliatamente ricostruita la cronistoria relativa alla costruzione delle opere di captazione in galleria delle emergenze di Santa Fiora. Si osserva che il diagramma riportato in figura 2.3 evidenzia una portata complessiva delle emergenze del Fiora nel 1961 di circa 1000 l/sec.. Stante la carenza di misurazioni delle captazioni del Fiora l'esame degli idrogrammi viene circoscritto al periodo 1990-2007 e per le sole sorgenti "Galleria Nuova" e "Galleria Bassa". L'analisi degli idrogrammi relativi alla "Galleria Nuova" evidenzia un trend di diminuzione delle portate nel periodo considerato. La portata media nell'intervallo di tempo in esame è di 552 l/sec.. Si osserva che nel 1967 la portata media considerata stabilizzata dopo i lavori finali di captazione era di circa 800 l/sec.

2.1.1.2. La sorgente dell'Ermicciolo

Vengono analizzati i dati di portata a cadenza mensile dell'unica sorgente amiatina che presenta continuità di misure dal 1939 al 2007. Vengono considerate non corrette le misure relative al periodo 1990-1997 in quanto anomale (valori nettamente più bassi) rispetto all'idrogramma generale. L'andamento delle portate dal 1939 al 2007 evidenzia una trend di diminuzione passando da circa 200 l/sec nel 1939 ai 90 l/sec attuali. Nel periodo 1896-1899 venivano registrate portate dai 157 ai 274 l/sec. (fonte Mostra "Viva l'Acqua del Vivo" Siena 2009)

2.1.2 Analisi dei cicli di esaurimento delle sorgenti

Vengono definiti i cicli di esaurimento di alcune sorgenti che dispongono di misurazione di portata sufficienti utilizzando la formula di Maillet ritenuta la più idonea per l'acquifero amiatino. Vengono individuati variazioni del valore del coefficiente di esaurimento non solo tra le sorgenti esaminate ma anche di anno in anno per la stessa sorgente. Tali variazioni vengono imputate all'entità e al tipo della ricarica e secondariamente alle precipitazioni nel periodo di esaurimento. Nessuna considerazione viene svolta sull'eventuale incidenza dello sfruttamento geotermico sul coefficiente di esaurimento.

2.2 Valutazione del deflusso sotterraneo

2.2.1 Uso dei rapporti tra le portate misurate nelle sorgenti

A causa della lacune e della carenza dei dati di portata delle sorgenti amiatine viene utilizzato una metodologia finalizzata alla individuazione dei coefficienti medi di correlazione con l'unica sorgente (Ermicciolo) dotata di misure di portata continue. Tali coefficienti vengono quindi utilizzati per "riempire" le lacune di portata delle sorgenti amiatine e calcolare il deflusso sotterraneo dell'acquifero. Tale metodologia di tipo "indiretto" è inevitabilmente soggetta ad approssimazione. La buona corrispondenza tra il valori di input e di output dell'acquifero, con una differenza dell'ordine del 5%, viene considerata elemento unico per validazione di tutta la metodologia utilizzata fatto questo che stride con il carattere di approssimazione dei dati utilizzati.

3 Confronti tra infiltrazione e deflusso sotterraneo

Il confronto tra i parametri di input e di output dell'acquifero viene svolto utilizzando i valori ottenuti secondo le metodologie descritte nei punti precedenti e utilizzando il modello concettuale schematico dell'acquifero che considera le vulcaniti poggianti su substrato impermeabile continuo. Si ribadiscono le osservazioni e le critiche a tale modello già riportate nel precedente punto 2. Tutte le valutazioni descritte convergono nell'attestare una correlazione caratterizzata da margini di errore ritenuti utilizzabili per validare tutta la metodologia utilizzata. I parametri di base utilizzati derivano anche in questo caso da dati ricostruiti e da metodi di calcolo di natura indiretta.

3.5 Considerazioni conclusive

Considerato "l'altissimo" grado di correlazione statistica tra infiltrazione e deflusso sotterraneo gli autori attestano che la oggettiva diminuzione delle portate delle sorgenti registrata nel corso degli anni è da attribuire unicamente alla diminuzione delle precipitazioni.

Gli autori concludono tuttavia la sezione 2 con la seguente affermazione: "altre interpretazione (con riferimento alla riduzione delle portate delle sorgenti n.d.r.), pur potendo rientrare nel campo del possibile sono, allo stato attuale delle conoscenze, da ritenersi altamente improbabili".

Si ribadisce che la validazione di tutta la metodologia utilizzata si basa unicamente sul buon livello di correlazione statistica tra i dati di input e output dell'acquifero, dati, come detto, ricostruiti e con procedure di calcolo di tipo indiretto.

Si ricorda ancora che il piano di lavoro adottato dalla Giunta regionale è principalmente indirizzato all'acquisizione di dati di input e di output reali e di dettaglio.

Si concorda pertanto con la parte dell'affermazione conclusiva della sezione 2 che considera possibile una diversa interpretazione sulla riduzione dei deflussi sotterranei dell'acquifero amiatino.

4 . Confronti tra vapore estratto e regime delle sorgenti del Fiora e valutazioni degli impatti ipotizzati da EDRA

Il paragrafo riguarda valutazioni sullo studio EDRA richiesto dalla Direzione Generale e non compreso nell'incarico affidato a EDRA dal Settore Tutela del Territorio e della Costa. Gli autori (Università di Siena) controdeducono, negando, le valutazioni espresse da EDRA. Affermano tuttavia che in questa fase, in carenza di dati certi e di dettaglio,

risultano premature valutazioni di tipo quantitativo sull'interferenza geotermia-acquifero superficiale. Viene inoltre evidenziato il grado di incertezza (10%) delle indagini geofisiche eseguite dal CNR di Pisa finalizzate anche alla ricostruzione della superficie piezometrica. In merito a questo paragrafo vengono svolte le seguenti considerazioni.

Come noto sia la campagna geofisica eseguita per conto della Provincia di Grosseto che quella eseguita dal CNR per conto della Regione (3 anni di misure) evidenziano una superficie piezometrica della falda superficiale notevolmente diversa da quella individuata da Calamai et alii.1970.

Si mette in evidenza che la piezometrica riportata nella pubblicazione del 1970 è stata riprodotta nel sopraccitato lavoro della Provincia e utilizzata per la modellazione della falda acquifera operata dall'ing. Pizzi per conto dell'Acquedotto del Fiora a supporto della progettazione di un campo pozzi. Le campagne geofisiche evidenziano quindi una depressione della falda spiegabile unicamente con una ricarica indotta a favore del campo geotermico.

Le principali critiche sulla ricostruzione della piezometrica del CNR riguardano l'imprecisione delle indagini geofisiche che lo studio di Siena individua nell'ordine del 10% e il fatto che tali indagini non sono state tarate sulle stratigrafie di pozzi esistenti. Nessuna considerazione viene svolta dall'Università di Siena sulle indagini geoelettriche svolte per la Provincia di Grosseto che vedeva tra l'altro il prof. Barazzuoli tra i responsabili scientifici. Neanche nella pubblicazione conclusiva del lavoro commissionato dalla Provincia di Grosseto vengono citati e commentati i risultati delle indagini geoelettriche e non si ritrovano spiegazioni sul fatto che negli elaborati finali (sempre della Provincia) viene ancora riproposta la piezometrica ricostruita da Calamai et alii nel 1970. Recentemente sono stati reperiti gli esiti di più campagne geofisiche svolte per conto di ENEL nella prima metà degli anni 1960 e tarate sui sondaggi ENEL. Anche queste indagini evidenziano una possibile depressione della falda (a pochi anni dall'inizio dello sfruttamento geotermico) nella stesso settore dell'Amiata individuato successivamente dal lavoro commissionato dalla Provincia di Grosseto e dalla Regione Toscana (CNR).

Il fatto che tale depressione sia stata rilevata anche dalle campagne successive e con attrezzature più moderne rende indubbiamente il problema aperto. Con riferimento ai principi di fluidodinamica dei sistemi geotermici è possibile che tale depressione, a pochi anni dall'inizio dello sfruttamento geotermico (1959), non sia solo correlata alla produzione di vapore (da 102.000 t/anno nel 1959, 892.000 1960, 1.360.000 1961, 1.700.000 1962 – dati ENEL), ma anche alle prime operazioni (1956-1957?) che hanno comportato l'espulsione in atmosfera dei gas incondensabili presenti al tetto del campo geotermico superficiale (depressurizzazione e "liberazione" di volumi di roccia originariamente occupati dai gas incondensabili con richiamo indotto dell'acqua di falda).

SEZ. 4 SUPPORTO DELLE TECNICHE DI TELERILEVAMENTO ALLE PROBLEMATICHE TRATTATE IN QUESTO STUDIO

1. Studio geologico strutturale attraverso l'analisi di fotografie aeree

Nel primo paragrafo è premesso che è stato condotto uno studio fotogeologico per individuare i lineamenti tettonici allo scopo di definire la "permeabilità per fessurazione e delle possibili connessioni idrauliche fra l'acquifero superficiale ed il serbatoio geotermico". Dopo una premessa metodologica il risultato viene riportato nella fig. 1, in merito alla quale emergono le seguenti considerazioni:

- l'area d'indagine è sostanzialmente limitata all'affioramento delle vulcaniti, interessando comunque un'area più ristretta di quella esaminata negli studi preliminari di Edra.
- alcune faglie sembrano coincidere con il “graben sommitale” indicato da Edra ed invece dichiarato inesistente nella Sez. 1.
- lo studio identifica una serie di elementi tettonici, capaci forse di far comunicare i 2 acquiferi e che quindi avrebbero dovuto essere esaminati nella Sez. 1, cosa che non è stata fatta.
- a parere degli scriventi altri elementi tettonici presenti nell'immagine avrebbero meritato di essere identificati per un controllo a terra.

Nelle conclusioni del paragrafo, dopo una breve classificazione dei lineamenti tettonici, si afferma che essi possono...“condizionare in modo significativo la permeabilità per fratturazione dell'edificio vulcanico”. Cosa che sarebbe stata quindi da valutare come uno degli obiettivi dello Studio di approfondimento, ma che è invece rimasta incompiuta.

2. Analisi multitemporale dell'uso del suolo attraverso l'analisi di fotografie aeree

Le conclusioni di tale analisi non sembrano molto attinenti gli obiettivi dello Studio, né ci sembrano abbiano fornito elementi utili.

3. Interferometria differenziale per lo studio di eventuali meccanismi di subsidenza

Il metodo, potendo rilevare deformazioni del suolo dell'ordine di millimetri, è stato usato con lo scopo di valutare subsidenze indotte dalla geotermia o connesse al “Volcanic Spreading”, ma si deve anche ricordare che viene usato pure per la valutazione dei movimenti di frana. È invece bene far presente che il “Volcanic Spreading”, rientrando in altri meccanismi, potrebbe corrispondere ad un ordine di tempi più “geologici” e quindi meno valutabili alla nostra scala, considerando che l'intervallo di tempo considerato è stato al massimo di 8 anni.

Il metodo non è però risultato molto valido per i caratteri dell'area esaminata e pertanto gli autori affermano che i risultati ottenuti, di natura più qualitativa che quantitativa, sono stati allora confrontati con i dati di livellazione altimetrica dell'ENEL.

Anche se l'illustrazione dei risultati non appare molto chiara, sembra di capire che presso Abbadia S.S. e Piancastagnaio i movimenti rilevati coincidono con i versanti interessati da fenomeni gravitativi; la zona di S: Fiora – Bagnolo risulta stabile, mentre invece quella di Floramiata indica un abbassamento e quella di Arcidosso un lieve sollevamento.

L'analisi prosegue quindi riesaminando in modo non molto chiaro i dati di livellazione ENEL (1988-2006) ed arriva ad affermare che l'interferometria differenziale non è risultata molto valida per le valutazioni che si attendevano.

Vengono allora citati i risultati di un altro studio eseguito con altra tecnologia, che arriva al riconoscimento nelle aree di Abbadia S.S. e Piancastagnaio di movimenti di versante in direzione Est, per concludere che le variazioni al suolo hanno ordine di 1-2 mm anno, salvo che per le zone in frana, come nell'area di Piancastagnaio dove si raggiungono i 4-5 mm anno.

L'impressione che si ricava dalla lettura di questo paragrafo è che sono stati tentati dei metodi ancora in fase sperimentale, o che necessitano di intervalli di tempo maggiori, utili per movimenti relativamente veloci come le frane, ma che poco possono dire su movimenti con tempi più “geologici”, come il “Volcanic Spreading”.

SINTESI FINALE

La sintesi delle valutazioni eseguite sullo studio dell'Università di Siena viene espressa seguendo l'ordine delle **considerazioni conclusive** contenute nello stesso, alla fine della Sez. 4 a pag. 354.

1) Lo studio geologico strutturale.....(sez. 1)

L'impostazione dello studio non sembra basata su una approfondita valutazione dei vari dati geologici esistenti e neppure su estesi rilevamenti di campo, che avrebbero altrimenti dovuto portare alla elaborazione di nuove carte geologiche, sezioni, schemi tettonici, stereogrammi della fratturazione, ecc. che invece risultano assenti nello studio .

L'unica carta geologica riportata è una sintesi schematica della Carta Geologica Regionale, contenente quindi meno informazioni di quelle già note.

Inoltre la fase di fotointerpretazione non sembra sufficientemente estesa né approfondita e comunque è rimasta una parte a sè stante, dato che la Sez. 1 non la prende in considerazione.

I le faglie esistono in numero significativamente minore di quanto atteso..

questa affermazione è riferita alla confutazione delle faglie Edra, eseguita con osservazioni di tipo strutturale alla mesoscala (in un contesto litologico e vulcanico non favorevole al metodo); mentre invece non risultano eseguite analisi di tipo morfostrutturale e di rilevamento vulcanologico. Infine, oltre alla fase di confutazione delle faglie Edra, non sono stati presentati dati che illustrassero una sintesi degli effetti dell'evoluzione tettonica regionale dell'area amiatina (riferita agli elementi faglie e fratture principali), né dell'evoluzione del vulcano Amiata (a tal proposito è bene ricordare che un vulcano non è un "oggetto statico" che nasce e tale rimane! accade invece che le fasi eruttive siano anche fasi di profondi mutamenti dell'edificio preesistente).

I di conseguenza si può.....

relativamente alla non esistenza del graben sommitale lo studio non considera nemmeno i risultati dello studio fotogeologico (sez.4), che evidenziano alcune faglie sommitali che sembrerebbero invece compatibili con la struttura a graben di Edra. Riguardo alla dichiarata non esistenza del "volcanic spreading", si ritiene che non siano stati prodotti dati ed analisi capaci di sostenere tale dichiarazione.

I non esistono sufficienti.....

anche se è vero che la presenza di strutture diapiriche resta ipotetica è anche vero che lo studio non indica in modo approfondito con quali dati viene negata la presenza dei diapiri. Analoga considerazione vale per le strutture a fagliamento inverso alla base del vulcano.

I quanto poi al fatto.....

relativamente alla evoluzione vulcano tettonica dell'Amiata si deve ribadire che lo studio contiene in proposito, solo una breve sintesi delle conoscenze accertate.

I infatti le faglie....

(si veda la nota successiva)

I di conseguenza si può affermare.....

l'affermazione che la tettonica fragile sia in questa area solo postvulcanica è chiaramente riferita al complesso delle rocce vulcaniche e non al substrato. Non viene però in questo paragrafo considerata la probabile esistenza di movimenti dell'edificio vulcanico durante la sua evoluzione, anche connessi a tettonica regionale.

l **la considerazione precedente....**

(si veda la nota soprastante)

l **le evidenze rilevate fanno.....**

si ribadisce qui ancora che nella zona in esame è stata individuata solo una "deformazione fragile pleistocenica superiore a cinematica trascorrente". Ma di tale deformazione, che può aver prodotto una fessurazione capace di collegare i 2 acquiferi, non viene fornita una sintesi cartografica o di altro genere.

l **quest'ultimo....**

(si veda la nota soprastante)

l **risulta invece quasi.....**

non è stato fornito alcun elemento originale, né di valida sintesi sulle conoscenze dell'evoluzione del vulcano Amiata, ma si giunge poi ad affermare che è quasi trascurabile l'azione deformativa da gravità.

Sulla base di quanto finora discusso la valutazione della sez. 1 "*studio geostrutturale dell'apparato vulcanico amiatino*" e della sez. 4 "*supporto delle tecniche di telerilevamento alle problematiche trattate in questo studio*", ha evidenziato una serie di carenze che possono essere sintetizzate come segue.

L'analisi fotogeologica (sez. 4) avrebbe dovuto essere preliminare alla parte geologico-strutturale, che invece non sembra considerarne i risultati.

La sez.1, per come risulta impostata, presenta piuttosto caratteri di "*controdeduzioni allo studio Edra*", che non quelli di uno studio geologico strutturale dell'Amiata. Infatti non viene definito in modo compiuto un modello geologico strutturale (salvo alcune indicazioni di carattere generale), dopo aver controbattuto alle ipotesi Edra; peraltro secondo una logica per la quale: "ciò che non vedo con il mio metodo non esiste"; senza considerare i diversi campi di indagine che spesso sono necessari per giungere a risultati negli studi geologici.

La sez.1, per rispondere agli obiettivi dell'incarico regionale e quindi definire un modello geologico strutturale dell'Amiata risulta carente nei seguenti aspetti:

- l manca una analisi dei dati geologici esistenti sull'Amiata, che illustri una sintesi delle conoscenze.
- l non viene considerato lo sprofondamento dell'edificio vulcanico nel suo substrato, né la presenza dei camini vulcanici (ENEL e Cataldi) e neppure la presenza della Serie Toscana sotto la miniera di Abbadia S.S., fattori questi molto importanti ai fini del collegamento idraulico fra le 2 falde.
- l manca ogni riferimento all'evoluzione vulcano-tettonica del Monte Amiata ed anzi si arriva ad affermare che esso è interessato solo da movimenti postvulcanici, dei quali poi non sono forniti altri elementi. In particolare non vengono citate né

discusse le conoscenze geologiche (oltre a Edra) che indicano faglie che ribassano verso il centro del vulcano.

- | non vengono forniti approfondimenti sulla natura della faglia sommitale da cui si sono originate buona parte delle emissioni vulcaniche e che sembrerebbe coincidere con una faglia trascorrente forse attiva e comunque profonda; quindi anche importante ai fini del collegamento idraulico fra le 2 falde, visto che coincide con l'allineamento dei camini vulcanici.
- | mancano analisi geomorfologiche per una eventuale correlazione fra attività neotettonica e le grandi ed anomale frane che interessano i versanti dell'Amiata.
- | mancano infine elaborati cartografici o di altro genere, in grado di illustrare le conclusioni dello studio, che risultano in effetti quasi del tutto mancanti.

Le carenze sopra elencate fanno considerare che la mancata definizione di un modello strutturale degli elementi tettonici che possono collegare l'edificio vulcanico con i campi geotermici sottostanti (soprattutto attraverso i camini vulcanici), priva la successiva parte idrogeologica dello studio delle basi conoscitive per una valida modellazione.

2) Una approfondita analisi idrogeologica.....(sezione 2)

- Gli autori di questa sezione utilizzano elementi derivati da studi e indagini pregressi e procedono a considerazioni riferite a dinamiche dell'acquifero basate su uno schema teorico generale mai oggettivato rispetto all'ambiente specifico di studio. Lo sviluppo della sezione 2 infatti non fa mai riferimento alla presenza di una struttura vulcanica e agli aspetti dinamici e strutturali connessi (per altro non definiti nella sezione 1) quali faglie, fratture, camini vulcanici, contatto diretto tra vulcaniti e termini superiori della Falda Toscana escludendo a priori qualunque relazione tra falda superficiale e sistema geotermico.
- Rispetto agli studi pregressi la sezione in esame da un lato ripropone in continuo valutazioni fortemente critiche sull'attendibilità di indagini indirette e di dati non misurati o non rilevati con sufficiente continuità dall'altro approda, con metodi indiretti, a categoriche conclusioni circa la riduzione delle disponibilità idriche. Il bilancio idrologico proposto infatti si basa esclusivamente su dati di input e output ricostruiti e generalizzati.
- Si riscontra una scarsa valutazione, per altro non sufficientemente motivata, delle indagini geofisiche che già a partire dal 1965 sembrano evidenziare situazioni anomale della falda acquifera superficiale e di elementi riscontrabili in varie pubblicazioni scientifiche (andamento anomalie geotermiche ecc,) che rendono ragionevole l'ipotesi del collegamento della falda acquifera con il sistema geotermico.
- La sez 2 non risulta correlata con il resto del documento, non si riscontrano infatti elementi di valutazione conseguenti rispetto a quanto affermato ad esempio nella sezione 1 circa la presenza di una tettonica regionale attiva. Aspetto questo di assoluta rilevanza rispetto all'obiettivo dichiarato " verificare le relazioni tra acquifero superficiale e sfruttamento geotermico" poiché, in questa ipotesi, la relazione tra acquifero superficiale e acquifero geotermico sarebbe rilevante, certamente più rilevante che non nell'ipotesi dello studio EDRA.

In conclusione si ritiene che lo studio dell'Università di Siena (almeno per le sezioni 1, 2 e 4 esaminate) non contenga adeguate risposte rispetto ai dichiarati obiettivi di approfondimento per una valutazione dei rischi ambientali connessi alla geotermia, in quanto, in carenza di definizione di un modello geologico della zona, le valutazioni idrogeologiche si sono basate prevalentemente su estrapolazioni di dati incompleti .

In base alle conoscenze geologiche sull'Amiata (ed in mancanza nello studio di specifiche obiezioni ad esse) si ritiene quindi che esista un collegamento idraulico tra le falde, mediante le faglie e le fratture, i camini vulcanici ed infine con il contatto diretto tra le vulcaniti e le formazioni della Falda Toscana. Resta pertanto aperta la questione relativa alla definizione dell'ordine di grandezza del collegamento idraulico.

Maria Sargentini – Settore Tutela del Territorio e della Costa

Alessandro Marzocchi -Settore Ufficio Tecnico GC di area vasta Grosseto e Siena

Luigi Micheli– Settore Tutela del Territorio e della Costa