

INTERAZIONI FRA L'ACQUIFERO VULSINO ED IL PROGETTO GEOTERMICO ITW-LKW

Studio Geotecna : Geol. F.M. Francesconi e Geol. S.Fratini - Consulenti idrogeologi della ITW&LKW SpA – Agosto 2015

1. PREMESSA

Il progetto di ITW&LKW Geotermia Italia SpA prevede la realizzazione di due impianti geotermici pilota, ubicati uno nel Comune di Castel Giorgio (Umbria) e l'altro in quello di Acquapendente (Torre Alfina, Lazio). Quest'area è sede di un acquifero geotermico regionale, a media entalpia ($T = 140^{\circ}\text{C}$), che si intercetta a profondità dal piano di campagna variabili fra 650 m e oltre 2000 m, risultato questo della tettonica distensiva. Le condizioni favorevoli di permeabilità del serbatoio, costituito da rocce carbonatiche, hanno consentito l'instaurarsi di circolazioni convettive, come è stato accertato dai pozzi già perforati, e si sono create le condizioni per lo sfruttamento industriale di tale risorsa con impianti a ciclo binario, conformemente agli attuali riferimenti normativi. Il progetto prevede la totale re-immissione dei condensati, ossia del fluido a valle del ciclo di lavoro, alla $T = 70^{\circ}\text{C}$ nella stesse rocce carbonatiche di provenienza, senza determinare depauperamento della risorsa geotermica [1].

Nelle motivazioni del dissenso avverso il progetto di ITW&LKW, tema di forte attenzione è connesso agli aspetti idrogeologici, in relazione alla eventuale esistenza di una interferenza dei fluidi geotermici fortemente mineralizzati, e quindi inquinanti, e l'acquifero superficiale, sede di una importante circolazione idrica nell'ambito dei depositi vulcanici vulsini, coinvolgendo, indirettamente anche il lago di Bolsena, dove trovano naturale recapito parte delle acque della falda.

A sostegno di tale tesi si avanzano le seguenti ipotesi: mancato isolamento del serbatoio geotermico da parte della spessa coltre di terreni che lo sovrasta, presenza di faglie e sistemi di fratture naturali e/o di neoformazione, come effetto della pressurizzazione indotta dalla re-iniezione, che interrompono la continuità della copertura, sovrappressioni conseguenti alla re-iniezione che stimoleranno la risalita dei fluidi idrotermali e mancata tenuta idraulica della cementazione delle tubazioni dei pozzi. La presunta interferenza di fluidi geotermici è, peraltro, una questione che è stata sollevata e messa in collegamento a supposte variazioni della geochimica delle acque della falda delle vulcaniti e, specificamente, alla presenza di concentrazioni di Arsenico, talora superiori a 10 ppb, e quindi non conformi alla nuova concentrazione limite definita dal D.Lgs 31/2001 per le acque potabili.

Il presente articolo, che riteniamo non compromesso da atteggiamenti condizionati, è finalizzato a fornire una risposta riguardo la questione idrogeologica; vuole essere un contributo, frutto della sintesi di dati pubblicati e/o già presentati nel progetto, quindi riscontrabili, per arricchire le conoscenze e l'informazione del pubblico, spesso distorta per prese di posizione pregiudiziali.

2. Il sistema idrogeologico

Nell'area interessata dal progetto, il sistema idrogeologico è caratterizzato dalla presenza di due acquiferi principali: quello superficiale, costituito dalla coltre vulcanica, che ospita una falda di base, così definita in quanto sostenuta e veicolata dall'andamento del substrato sedimentario; questa falda costituisce il principale corpo idrico e si associa a diverse falde sospese, di limitata estensione, interconnesse con quella di base sia attraverso le soluzioni di continuità dei materiali meno permeabili, che attraverso il flusso di drenanza; siffatta circolazione è alimentata, unicamente, dalla infiltrazione delle acque meteoriche.

A profondità variabili fra 650 m e oltre 2000 m è presente l'acquifero geotermico, costituito dalle rocce carbonatiche fratturate, costituite sia da "scaglie tettoniche" riferibili alla successione della falda toscana che alla successione umbro-marchigiana, saturate da fluidi idrotermali a $T = 140^{\circ}\text{C}$. Tale struttura costituisce il c.d "reservoir" geotermico, di elevato spessore, oggetto di interesse per lo sfruttamento energetico della risorsa.

3. La copertura del reservoir geotermico

La copertura del reservoir geotermico è garantita da terreni flyschoidi delle Unità Liguri, cui si aggiunge, soprattutto nel comparto umbro, anche un consistente spessore di terreni neogenici; la potenza complessiva di tale copertura è compresa fra m 450 m e 1700 m [5,6], dato il dislivello morfostrutturale della superficie superiore dei calcari.

I terreni flyschoidi sono pertinenti due Unità: quella superiore che include l'Unità ofiolitica delle "argille con calcari a Palombini", rappresentata da una massa argillosa che ingloba blocchi di calcare siliceo grigio (palombino), di arenarie calcarifere e di rocce verdi e quella inferiore che comprende l'Unità di Santa Fiora costituita da argilliti grigie e marne varicolori con arenarie marne e calcari [2]; il complesso neogenico è costituito da terreni limo-argillosi con inclusioni di sabbie.

La successione dei depositi della copertura, come si noterà, evidenzia che le argille e le marne costituiscono la matrice di fondo, così che il carattere dominante della copertura del reservoir geotermico è sicuramente quello di un complesso idrogeologico assai povero di circolazione idrica o del tutto sterile, il cui ruolo è quello di un *acquiclide*.

4. Le faglie ed i sistemi di fratture

Allo scopo di identificare la presenza eventuale di zone di rilascio naturale di gas dal serbatoio geotermico, e quindi di zone di potenziale risalita di fluidi geotermici connesse a faglie e/o fratture naturali, nel maggio-giugno 2011 è stata eseguita, nell'area di Castel Giorgio-Torre Alfina, una dettagliata campagna di misure del flusso di CO₂ dal suolo (1.336 misure su 12,2 km²) con camera di accumulo. Nell'Aprile 2013 [3] è stata condotta una successiva campagna di misure di flusso nelle aree dei pozzi geotermici esistenti A2, A4 e A14.

I risultati della campagna del 2011, confermati da quelli registrati nel 2013, indicano che nella maggior parte dell'area indagata il rilascio di CO₂ dal suolo è molto basso, inferiore a 48 g/m²giorno. L'unica zona dove sono stati trovati valori più alti del flusso di gas dal suolo (100-30.250 g/m²giorno) è in corrispondenza della manifestazione delle Solfanare, poco a Sud di Torre Alfina, di chiara origine endogena. Alcune piccole anomalie (tra 48 e 100 g/m²giorno) sono state trovate poche centinaia di metri a N-NW del pozzo A14 e vicino ai pozzi A2 e A4.

Nel documento della INGV si riporta che i dati sono una chiara evidenza della presenza di una copertura di rocce impermeabili molto efficace, al di sopra del serbatoio, con valori di emissione molto bassi rispetto alla zona interessata dal rilascio di gas di origine endogena (es. Solfanare).

Ad ulteriore conferma, nell'ambito dello studio idrogeologico e modellistico che ha riguardato l'acquifero vulsino in Umbria a seguito della contaminazione da Al e As [4] sono stati determinati, nelle acque di falda, i valori della pressione parziale di CO₂ (pCO₂), attraverso calcoli di speciazione chimica a partire dalla concentrazione di HCO₃ e dal pH; la sua distribuzione è di tipo log-normale e presenta valori medi caratteristici delle acque il cui contenuto in CO₂ deriva dalla dissoluzione dei gas del suolo durante l'infiltrazione, quindi non si individua una popolazione di campioni anomali per i quali ipotizzare l'input di CO₂ "profonda" tale condizione risulta ulteriormente confermato nel lavoro di idrogeochimica e flusso di CO₂ riportato nello studio sulle potenzialità geotermiche commissionato dalla Regione Umbria [9].

5. Interazioni idrauliche fra gli acquiferi

Nell'area di influenza del progetto geotermico di Castel Giorgio e di Torre Alfina la piezometrica rappresentativa del deflusso generale della falda di base delle vulcaniti si imposta, mediamente, fra m. 450 slm e m. 470 slm [4].

Per quanto riguarda l'acquifero geotermico, in base al modello idrogeologico elaborato da Buonasorte ed alli [5], che ne ipotizza la continuità con la struttura del Monte Cetona, si sono calcolate le quote del livello statico dell'acqua nel pozzo A14 = m. 305 slm e nel pozzo A4 = 323 m slm [6], che rispecchiano anche quanto indicato da ENEL in fase di esecuzione dei log di controllo dei pozzi.

Pertanto, in condizioni indisturbate, sussiste una significativa differenza fra le quote piezometriche dei due serbatoi, pari a circa 130 m. La condizione di diverso potenziale idraulico tra i due acquiferi evidenzia, quindi, che non può aversi scambio verticale dal basso verso l'alto, ossia dall'acquifero geotermico verso quello vulcanico dato che non vi sono le condizioni per permettere alla fase liquida dei fluidi geotermici di risalire verso la superficie, superando la barriera di pressione imposta dall'acquifero freatico; viceversa, il contributo della falda delle vulcaniti all'acquifero profondo, per fenomeni di drenanza, è stimato in circa 3 L/s, su un'area di 10 Km² [5], quindi del tutto insignificante, ad ulteriore conferma della ridotta permeabilità dello strato di copertura.

Per formulare previsioni del comportamento delle strutture idrogeologiche riguardo le condizioni di esercizio (portata di progetto complessiva 1050 t/h) in base allo studio modellistico effettuato [6] si prevede una riduzione del potenziale idrico (abbassamento) nei pozzi di estrazione fino a m. 240 slm (decremento di circa 9 bar) ed un incremento del potenziale (innalzamento), in corrispondenza dei pozzi di re-iniezione dei condensati, fino a m. 380 slm (pressurizzazione di circa 7 bar) ; in un'area ristretta, posta a SSW rispetto al polo di reiniezione, si raggiunge una pressurizzazione di circa 12-13 bar con potenziale a quota di m. 430 slm, comunque inferiore a quella della falda di base nella stessa area. Pertanto, si dimostra che, anche in fase di esercizio, non sussistono le condizioni per la instaurazione di scambi verticali dall'acquifero carbonatico (reservoir geotermico) verso quello delle vulcaniti.

Si vogliono a questo punto valutare gli effetti della formazione di una frattura, o insieme di fratture, a seguito della pressurizzazione indotta dalla re-iniezione dei condensati .

Per comprendere il fenomeno della risalita dei fluidi geotermici verso la superficie lungo una ipotetica frattura, si è fatto riferimento all'area delle manifestazioni termali delle Fonti di Tiberio dove, fino a pochi anni orsono, le acque calde venivano a giorno lungo le rive del F.Paglia, intorno a quota m. 160 slm, per effetto di una rete di fratture di origine tettonica, all'interno della formazione delle liguridi. Oggi le acque termali sono intercettate mediante un pozzo, di piccola profondità posto a quota 210 m slm, in cui livello del fluido si stabilizza attorno a m. 200 slm.

Gli studi geochimici hanno evidenziato forti correlazioni tra il fluido geotermico di Torre Alfina e quello delle Fonti di Tiberio, pertanto, vista anche la ridotta distanza si presuppone, con buon grado di affidabilità, che le acque termali della Fonte di Tiberio provengano dal reservoir di Torre Alfina [5,7,9] .

La temperatura del fluido, misurata nel pozzo, è intorno a 42°C, pertanto nella ascesa lo stesso si è raffreddato per circa 100°C rispetto alla temperatura del serbatoio (T=140 °C) , inoltre si rileva una considerevole perdita di potenziale idraulico, circa 100 m (quota media della falda geotermica circa 300 m slm) connessa sia a fenomeni di tipo idrodinamico (bassa permeabilità) che all'incremento di densità conseguente al raffreddamento del fluido.

Il fenomeno studiato mette in luce che nel trasferimento dal reservoir geotermico al top della formazione di copertura (complesso flyschoid), per spessori dell'ordine di 600 m (nell'area delle Fonti di Tiberio il reservoir geotermico presenta una quota di tetto a circa m - 400/-500 slm) , si registra, oltre ad una riduzione del potenziale idraulico, dell'ordine del centinaio di metri, anche un rilevante abbassamento della temperatura del fluido, circa 100°C.

Pertanto, nell'ipotesi in cui si facesse riferimento ai valori di potenziale connessi al regime di pressione e densità calcolati all'interno del serbatoio (T= 140 °C) , per i quali il modello matematico calcola una quota massima del potenziale idrico di re-iniezione a circa m 520 slm (pressurizzazione di circa 12 bar) [6] , appurato che la copertura è composta dagli stessi materiali e presenta, nella zona del polo di re-iniezione spessori analoghi, ed anche maggiori, la migrazione del fluido lungo l'eventuale set fessurativo di neoformazione determinerebbe una perdita di potenziale analogo a quello riscontrato presso l'area termale delle Fonti di Tiberio (circa 100 m) e quindi l'effettiva quota che potrebbe essere raggiunta dal potenziale idraulico sarebbe di m. 420 slm che risulta inferiore a quella della falda idrica circolante nelle vulcaniti. Pertanto, anche in questo caso si dimostra che non sussistono le condizioni di scambio fra i fluidi idrotermali e la falda delle vulcaniti.

6.Idrochimica e fenomeni di mixing

E' del tutto evidente che ove si realizzasse una significativa interferenza di fluidi geotermici con le acque della falda idrica si verrebbero ad avere fenomeni di contaminazione facilmente rilevabili a causa delle inevitabili variazioni dei caratteri chimico-fisici originari e della qualità complessiva delle acque di falda interessate da fenomeni di mixing.

Si procede ad una analisi delle caratteristiche delle acque dell'acquifero vulcanico, con l'intento specifico di far emergere la eventuale esistenza di fenomeni di mixing delle acque di falda con i fluidi geotermici e quindi la sussistenza di fenomeni di contaminazione, anche se, per le considerazioni sopra esposte, si ritiene che fenomeni di miscelazione per risalita dall'acquifero profondo non trovino ragione per le caratteristiche di potenziale delle due diverse strutture. Relativamente alle condizioni idrochimiche delle acque, il data-set di riferimento è costituito da 204 campioni di acqua prelevati da 63 punti d'acqua (pozzi e sorgenti) sui quali sono state eseguite determinazioni di tipo chimico complete, sono state

eseguite, inoltre, su alcuni campioni, analisi isotopiche, nello specifico si farà riferimento alle determinazioni del Tritio ($\delta^3\text{H}$) [4].

In base ai monitoraggi condotti le acque della falda di base delle vulcaniti comprendono acque poco mineralizzate (conducibilità elettrica tra 200 e 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e fredde (temperatura tra 12 e 18 °C). I valori di conducibilità sono piuttosto omogenei e rivelano, anche nei valori massimi, acque dolci con carico salino contenuto; i dati di temperatura sono quelli propri di normali acque di falda non coinvolte da flussi termici anomali.

Le acque presentano un chimismo bicarbonato-alcalino terroso tendente verso termini bicarbonato-alcalini, inoltre all'esame delle specie chimiche principali non si evidenziano processi di miscelazione con acquiferi carbonatici.

Relativamente ai componenti maggiori si considerano lo ione Cloro, per il quale sono state registrate concentrazioni comprese fra 6 e 71 mg/L; il Sodio, che si attesta su tenori compresi fra 11 e 58 mg/L ed il Fluoro, con valori compresi fra 0.2 e 2.8 mg/L.

Per quanto riguarda gli elementi in traccia, si considerano l'As, le cui concentrazioni oscillano in un range fra 0.3 e 71 $\mu\text{g}/\text{L}$ con valore medio di 12 $\mu\text{g}/\text{L}$ ed il Boro, che si attesta su valori compresi fra 0.01 e 0.44 mg/L.

I dati composizionali dei fluidi geotermici sono ricavati dalla Tab.6 del lavoro di Buonasorte ed alla pag 322 [4]. Come si evince dalla predetta tabella, la chimica della fase liquida è dominata dallo ione Cloro con concentrazioni comprese 2160 e 2950 mg/L e dal Boro, valori compresi fra 22 e 30 mg/L; non sono indicate le concentrazioni di As; a tale riguardo si fa riferimento ai dati composizionali indicati per il campo geotermico dell'Amiata [10] dove, nelle tabelle 1b2 pag 175, si indicano concentrazioni che oscillano fra 6 e 94 mg/L, ossia 6000 e 94000 $\mu\text{g}/\text{L}$.

Alla luce dei dati disponibili emerge, chiaramente, che i contenuti degli elementi chimici nelle acque sotterranee della falda di base sono dipendenti unicamente dalla composizione delle acque meteoriche (precipitazioni) e dalla durata delle interazioni che le acque di infiltrazione hanno con le rocce con le quali vengono in contatto. Quindi in base ai dati disponibili e raccolti dalla bibliografia, si può affermare che non vi sono evidenze di una interferenza tra le acque della falda vulcanica e di fluidi.

7. La presenza di arsenico nelle acque dell'acquifero vulcanico

L'arsenico è il costituente di un gran numero di specie ioniche e molecolari, il 60% delle quali sono arseniati, il 20% solfuri e solfosali e il rimanente 20% comprende arseniuri, arseniti, ossidi, silicati e arsenico elementare. La concentrazione media di As nelle rocce ignee e sedimentarie è circa 2 mg/kg (0.5-2.5 mg/kg). In seguito all'interazione tra acqua e mezzo ospitante (acquifero), l'arsenico viene portato in soluzione. Le forme più comuni nelle acque sotterranee, in funzione delle condizioni redox, sono quelle dell'arsenico pentavalente (As V) e trivalente (As III).

Si è detto che la concentrazione di arsenico nelle acque sotterranee registrata dai nostri monitoraggi [4] varia da 0.3 $\mu\text{g}/\text{L}$ fino a 71 $\mu\text{g}/\text{L}$ nei diversi punti d'acqua, comprendenti sorgenti e pozzi.

Nelle condizioni di Eh e pH vigenti nelle acque studiate, l'arsenico è presente in quasi tutti i campioni nella sua forma pentavalente, come ione HAsO_4^{-2} e subordinatamente come H_2AsO_4^- . Tuttavia alcuni campioni della falda di base cadono nel campo di stabilità di H_3AsO_3 , cioè presentano As nella forma trivalente e altri, pur cadendo nei campi dell'As pentavalente, si trovano vicini al limite di fase tra H_3AsO_3 e HAsO_4^{-2} . Si può quindi ipotizzare che la maggior concentrazione di As che caratterizza la falda di base sia da imputare in primo luogo alle condizioni redox più riducenti. A conferma di ciò possiamo osservare come all'interno della falda di base le condizioni più riducenti si trovano alla base della falda semiconfinata che è proprio quella caratterizzata dai più elevati tenori di arsenico.

La presenza di arsenico nelle acque sotterranee è principalmente connessa con i settori confinati della falda basale, la cui presenza è stata accertata attraverso prove di portata di lunga durata, in cui le acque si trovano in condizioni riducenti, ossia di scarsa/nulla presenza di ossigeno ed anche dal tempo di contatto (interazione) fra queste e la roccia. Le massime concentrazioni sono state riscontrate nella zona prossima allo spartiacque idrogeologico dove, come noto, il tasso di rinnovamento è basso; in effetti, in

base alle determinazioni dell'isotopo Tritio, si è riscontrata una correlazione fra i valori più bassi (0.6 T.U.), compatibili con tempi di residenza medi di alcune decine di anni (20-40 anni) ed il valore più alto di As= 48 µg/l tra i campioni sottoposti a tale determinazione isotopica.

Pertanto, in base ai dati, si può affermare che l'arsenico presente nelle acque di falda non ha origine dalla interferenza dei fluidi geotermici con l'acquifero delle vulcaniti.

8. Tenuta idraulica dei pozzi

Questa tematica non rientra, specificatamente, negli aspetti idrogeologici; pertanto, si richiama quanto già riportato dalla Società ITW&LKW nelle controdeduzioni alle osservazioni del pubblico.

· gli elementi di ridondanza nel disegno dei pozzi con casing multiplo a cementazione completa e coassiali; si richiama la coassialità tra casing perché per la sua realizzazione è necessario prevedere un accurato sistema di centratura reciproca dei tubi in fase di montaggio e di successiva cementazione; i criteri di progetto del sistema di centratura dei casing (tipo di centralizzatori e loro densità) fanno oramai parte dei criteri standard di progettazione in funzione dell'inclinazione dell'asse dei pozzi e dal gradiente di inclinazione, in gergo noto come "*dog leg severity*"; la disposizione dei centralizzatori viene studiata mediante programmi di calcolo oramai sperimentati largamente, diffusi e facenti parte dello standard di tutte le principali compagnie che offrono servizi di cementazione.

· per tale motivo il tipo di centralizzatori e la loro disposizione lungo la tubazione sono rimandati alla fase di progettazione esecutiva necessariamente ancorata alla geometria effettiva dei pozzi che al momento non è possibile prevedere, in particolare per quanto attiene il gradiente di inclinazione sia dei pozzi verticali, sia dei devianti indipendentemente dall'obiettivo di fondo pozzo.

Relativamente alla sicurezza in fase di perforazione, per la formazione del fango utilizzato nella perforazione dei pozzi, per tutto il tratto in cui sarà interessata la copertura vulcanica e quindi dove si potrà interagire con la falda ivi contenuta, sarà utilizzata una miscela di acqua e bentonite, materiale atossico (si tratta di un'argilla utilizzata anche nella cosmesi e farmacologia).

9. CONCLUSIONI

In base a quanto sintetizzato nel presente documento, possiamo affermare di avere dimostrato che le motivazioni di dissenso avanzate rispetto agli impatti sul sistema idrogeologico si sono rivelate prive di consistenza.

I dati, contrariamente a quanto asserito da coloro che contrastano il progetto, indicano che:

- i fluidi geotermici non hanno alcuna relazione con la idrogeochimica delle acque di falda analizzate, dato che fra l'acquifero superficiale ed il sistema geotermico è interposta una barriera geologica, continua (*aquiclude*), in grado di assicurare una efficace separazione, anche a seguito dello sfruttamento industriale della risorsa geotermica.

- la presenza di arsenico nelle acque sotterranee è connessa con i settori confinati della falda basale, in cui le acque si trovano in condizioni riducenti, ossia di scarsa/nulla presenza di ossigeno ed anche dal tempo di contatto (interazione) fra queste e la roccia. Pertanto, in base alle analisi condotte, l'arsenico presente nelle acque di falda non ha origine dalla interferenza dei fluidi geotermici con l'acquifero delle vulcaniti.

Ritenendo di aver fornito risposte chiare ed argomentate, utili affinché la popolazione possa meglio comprendere gli aspetti idrogeologici, concludiamo affermando che i progetti presentati ed approvati, resi esecutivi con il recepimento delle prescrizioni formulate dalla Conferenza dei Servizi, non presentano effetti di ritorno né sul sistema acquifero vulsino né sul lago di Bolsena.

L'attuazione del piano di monitoraggio, che compendia il provvedimento di VIA, assicura, nel tempo, il controllo qualitativo della risorsa idrica sotterranea e potrà confermare, sul campo, la compatibilità dello sfruttamento della risorsa geotermica.

Bibliografia

- [1] UNIVERSITÀ DI PISA: Modellazione Numerica del Sistema Geotermico di Castel Giorgio - Allegato 3 Progetto Definitivo, 2013.
- [2] L.Dallan et alii : Stratigrafia dei terreni perforati dai sondaggi ENEL nell'area geotermica di Torre Alfina, 1977.
- [3] M.L. Carapezza, INGV : Campagna di misura del flusso di CO2 su aree target in prossimità dei pozzi A2, A4 E A14 – Impianto Pilota Castel Giorgio - Allegato G alla VIA ,2013.
- [4] Francesconi ed altri : Acquifero vulcanico Vulsino in Umbria: studio idrogeologico per la caratterizzazione della presenza di As ed Al ed il corretto utilizzo delle acque sotterranee - Acque Sotterranee DOI 10.7343/AS-048-13-0075 pagg. 9-22- 2013 e studio inedito presentato a Sii Scpa.
- [5] Buonasorte et alii : Ricerca ed esplorazione nell'area geotermica di Torre Alfina , 1988.
- [6] Francesconi ed alii: Modello Idrogeologico del serbatoio carbonatico con valutazione della sostenibilità dell'utilizzo geotermico - Relazione prescrizioni formulate dal MATTM e dalla Regione Umbria nell'ambito della VIA- 2015.
- [7] Angeletti A. ed altri : Studi idrogeochimici nell'area geotermica di Torre Alfina - Umbria –Toscana -1987 .
- [8] ENEL :Relazione Tecnica Conclusiva sulla Concessione di Coltivazione “Torre Alfina“.
- [9] REGIONE UMBRIA :Studio delle potenzialità geotermiche del territorio regionale Umbria – 2013.
- [10] UNIVERSITÀ DI SIENA : Studio geostrutturale, idrogeologico e geochimico ambientale dell'area amiatina-2008.