

# Nuovi approfondimenti sulla termalizzazione e mineralizzazione delle acque termominerali di Porretta Terme

Nicola Ciancabilla<sup>1</sup> e Alessandra Bonoli<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geologo, collaboratore Tecnico Esperto presso Arpa Emilia-Romagna

<sup>2</sup> Professore, Dipartimento Ingegneria Civile Ambiente Materiali (DICAM), Facoltà Ingegneria, Università degli Studi di Bologna

## 1. PREMESSA

Il presente lavoro approfondisce lo studio dei processi di termalizzazione e mineralizzazione che caratterizzano le acque termominerali di Porretta Terme (Appennino Tosco Emiliano) attraverso l'interpretazione di dati geochimici ed idrogeologici raccolti nell'ultimo decennio.

Le acque termali di Porretta si suddividono in due gruppi principali: le mesotermali ( $>35^{\circ}$  [1]), clorate sodiche e conosciute anche come salsobromiodiche per la presenza in tracce di sali di Iodio (I) e Bromo (Br), affioranti presso la zona del vecchio Albergo delle Terme lungo il greto del rio Riomaggiore; le ipotermali ( $20^{\circ}\text{C} < T < 35^{\circ}\text{C}$  [1]), sulfuree a minore tenore salino, ubicate nella zona della Puzzola (terme basse) - Hotel Castanea nei pressi del Fiume Reno, sono praticamente acque salsobromiodiche più leggere con decisa presenza di idrogeno solforato (Allegato A).

Entrambi i citati gruppi sorgentizi scaturiscono nel dominio geologico della Formazione di Porretta e più in dettaglio dal membro delle arenarie di Suviana (già arenarie di Porretta Terme) (Fig. 1).

Si tratta di arenarie litiche oligoceniche [2] a stratificazione verticalizzata per effetti della tettonica regionale ed in particolare dalla falda che suddivide le Unità geologiche Toscane, a cui appartengono le stesse arenarie, da quelle Liguridi diffusamente affioranti nel bacino Emiliano fra Porretta e Sasso Marconi [4] [5].

## 2. I DATI PREGRESSI

Prima di oggi le origini delle sorgenti termali di Porretta sono state approfonditamente studiate, anticamente nel campo della medicina e delle scienze naturali [3] (Bassi, F.lli Lorenzini, etc.) spesso giunti a risultati, considerato i tempi (medioevo – fine ottocento), privi di riscontri scientifici degni di nota, mentre più recentemente (ultimo trentennio) le ricerche sono state concentrate prettamente nel campo dell'idrogeologia e dell'ingegneria mineraria. Queste ultime hanno riguardato essenzialmente lo studio e la conoscenza del circuito idrotermale porrettano e delle relative aree di scaturigine, con lo scopo di poter pianificare e gestire correttamente lo sfruttamento e la tutela della risorsa idrotermale.

Il primo di questi studi risale al 1979: *Idrogeologia di un bacino termale "le acque di Porretta Terme"* di E. Amadesi,

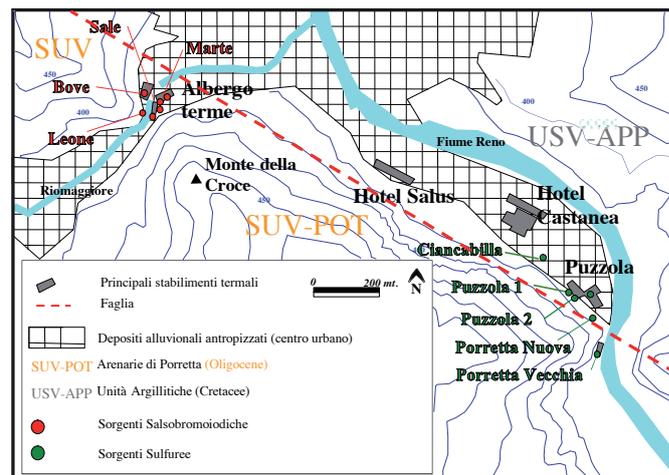


Figura 1: schema geologico di dettaglio dell'area termale porrettana.

G. Brighenti, F. Ciancabilla, A. Gondoni, D. Vitali, seguito a distanza di circa 15 anni (1995) dalla pubblicazione: *Le acque minerali di Porretta Terme*: di A. Bonoli F. Ciancabilla C. Elmi. Entrambe le pubblicazioni portavano alle seguenti conclusioni.

La termalizzazione delle acque era messa in relazione con una rapida risalita lungo la dislocazione tettonica regionale (faglia listrica che separa le Unità Toscane dal dominio Liguride), di acque profonde di origine vadosa scaldate dal semplice gradiente geotermico (riscaldamento di profondità), mentre la mineralizzazione a cloruri (Cl, Br, I) si associava con la lisciviazione di livelli profondi mineralizzati in acque fossili posti in Formazioni geologiche torbiditiche (Arenarie del Cervarola) affioranti a monte dell'area termale porrettana, nell'alto crinale tosco emiliano (zona di monte Granaglione della figura 2).

Nella prima pubblicazione tali livelli fossili si supponevano congeniti alla Formazione delle Arenarie del Cervarola, mentre nel 1995 erano pensati originati da acque di strato tipiche dei giacimenti di idrocarburi salienti da rocce madri più profonde assieme ad abbondante gas metano.

La profondità del circuito, secondo un calcolo empirico delle temperature delle sorgenti più calde e del gradiente geotermico locale, risultava situata a poco più di un migliaio di metri.

Per quanto riguarda la mineralizzazione a solfuri, in entrambe le pubblicazioni si ipotizzava una miscelazione fra le stesse acque fossili con acque di un circuito più superficiale, nelle quali lo zolfo era originato dalla riduzione di solfuri (in particolar modo pirite) presenti in noduli nelle formazioni geologiche argillose di superficie quali l'Unità Sestola-Vidiciatico (Figura 2).

A simili conclusioni giunge parzialmente anche una tesi di laurea dell'anno accademico 1998/99 dal titolo *Considerazioni sull'origine e sull'evoluzione del bacino idrotermale di Porretta*, relatore prof. Fulvio Ciancabilla [6], nella quale si riprende l'origine della termalizzazione e della mineralizzazione a cloruri dalla teoria esposta nella pubblicazione del 1995 [5] aggiungendo che le rocce madri da cui provengono le acque di strato sono i calcari mesozoici della successione toscana e le caratteristiche tettonico-strutturali della faglia in cui avviene la risalita dei fluidi idrotermali rientrano nel contesto della neotettonica distensiva toscana del Mugello (sismogenetica) (dati della letteratura scientifica: Achilli et al. 1990, Landuzzi 1992, 1994, Bertotti et al 1998 [6]). Per la mineralizzazione a solfuri si introduce per la prima volta l'ipotesi di un processo di riduzione di solfati ad opera di batteri solforiduttori su acque solfatiche associate alle successioni triassiche gessoso-anidritiche, ancora più profonde dei calcari mesozoici (figura 3).

Oggi basandoci su dati tecnici e scientifici recuperati in ricerche recenti, ed in base ai risultati delle odierne collaborazioni fra Arpa Emilia Romagna e Università di Bologna con la Società degli Alberghi e delle Terme di Porretta, siamo in grado di approfondire, ed in alcuni casi aggiornare, alcuni aspetti delle conclusioni a cui erano giunti gli studi pregressi.

### 3. LA TERMALIZZAZIONE

Gli unici elementi utili derivanti dalle passate ricerche, per quanto riguarda gli aspetti legati all'ipotizzata termalizzazione da gradiente geotermico, sono gli aspetti geologici regionali dai quali non trapela alcun elemento che lasci intravedere l'esistenza di processi di altro tipo rispetto al riscaldamento terrestre, essendo l'area collocata in un assetto geologico strutturale di tipica origine

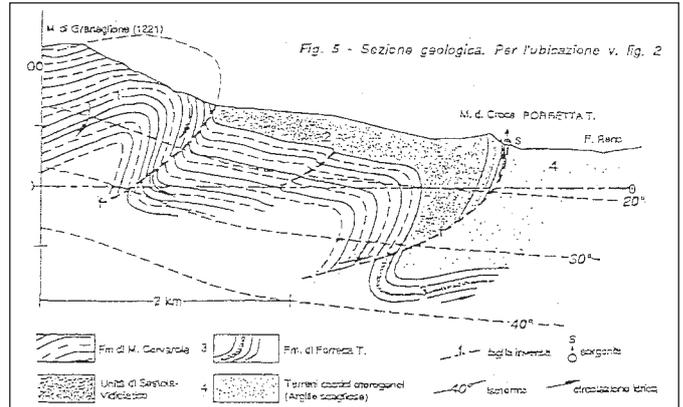


Figura 2: Sezione geologica da Bonoli et Al, 1995 [5]

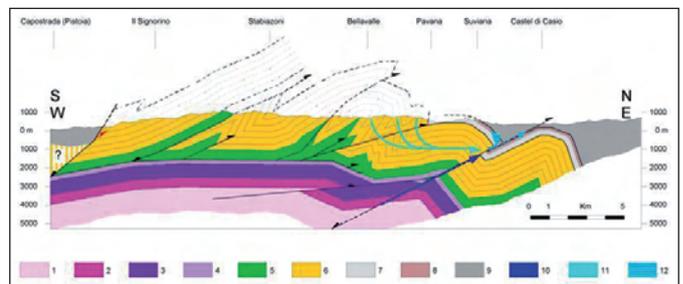


Figura 3: Sezione geologica profonda fra Pistoia e Castel di Casio [6]: 1 evaporiti triassiche; 2 F.ne del Calcare del Massiccio; 3 carbonati pelagici mesozoici fino alla F.ne delle Marne a Fucoidi; 4 F.ne della Scaglia; 5 Lutiti di pre-Fliisch; 6 F.ne delle Arenarie di Monte Cervarola; 7 Unità Sestola-Vidiciatico; 8 F.ne di Porretta Terme; 9 Liguridi; 10 acque salate ed idrocarburi di origine profonda; 11 acque dolci di origine meteorica; 12 acque termominerali di Porretta

marino-sedimentaria (vedi come esempio le sezioni geologiche delle figure 2 e 3).

La conferma di ciò si ritrova anche nella decisa presenza di metano nelle acque termali, che come si evince dalla figura 4 è il principale gas presente sia allo stato disciolto che libero (effervescente).

Il metano è infatti indice di tipici ambienti sedimentari, in quanto deriva dalla degradazione termica della sostanza

**Table II.** Analytical results for dissolved and bubbling gases. Dissolved gas data in cc/STP per litre; bubbling gas data in vol% for O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>, in ppm for He and H<sub>2</sub>.

Dissolved gas sample	Date	He	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	R/Ra	He/Ne
Puzzola1	02/03/2005	<	<	0.05	1.7	8.68E-05	3.52E+01	10.7	n.a.	n.a.
Bove	02/03/2005	<	<	0.07	1.2	1.53E-04	4.94E+01	29.6	n.a.	n.a.
Porretta Nuova	02/03/2005	<	2.0E-03	0.05	2.1	3.74E-05	3.15E+01	6.2	n.a.	n.a.
Sale	02/03/2005	<	<	0.04	2.4	7.49E-05	2.80E+01	22.9	n.a.	n.a.
Bubbling gas sample	Date	He	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	R/Ra	He/Ne
Porretta Nuova	02/03/2005	25	<	<	11.1	<	88.0	0.9	0.04	8.28
Sale	02/03/2005	<	605	<	1.2	<	94.5	4.2	n.a.	n.a.

Figura 4: Principali gas disciolti e liberi nelle acque termali di Porretta Terme [7]. Nell'immagine sono evidenziati i valori del metano e della composizione isotopica dell'Elio (R/Ra)

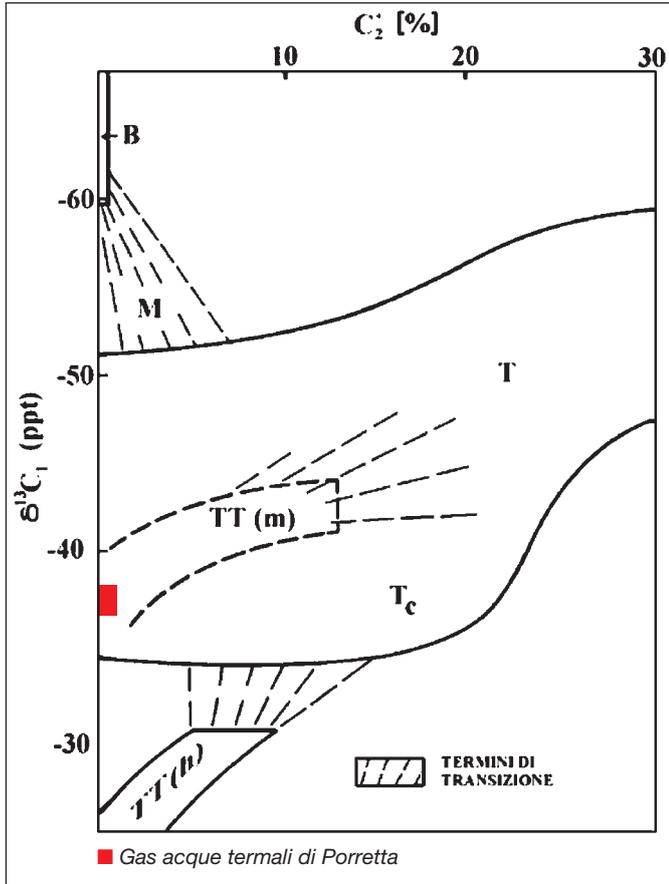


Figura 5: Relazione tra rapporto isotopico del metano e contenuto di omologhi superiori. B = gas biogenico; M = gas misto; Tc = gas e condensati; TT(m) = gas molto termogenico da materia organica di tipo marino; TT0(h) = gas molto termogenico da materia organica di tipo terrestre (humico) (da Borgia, G.C. et al.; 1985).

organica intrappolata nei sedimenti. Questo è confermato da recenti analisi isotopiche [9] che classificano tale gas come termogenico da materia organica di origine marina (vedi figura 5) proprio come i sedimenti che si riscontrano nelle sezioni di figura 2 e 3. Se a quanto appena detto aggiungiamo l'osservazione del valore del rapporto R/Ra (composizione isotopica dell'elio nella figura 4), è evidente che l'origine della termalizzazione è tipicamente crostale (figura 6) confermando quanto sino ad oggi ipotizzato dal punto di vista geologico-stratigrafico. La geochimica dimostra in via definitiva che il riscaldamento delle acque termali di Porretta avviene in ambiente sedimentario-crostale ossia deriva dal gradiente geotermico naturale della terra e nulla ha a che vedere con processi vulcanici o del mantello terrestre.

#### 4. LA MINERALIZZAZIONE A CLORURI

Le acque salsobromoiodiche di Porretta sono costituite essenzialmente da cloruro di sodio (Allegato A) con tracce di bromuri, ioduri e fluoruri, bassa alcalinità sottoforma di bicarbonato ed una leggerissima presenza, al-

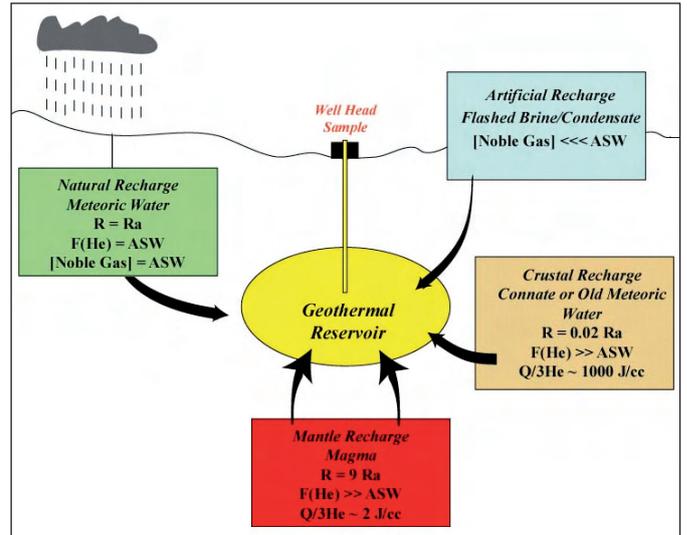


Figura 6: Un serbatoio di acque termali può contenere gas nobili derivanti da più fonti. Ognuna di queste fonti è caratterizzata da una composizione ben specifica di gas nobili che ne identifica la provenienza. Per esempio i fluidi magmatici hanno grandi eccessi di <sup>4</sup>He con rapporto <sup>3</sup>H/<sup>4</sup>H (R) fino a 9 volte superiore il rapporto in aria (Ra) mentre l'elio nei fluidi crostali avrà un valore <sup>3</sup>H/<sup>4</sup>H circa uguale a 0,02 Ra [10]

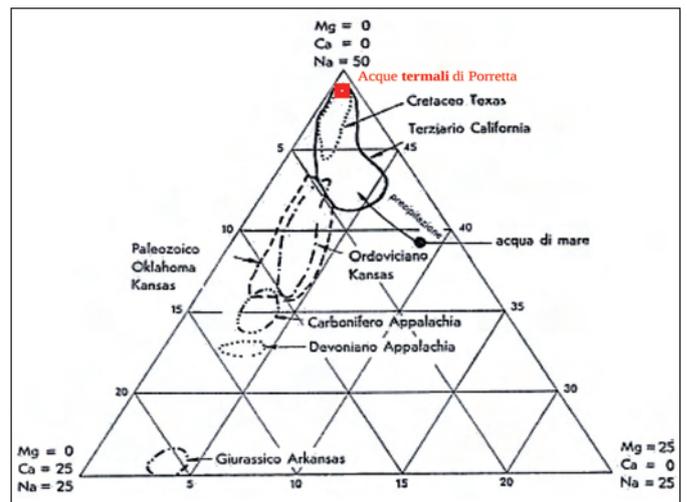


Figura 7: Diagramma riportante le più importanti composizioni di acque di giacimenti di idrocarburi nel mondo (da Sitter, Bull. Am. Assoc. Petrol.Geologist, 31, 2030. 1947).

ternata a totale assenza, di solfati ed idrogeno solforato. Il chimismo base ripercorre a pieno quello delle acque fossili o di strato dei giacimenti di idrocarburi come evidenziato da dati bibliografici [9][11] (figura 7). Anche la geochimica mostra una dominante provenienza crostale (vedi figura 6) di acque connate o acque fossili indicando una influenza vadosa più contenuta rispetto a quanto teorizzato sino ad oggi. L'ipotesi che ne consegue è che le acque salsobromoiodiche possono essere assimilate ad acque fossili o acque di strato di giacimenti di idrocarburi emigrate verso la superficie da rocce madri profonde [11] attraverso una faglia regionale interessata da una tettonica distensiva (neotet-

tonica toscana) che ha permesso una risalita anche attraverso formazioni argillitiche solitamente impermeabili [6]. Durante l'emigrazione, tali acque si miscelano, sostanzialmente senza alterare la loro composizione chimica di base, con acque di origine vadosa collocate prevalentemente nelle formazioni fliscioidi mioceniche (Arenarie del Cervarola) che, come evidenziato da Bonoli et al. [5] e Amadesi et al. [4], costituiscono nell'alto crinale Tosco Emiliano la principale ricarica meteorica del circuito vadoso di media profondità. Quale dei due flussi prevalga nella propulsione del circuito così come nella temperatura è difficile da comprendere e oggetto di discussione, anche se variazioni chimico-fisiche, osservate alle sorgenti dopo eventi sismici passati [3] e recenti [12] [9], hanno evidenziato incrementi di portata, temperatura e salinità da alogenuri, testimoniando un'evidente influenza alle sorgenti della componente fossile profonda. Che le acque salsobromiodiche abbiano origini profonde risulta anche

osservando i parametri della conducibilità (salinità), della temperatura e del livello desumibili dai grafici relativi ai monitoraggi chimico-fisici in continuo, in essere da diversi anni presso le sorgenti termali. I risultati (vedi figura 8 – sorgente Bove) mostrano una elevata costanza dei parametri misurati e forte insensibilità agli apporti vadosi se non per lievi variazioni del tutto influenti dal punto di vista idrotermale, correlabili alle piene del limitrofo Riomaggiore. Ne conviene che il circuito idrotermale porrettano è fondamentalmente un circuito artesiano di acque poco condizionate dalle influenze meteoriche e per questo vengono praticamente conservate le intrinseche mineralizzazioni fossili a cloruri sino alla scaturigine.

## 5. LA MINERALIZZAZIONE A SOLFURI

Quanto osservato per le acque salsobromiodiche è rapportabile anche alle acque sulfuree (sorgente Puzzo-

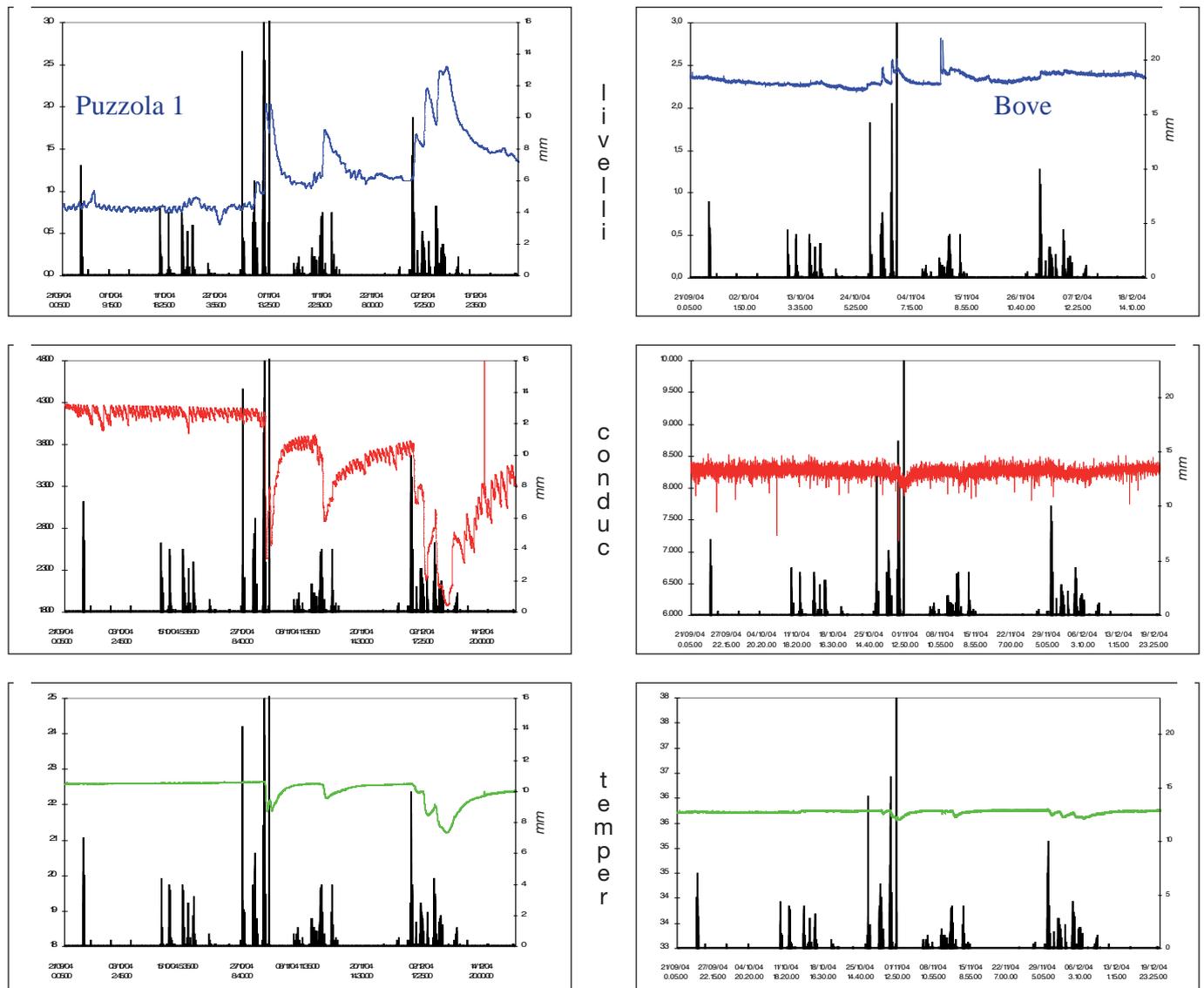


Figura 8: Esempio tipico dei risultati dei monitoraggi in continuo alle sorgenti termali salsobromiodiche (Bove) e sulfuree (Puzzo 1) rispetto alle precipitazioni locali (istogramma in neretto) durante l'autunno 2004.

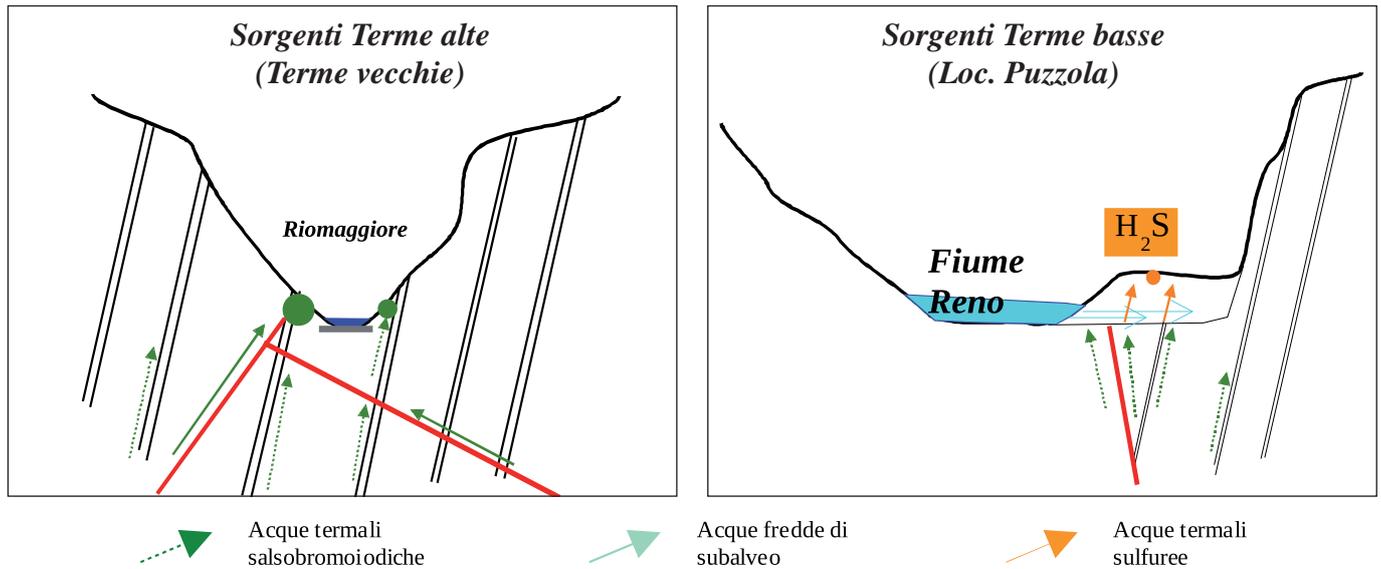


Figura 9: Sezioni schematiche nei due principali ambiti di scaturigine idrotermale.

la 1) anche se con leggere differenze. Le acque sulfuree sono acque salsobromiodiche con minore salinità e temperatura e significativa presenza di acido solfidrico. Analizzando i diagrammi dei monitoraggi in continuo (figura 8 sorgente Puzzola 1) si evince che la sensibilità agli eventi meteorici, in questo caso agli eventi di piena del Fiume Reno, sono maggiori per tutti e tre i parametri misurati rispetto alle salsobromiodiche ubicate lungo il Riomaggiore (Vecchio Albergo delle Terme).

Il motivo sta nel fatto che mentre nella zona di dominio delle salsobromiodiche (sezione schematica di sinistra di figura 9) la falda idrotermale scaturisce in un ambito prettamente torrentizio con alveo confinato ed artificialmente impermeabilizzato e portate fluviali quasi sempre contenute, alla Puzzola (zona delle acque sulfuree) l'ambito di scaturigine è tipicamente fluviale con ampio alveo permeabile, portate decisamente maggiori rispetto al Riomaggiore e terrazzi alluvionali contenenti falde superficiali di subalveo perenni.

Se analizziamo la sezione schematica di destra di figura 9 notiamo come gli strati arenacei in cui risalgono le acque termali siano spesso sormontati da depositi quaternari con falde e infiltrazioni di subalveo connesse all'alveo del fiume Reno.

Questa condizione, oltre a determinare una diluizione variabile delle acque termali salienti a seconda dei livelli del fiume, con conseguente diminuzione di temperatura e conducibilità, è la causa che determina anche la formazione dell'acido solfidrico. Se approfondiamo le passate pubblicazioni notiamo che l'acido solfidrico è stato attribuito alla riduzione di mineralizzazioni a solfuri.

Tale processo ( $2 \text{FeS}_2 + 3 \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{S}$ ) avviene per opera di un batterio chiamato *Thiobacillus Ferrooxidans* che però abbisogna di ambienti ossigenati e pH acidi, mentre le acque termominerali

di Porretta Terme sono perennemente anossiche e dotate di pH attorno a 8, ossia decisamente basiche e praticamente assenti in ferro e solfati prodotti finali di tale processo.

Inoltre bisognerebbe trovarsi in giacimenti di pirite ad elevato tenore, cosa mai riscontrata a livello mineralogico nelle formazioni geologiche attraversate ad eccezione di qualche nodulo piritico nelle Unità argillitiche; pertanto tale ipotesi è oggi da escludere.

Un'altra teoria, riportata nella tesi di Morselli [6], sostiene che vi sia presenza di acque derivanti da formazioni gessoso anidritiche triassiche profonde, ma recenti studi [7] hanno escluso questa ipotesi trovandosi in presenza di un indice di saturazione fortemente sottosaturato per tali fasi mineralogiche (gesso e anidride); inoltre non si comprende come le acque salsobromiodiche delle Terme Alte si mantengano tali senza arricchirsi di  $\text{H}_2\text{S}$  nella comune e lunga risalita con le acque sulfuree.

A nostro parere la spiegazione più plausibile deve essere ricondotta alla perenne miscelazione che avviene nella zona della Puzzola fra acque termali profonde e acque sotterranee di subalveo, ed in particolare nella riduzione dei solfati presenti in queste ultime, in quanto le acque salsobromiodiche di origine fossile ne sono praticamente prive.

I processi di riduzione avverrebbero ad opera di batteri solforiduttori pertinenti all'ambiente idrotermale.

Alcuni batteri solforiduttori [9][11][12][13][14] svolgono la trasformazione di solfati in acido solfidrico e bicarbonato di calcio in ambiente del tutto consono a quello riscontrato nelle acque idrotermali di Porretta caratterizzato dalla costante presenza di metano e da carenza di ossigeno, secondo la relazione:  $\text{CH}_4 + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{HS}^- + \text{H}_2\text{O}$ . Inoltre recentemente colonie di batteri solforiduttori sono stati riconosciuti in campioni di acque sulfuree di Porret-

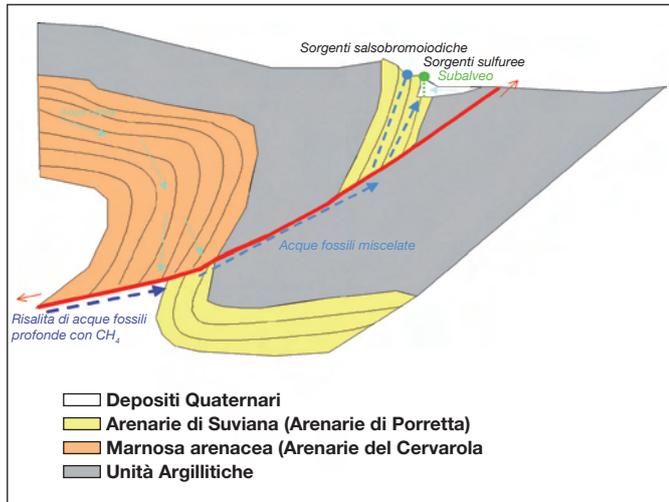
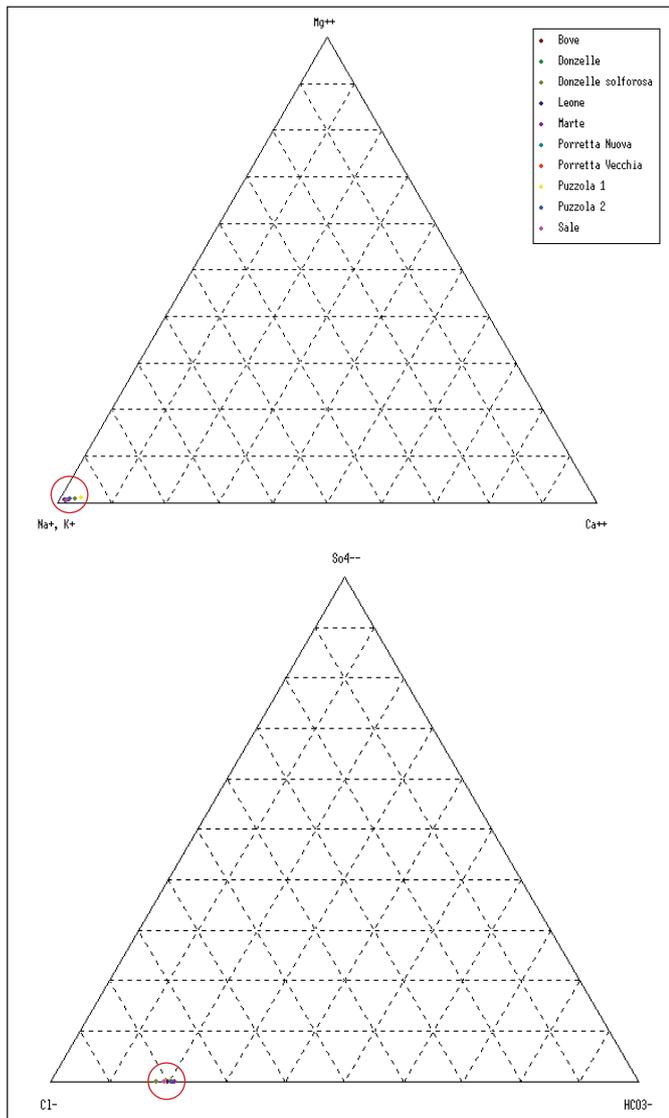


Figura 10: Sezione geologica schematica del circuito idrotermale porrettano negli ultimi 1000 metri di risalita.



Allegato A: Diagrammi triangolari relativi alle acque termali di Porretta

ta nel pieno delle loro funzioni direttamente da osservazioni microscopiche presso i laboratori di ARPA Emilia Romagna Sezione Provinciale di Bologna.

Ne deriva che le acque sulfuree sono un prodotto di un processo biochimico simbiotico che avviene nel primo sottosuolo fra acque calde termominerali salsobromiodiche, le stesse delle terme alte, e acque superficiali di subalveo.

Questo spiega come, storicamente alle Terme Alte, e ancora oggi in determinati periodi dell'anno, le sorgenti più vicine e condizionate dall'alveo del Riomaggiore presentino una leggera presenza di acido solfidrico e come vi sia anche una percentuale di bicarbonato di calcio maggiore nelle acque sulfuree rispetto alle salsobromiodiche.

## 6. CONCLUSIONI

Le acque termali di Porretta sono acque fossili di acquiferi profondi marino sedimentari (oltre il migliaio di metri) associate a giacimenti di idrocarburi e dotate di intrinseca mineralizzazione a cloruri, la cui risalita essenzialmente di tipo artesiano è favorita, oltre che dalla leggerezza indottagli dagli idrocarburi gassosi e dalle temperature elevate connesse alla loro profondità, anche dalla neotettonica distensiva a carattere regionale.

Le acque fossili, nonostante vengano miscelate durante la risalita a circuiti vadosi profondi, mantengono praticamente inalterata la loro composizione chimica sino allo scarico, dove danno origine, nella zona delle Terme Alte, alle acque mesotermali salsobromiodiche, mentre nella zona della Puzzola, poco prima della loro scaturigine, subiscono una perenne miscelazione con falde superficiali, dando origine, attraverso particolari processi biochimici, ad acque salso-sulfuree ipotermali caratterizzate da minore salinità (figura 10).

Quanto scritto introduce nuovi aspetti rilevanti sulla sensibilità ambientale delle aree di scaturigine e, considerando tali acque una risorsa non rinnovabile, emerge un nuovo concetto di vulnerabilità nel loro sfruttamento, soprattutto per quei luoghi dove esse non emergono naturalmente come invece accade da millenni alle Terme di Porretta.

## 7. BIBLIOGRAFIA

Relazione presentata al convegno "Idrologia e Salute. Acque termali in Emilia Romagna. Porretta Terme, 23 aprile 2010. Pubblicata sulla rivista La Clinica Termale, ed. SEU Roma, 2010 vol. 57, Fasc. 1-2, pagg. 55-64.

[1] Celico Pietro: Prospezioni Idrogeologiche, vol 1, Liguori Editore, 1986

[2] APAT (ISPRA) – Dipartimento Scienze della Terra, Università di Firenze – Commissione Italiana di Stratigrafia: Quaderni della Carta Geologica d'Italia 1:50.000: Quaderno 7 fas.4 cap. 2\_5. APAT (ISPRA) – [http://www.apat.gov.it/site/Quaderni/quaderno7/fasc4/q7\\_4cap2\\_5.pdf](http://www.apat.gov.it/site/Quaderni/quaderno7/fasc4/q7_4cap2_5.pdf)

- [3] Facci Mario, Giudanti Andrea, Renzo Zagnoni: Le Terme di Porretta nella storia e nella medicina vol II. Editoriale Nuéter Terme di Porretta S.p.A, 1995
- [4] E. Amadesi, G. Brighenti, F. Ciancabilla, A. Gondoni, D. Vitali: *Idrogeologia di un bacino termale: "Le acque di Porretta Terme"*- Notiziario dell'Associazione Mineraria Subalpina Anno V, n.2., Giugno 1979
- [5] Alessandra Bonoli, Fulvio Ciancabilla., Carlo Elmi. *Le acque minerali di Porretta Terme* - Quarry & Construction: 61-66. 1995.
- [6] Morselli Barbara: Considerazioni sull'origine e sull'evoluzione del bacino idrotermale di Porretta: tesi di laurea Università degli Studi di Bologna, Fac. Ingegneria, Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e Territorio, anno accademico 1998-1999, Relatore Prof. Fulvio Ciancabilla, Correlatori Dr. Alberto Landuzzi, Dott.ssa Rossella Capozzi.
- [7] Ciancabilla Nicola, Ditta Manuela, Italiano Francesco, Martinelli Giovanni: The Porretta thermal springs (Northern Appennines): seismogenic structures and long-term geochemical monitoring. *Annals of Geophysics* Vol. 50, N.4, 2007.
- [8] Borgia Giulio Cesare, Elmi Carlo, Ricchiuto Teodoro.: Correlation by genetic properties of the shallow gas in the Emilian Appennine (Northern Italy). *Advances in Organic Geochemistry* 1987, Org. Geochem. Vol 13, Nos 1-3, pp 319-324, 1988.
- [9] Romina Bruni: Proprietà chimico-fisiche delle acque sotterranee e dei gas naturali nell'alta Valle del Reno: tesi di laurea Università di Bologna, Fac. Ingegneria, Corso di Laurea in Ingegneria Ambientale, anno accademico 2001-2002, Relatore Prof. Giulio Cesare Borgia, correlatori Prof. Fulvio Ciancabilla, Dr. Nicola Ciancabilla
- [10] <http://esd.lbl.gov/CIG/noblegas/georesources.html>  
Center for Isotope Geochemistry (Noble Gas Isotope Geochemistry- Geothermal Resources: Isotopes in Geothermal Research: Collaborators: (1) Prof. Donald J. DePaolo, University of California, Berkeley and Lawrence Berkeley National Laboratory. (2) D. Shuster, Center for Isotope Geochemistry, Lawrence Berkeley National Laboratory. (3) Alfred H. Truedsell, Consultant, Menlo Park, CA. (4) Dr. J. N. Moore, Energy and Geoscience Institute, Salt Lake City, UT. (5) Kathy Janik, U.S. Geological Survey, Menlo Park, CA. (6) Dick Benoit, Oxbow Power Services Inc., Reno, NV. (7) Prof. Zhao Ping, Chinese Academy of Sciences, Beijing, P.R. China (8) Dr. Mayflor Ramos-Candelaria, PNOG Energy Development Corporation, Philippines
- [11] E. Custodio, M. R. Llamas: *Idrologia Sotterranea*, Dario Flaccovio Editore, 2005
- [12] N. Ciancabilla, L. Vicari: le sorgenti dell'alto Reno e il dissesto idrogeologico: nuovi elementi per approfondire la genesi dei movimenti franosi profondi nei depositi argillitici caoticizzati dell'appennino toscano - emiliano. Att. Del Seminario: Cipe Miur - Il potenziamento della ricerca in Italia e in Europa: esperienze e sviluppi - Salerno, 2002.
- [13] Nicola Ciancabilla, Giulio Cesare Borgia, Romina Bruni, Fulvio Ciancabilla, Sergio Palmieri, Luigi Vicari: Le sorgenti sulfuree dell'alta valle del Reno (Appennino bolognese): nuovi elementi per approfondire la genesi dei movimenti gravitativi profondi nei terreni argillitici caoticizzati dell'Appennino Tosco-Emiliano - Il Geologo dell'Emilia Romagna Anno IV/2004-N18-nuova serie
- [14] Ian Clark, Peter Fritz: *Environmental Isotopes in Hydrogeology*, 1997, Lewis Publisher