

Le acque termali della Lessinia orientale

Alcune aree della Lessinia sono caratterizzate da circolazione idrotermale profonda lungo importanti faglie, come quella della Val d'Illasi.

Enrico Castellaccio

Le Antiche Terme di Giunone appartengono al Campo termale di Caldiero che, a sua volta, fa parte del Distretto termale orientale del territorio provinciale di Verona. La particolarità di tale area risiede nel fatto che, in essa, è possibile rinvenire acque calde che risalgono spontaneamente dal sottosuolo fin oltre alla superficie, rendendo tale preziosa “risorsa mineraria” facilmente disponibile al servizio dell'uomo. Tale fenomeno idrotermale è riconducibile ad un esteso circuito idrico sviluppato quasi interamente nelle profonde compagini rocciose della Val d'Illasi e al di sotto dei più conosciuti sistemi carsici superficiali della Lessinia.

Le acque calde di Caldiero, quindi, rappresentano una prerogativa geologica della montagna veronese e della Val d'Illasi. Per le implicazioni economiche ad essa collegate, da molti anni vede numerosi approfondimenti scientifici finalizzati alla sua conoscenza e all'utilizzo razionale. Il loro moderno sfruttamento pone alcuni importanti interrogativi: da dove proviene l'acqua calda presente nel sottosuolo? Si autoalimenta o nel tempo poco alla volta tenderà ad esaurirsi? Qual è l'origine del caratteristico contenuto salino così diverso dalle risorse idriche di montagna e da quelle di pianura? E ancora, quali possono essere

gli effetti causati dai prelievi artificiali sulla portata complessiva? La qualità dei fluidi termali potrà essere soggetta a forme di degrado per cause legate all'inquinamento proveniente dall'attività antropica?

In questa sede si cercherà di dare risposta ai primi quesiti, rimandando la questione sulle interferenze e ai condizionamenti di tipo antropico ad altri approfondimenti bibliografici (CASTELLACCIO, 2012).

Con il presente articolo è auspicio dell'Autore contribuire a diffondere la “cultura del termalismo” e una maggiore sensibilità verso le risorse naturali, con la speranza di sensibilizzare l'opinione pubblica sulla necessità di salvaguardare un patrimonio idrotermale unico nel suo genere.

LE CONOSCENZE PREGRESSE SUI CIRCUITI IDROTERMALI DEL VENETO OCCIDENTALE

I geologi si sono chiesti, per decine di anni, quali fossero i “meccanismi” naturali che hanno portato alla formazione delle acque calde che si rinvenivano presso Sirmione, nella zona morenica del Garda e nelle aree tra Domegliara, Caldiero e fino all'area Berico-Euganea.

Una svolta alle conoscenze è iniziata a partire dagli anni '70 quando, indagini geologico-stratigrafiche e di ordine geochimico riguardanti l'area vicentina e padovana hanno appurato che la presenza delle acque calde è da mettere in relazione all'esistenza di profondi serbatoi carbonatici, sedi di circuiti idrotermali di tipo aperto e chiuso, alimentati da acque di infiltrazione meteorica. In essi si verifica un'intensa circolazione di fluidi che presentano nulle o minime connessioni con i sistemi idrici freddi superficiali, la cui discarica naturale avviene per lo più a ridosso della fascia pedemontana. Da tali studi è stato possibile accertare che la causa del riscaldamento è dovuta alla profondità di circolazione delle acque che

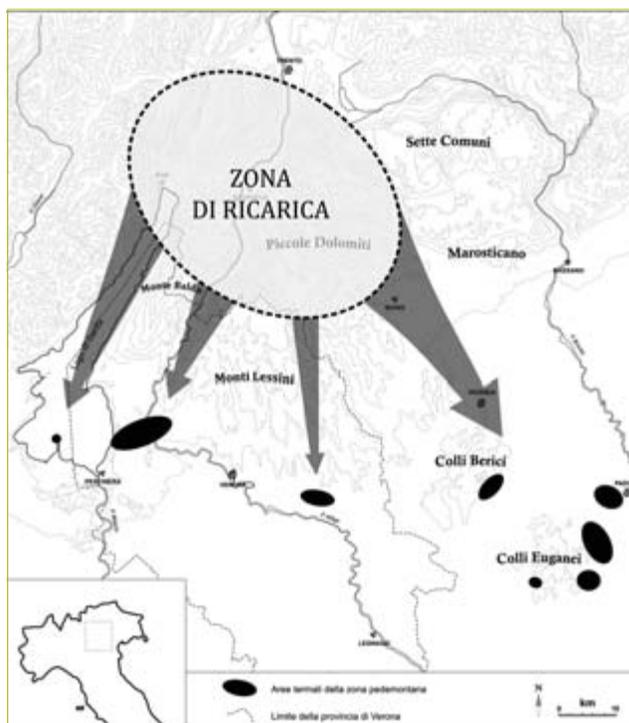


Fig. 1 – Posizione schematica della principale area di ricarica dei sistemi idrotermali del Veneto occidentale (Castellaccio, Zorzin, 2012).

permette ai fluidi di essere esposti al costante flusso di calore proveniente dal mantello terrestre. Ciò determina che per ogni chilometro di profondità si verifica in media un aumento di temperatura di 30 °C. Di conseguenza, la presunta ipotesi sull'origine vulcanica del termalismo veronese è stata da allora abbandonata (PICCOLI *et al.*, 1973).

I primi importanti contributi di ordine geochemico e geologico-strutturale sulle aree di Caldiero e Lendinara si devono a SIGHINOLFI *et al.* (1982) e a SORBINI *et al.* (1984) che fornirono un primo modello idrotermale per giustificare l'origine delle acque calde. Gli Autori ipotizzarono l'esistenza di un modello idrogeologico che permette l'infiltrazione delle

acque meteoriche fino alle profondità necessarie per termalizzare i fluidi (qualche km). Indicarono poi che la loro successiva risalita si verifica lungo presunte discontinuità strutturali situate nella fascia pedecollinare in collegamento con le falde acquifere della pianura.

Nel successivo trentennio sono seguiti pochi altri approfondimenti, ultimo dei quali ad opera di CASTELLACCIO e ZORZIN (2012), attraverso i quali è stato confermato l'impianto generale allora proposto. Tuttavia, alla luce di nuovi dati stratigrafici, geochemici e strutturali sono stati forniti maggiori dettagli riguardanti la descrizione dei distretti termali del Veronese e delle sorgenti calde sepolte (fig. 1).

Il presente articolo rappresenta un ulteriore approfondimento scientifico sul circuito idrotermale che fa capo all'area di Caldiero-Lendinara in cui vengono presentati l'area di alimentazione, il percorso sotterraneo e alcune considerazioni sul modello idraulico.

LE ACQUE CALDE DEL DISTRETTO TERMAL DELLA PIANURA ORIENTALE

Nel Distretto termale della pianura orientale si distinguono i campi termali di Caldiero e di Lendinara, localizzati allo sbocco della Val d'Illasi, nella pianura veronese, ove le acque calde affioranti presentano temperature variabili tra 15 °C fino a 30 °C.

Esse vengono a giorno soprattutto attraverso pozzi poco profondi che pescano dalle falde acquifere freatiche ed artesiane contenute nei sedimenti porosi della pianura. L'anomalia termica è dovuta ai fenomeni di *mixing* tra acque fredde sotterranee e acque termali basali provenienti da una serie di "spaccature" di origine tettonica.

Il Campo termale di Caldiero si trova nella pianura veronese a ridosso del margine collinare e comprende le Antiche Terme di Giunone, più alcune

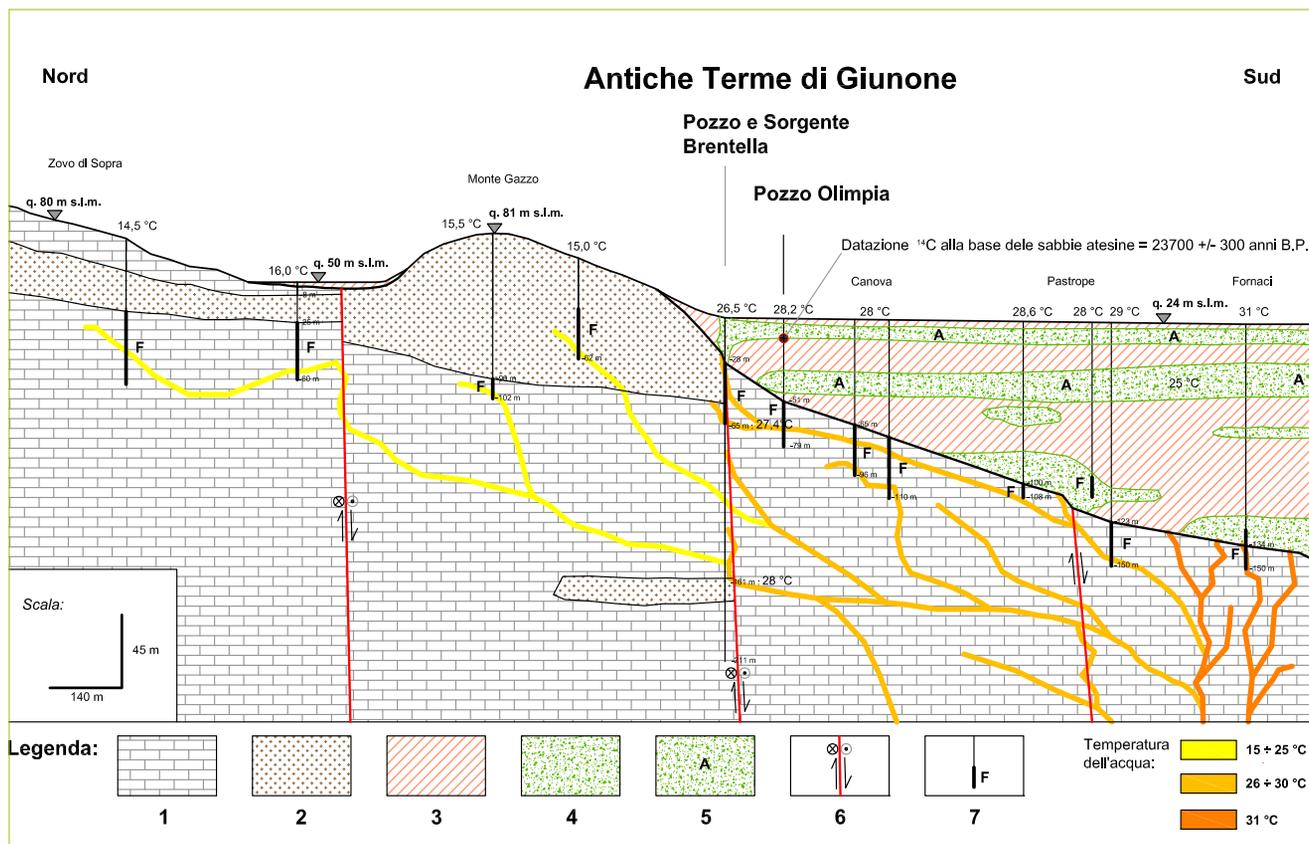


Fig. 2 – Profilo idrogeologico del Campo termale di Caldiero. Legenda: 1) rocce carbonatiche; 2) rocce di origine vulcanica; 3) argilla prevalente; 4) ghiaia con sabbia prevalente; 5) sabbia di origine atesina; 6) faglia diretta con movimento trascorrente destro; 7) pozzo per acqua e suo tratto filtrante (F).

contrade circostanti situate tra i 25–28 m s.l.m. Solamente in questa zona si riscontrano acque a più alta temperatura, compresa tra 26 e 30 °C, in cui i prelievi vengono attuati mediante pozzi per acqua che pescano direttamente dalle compagini rocciose calcaree situate tra -30 m e -186 m dal piano di campagna. La zona, infatti, è sede di una condizione geologica e tettonica particolarmente favorevole alla facile diffusione e risalita dei fluidi caldi che talora permette alle acque di zampillare al di sopra del piano di campagna fino a 30 m s.l.m. (fig. 2).

Si deve, per l'appunto, alla naturale risalienza dell'acqua termale l'origine delle storiche sorgenti Brentella e Cavalla, le uniche della provincia di Verona custodite presso le Antiche Terme di Giunone. La loro fama trova riscontro molto addietro nel tempo, quando già in epoca romana prendevano il nome di "Acque della Bellezza", come lo attesta una locale epigrafe e le spoglie di un tempio dedicato alla dea Giunone (II sec. d.C.), e nel Rinascimento quando erano considerate tra le più rinomate terme d'Europa (figg. 3, 4).



Fig. 3 – Ingresso della piscina Brentella.



Fig. 4 – Panoramica della piscina Cavalla (Foto V. Gazzabini).

Dagli studi di SIGHINOLFI *et al.* (1982) è stato possibile stabilire che il percorso idrotermale inizia con l'infiltrazione di acque meteoriche cadute nella zona alpina-prealpina in corrispondenza di superfici localizzate ad una quota media compresa tra i 1.000-1.500 m (studio eseguito attraverso l'analisi del rapporto isotopico $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ i cui valori variano tra $-8,2\text{‰}$ e $9,1\text{‰}$). Da tali considerazioni si deduce che la falda idrotermale è alimentata da acque meteoriche il cui ciclo idrologico permette la continuità e rinnovabilità della risorsa.

Approfondimenti successivi effettuati da CASTELLACCIO *et al.* (2012) hanno accertato che le acque termali presentano caratteristiche chimiche affini a quelle di Sirmione e del distretto euganeo. Anche nel Veronese, quindi, esiste una circolazione idrotermale profonda a garanzia della sua potenzialità e durata nel tempo. Il contenuto salino termale è riconducibile alle caratteristiche delle rocce, ai lunghi tempi di residenza nel sottosuolo, ai valori di temperatura e di

pressione dell'acquifero e ai mescolamenti tra acque di circuiti idrodinamici diversi, oltre che alla composizione idrica iniziale. Da questo punto di vista, tutte le acque termali del Veronese appartengono ad un'unica famiglia del tipo bicarbonato-solfato-alcalinoterroso (cioè con significative quantità di solfati, calcio e magnesio).

Le acque delle Antiche Terme di Giunone presentano ottimi requisiti di potabilità e un contenuto salino totale oligominerale con un residuo fisso inferiore a 0,5 g/l e con durezza di circa 31 °F. Il valore della concentrazione dei cationi ($\text{Mg}+\text{Ca}+\text{Na}+\text{K}$) classifica l'acqua termale tra quelle calciche magnesiache. Quello degli anioni ($\text{HCO}_3+\text{SO}_4+\text{Cl}$) la fa invece ricadere tra le acque bicarbonato, tendenzialmente solfatiche (fig. 5).

Il carattere salino di tali acque, inoltre, evidenzia analogie idrochimiche con quelle fredde del sistema carsico "superficiale" della Lessinia, con riferimento alle stesse modalità di circolazione e talora alle me-

desime litologie formate da calcari puri-marnosi e di tipo dolomitico-evaporitico.

Tuttavia, le differenze che contraddistinguono le acque termali sono dovute principalmente ai maggiori tempi di contatto dei fluidi con le rocce madri (minimo di alcune centinaia di anni) e alle condizioni di temperatura del sottosuolo (30-50 °C) da cui dipendono gran parte degli equilibri delle reazioni di dissoluzione. In conseguenza di ciò, tendono ad essere portati in soluzione quegli ioni più solubili che formano le rocce serbatoio e pertanto la loro concentrazione relativa tende ad aumentare. Nei fluidi termali abbondano ioni di bicarbonato di calcio, di calcio, di sodio, di potassio, di magnesio, di cloro e di solfato che sono mobilitati dalla lisciviazione dei litotipi formati da calcari, dolomie, rocce evaporitiche (gessi e anidridi) e da rocce vulcaniche (lave acide del Triassico) della serie stratigrafica del Veneto occidentale (fig. 6).

Dalle analisi geochimiche, particolari minerali presenti nelle acque del Distretto termale orientale (i cosiddetti geotermometri Na, K, Ca e Si) hanno

permesso di verificare che i valori di temperatura dei fluidi basali si aggirano sui 40-50 °C e quindi poco superiori a quelli effettivamente misurati in superficie (circa 30 °C). Di conseguenza, considerando l'assetto stratigrafico regionale, viene confermato che la profondità media della falda termale in corrispondenza di Caldiero si aggira su 1,2 km.

Le significative concentrazioni di radon (^{222}Rn) e il quadro salino generale documentano che, nella bassa Val d'Illasi, si verifica una veloce risalita dei fluidi caldi con scarsissimi o nulli mescolamenti con acque fredde locali. Tale condizione idrogeologica è garantita dall'esistenza di faglie attive con caratteristiche distensive in cui vengono a crearsi e a mantenersi elevate condizioni di permeabilità tali da favorire una continua via di fuga dei fluidi verso l'alto.

Nella fascia pedemontana dell'area di Caldiero, infatti, esiste una sorta di "trappola idrogeologica" dovuta alla persistenza delle faglie attive che tendono a scaricare gran parte del circuito idrotermale sotteso a monte nei sedimenti porosi della pianura.

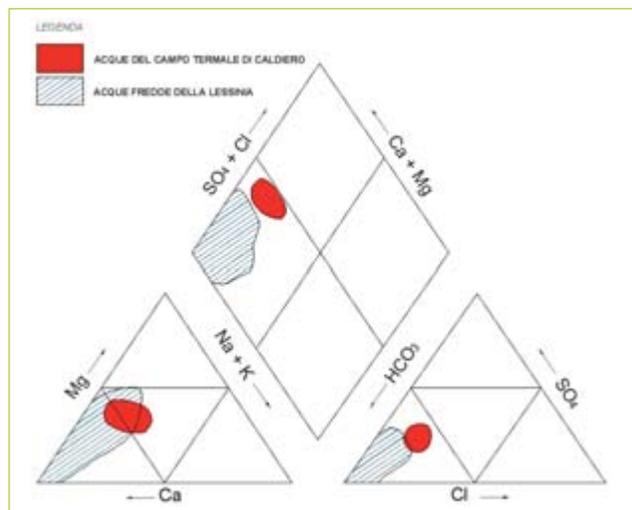


Fig. 5 – Diagramma di Piper riguardante le acque termali di Giunone e quelle fredde della Lessinia.

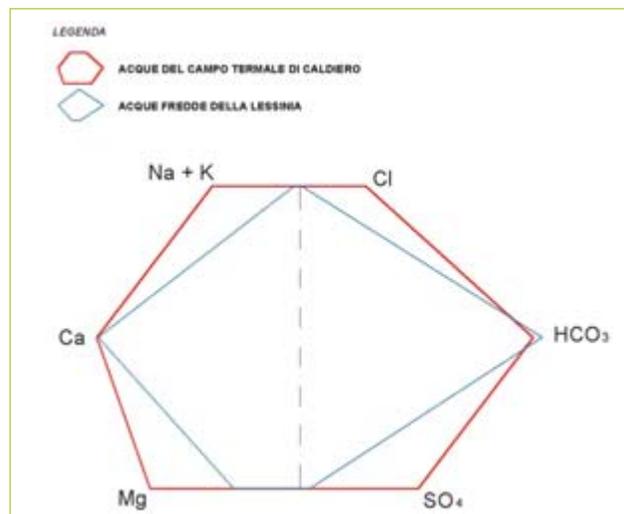


Fig. 6 - Diagramma di Stiff riguardante le acque termali di Giunone e quelle fredde della Lessinia.

VERSO UNA MAGGIORE CONOSCENZA GEOLOGICA
DEL CIRCUITO IDROTERMALE

Il circuito idrotermale relativo all'area di Caldiero-Lendinara è sviluppato all'interno di un particolare contesto roccioso, costituito dalla formazione della Dolomia Principale, la cui giacitura inclinata verso la pianura costituisce una prima prerogativa per l'esistenza della falda termale.

Dal punto di vista geologico, i Monti Lessini presentano una struttura tabulare immergente verso la pianura veronese e vicentina in cui, nelle aree poste a Nord, affiorano le rocce più antiche di età triassica e giurassica, mentre verso il margine meridionale, che dà sulla pianura, si trovano le rocce più recenti di età cenozoica.

Nell'Alta Vallarsa e nel Recoarese, posti a Settentrione, affiora l'antico basamento scistoso-cristallino formato da rocce metamorfiche (filladi, argilloscisti, ecc.) di età paleozoica medio-inferiore, al di sopra del quale fa seguito una successione di strati dotati di bassissima permeabilità (calcarei evaporitici con gesso e anidridi, calcari marnosi, dolomie e vulcaniti acide) che nel complesso presentano uno spessore di circa 800 m.

A questi si sovrappone la formazione della Dolomia Principale che, con uno spessore medio di 900 m, chiude la serie triassica veneto-trentina. Si tratta di una roccia che affiora in abbondanza nel gruppo del Carega e nell'alta Val d'Illasi ed è presente anche nel sottosuolo di Caldiero ove, le correlazioni stratigrafiche, la collocano ad una profondità compresa tra i 700 e i 1.600 m (figg. 7, 8, 9).

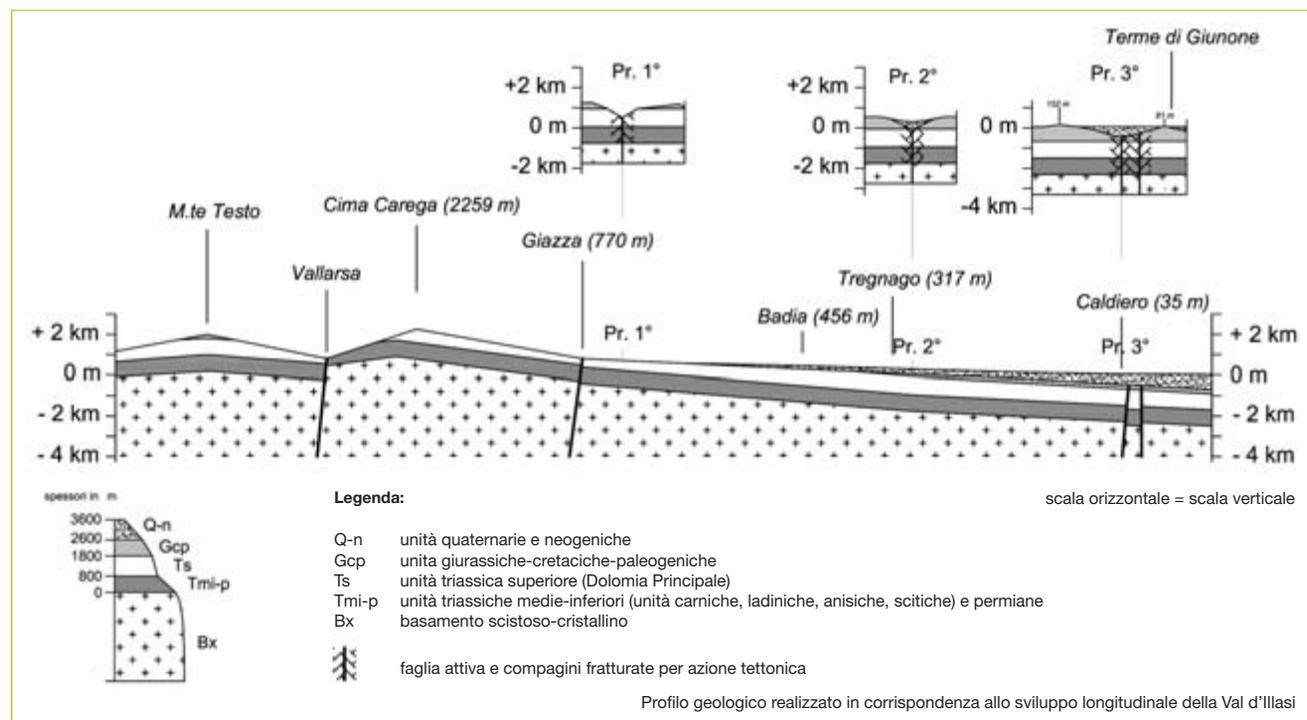


Fig. 7 – L'assetto stratigrafico e strutturale del circuito idrotermale.

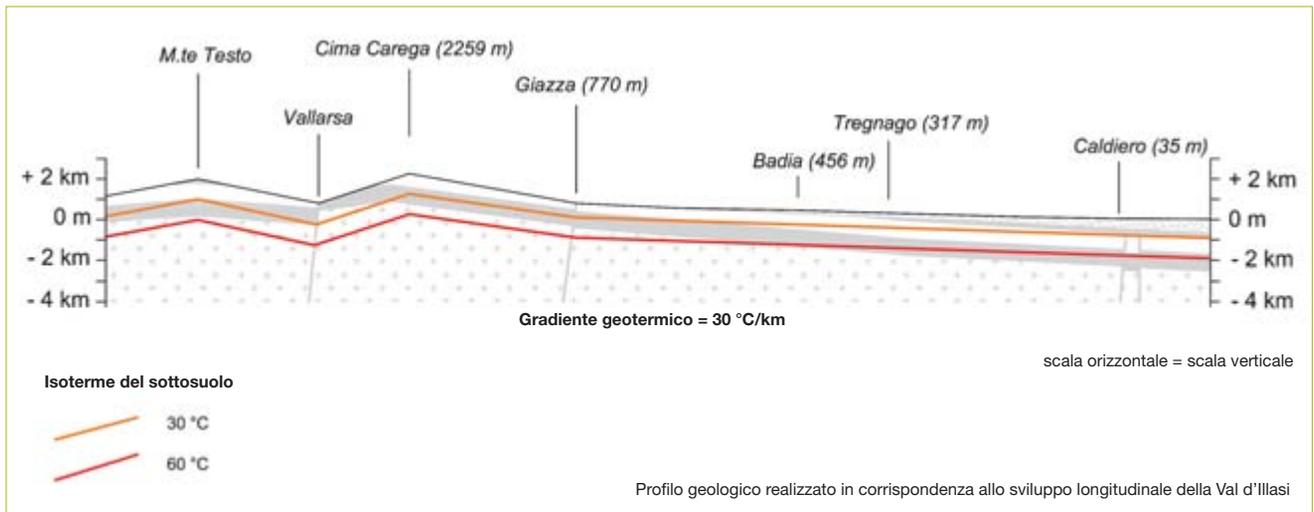


Fig. 8 – Le temperature profonde della Val d'Ilasi.

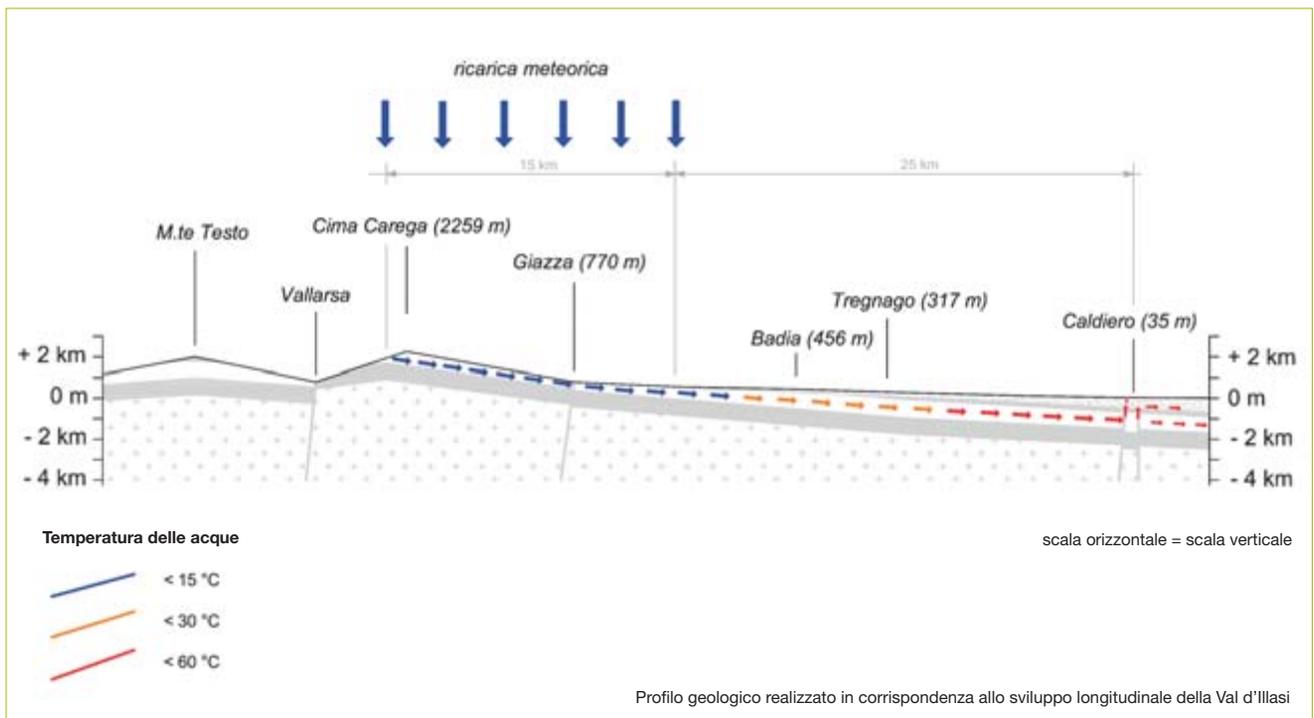


Fig. 9 – Schema del circuito idrotermale della Lessinia veronese orientale.

La spiccata fratturazione della roccia conferisce un elevato grado di permeabilità secondario che risulta particolarmente evidente nelle zone tettonicamente più disturbate, a cui, per l'appunto, competono l'area di alimentazione del circuito idrotermale e il suo percorso verso valle. Alle faglie attive che risiedono nel substrato roccioso della Val d'Illasi fanno riscontro un'accertata attività neotettonica e importanti epicentri sismici che hanno interessato specialmente il settore medio-alto della vallata.

All'origine del circuito idrotermale vi sarebbero, quindi, importanti cause di ordine tettonico-strutturale che favoriscono la circolazione e la permanenza dei fluidi nel substrato roccioso. Il modello tettonico è rappresentato da una o più faglie che percorrono longitudinalmente la Val d'Illasi e da altre faglie attive ad esse trasversali, di cui, quelle più evidenti, appartengono alla Faglia di Cerro V.se, alla Faglia di Castelvero-Castelcerino e alla Faglia di Verona.

Nella bassa Val d'Illasi le acque calde, non catturate dalla "trappola idrogeologica" pedemontana, vanno ad alimentare acquiferi localizzati entro i rilievi collinari e complessi percorsi ipogei situati nel substrato roccioso della pianura veronese e padana. Ciò potrebbe spiegare quelle anomalie termiche isolate che si riscontrano al di fuori dei più circoscritti campi termali, nonché l'esistenza di quei fluidi termalizzati che si rinvennero fin quasi a Mantova a circa 3.000 m di profondità (pozzo Rodigo 1).

LA VAL D'ILLASI: UNA TESTIMONIANZA GEOLOGICA DI ANTICHI FENOMENI FLUVIALI

Nell'ambito dell'altopiano lessineo, la Val d'Illasi ne costituisce la vallata principale. Se le porzioni settentrionali (valli di Revolto e Fraselle) si presentano profondamente incassate ed impervie, il settore centro-meridionale aumenta progressivamente la sua

larghezza e rotondità, ove, il fondovalle si presenta sovralluvionato con la messa in posto di una successione di conoidi che tendono a rastremarsi con i sedimenti della pianura. Per tutto lo sviluppo longitudinale, il fondo roccioso è contraddistinto dal tipico profilo a V caratteristico dei processi erosivi di origine fluviale che è direttamente visibile fin poco più a Sud di Giazza (770 m s.l.m.). Da quella località il *bed rock* tende ben presto ad essere sepolto dai depositi alluvionali che aumentano progressivamente il loro spessore proseguendo verso la pianura in cui, nella bassa Val d'Illasi, la sua profondità si attesta ad almeno 500 m al di sotto del livello del mare.

Ciò suggerisce l'ipotesi che l'origine della Val d'Illasi derivi da un'erosione fluviale regressiva controllata dalle variazioni di un antico livello marino e più precisamente da un corso d'acqua che percorreva l'antica pianura veronese alcuni milioni di anni fa. Tale fenomeno geologico sembra riconducibile agli avvenimenti del Miocene superiore quando si verificò un importante abbassamento del livello del Mediterraneo di circa 2.000 m rispetto all'attuale in conseguenza della chiusura della sua comunicazione con l'Oceano Atlantico. Nel corso di tale evento tutti i fiumi tributari del Mediterraneo impostarono forti erosioni scavando profondissimi *canyons*. Nel Veronese tale fenomeno fino ad ora è stato documentato presso il Lago di Garda in cui l'antico fiume che dette origine alla fossa benacense approfondì un solco in roccia che verso il margine meridionale del lago (Peschiera) raggiunse i 1.259 m sotto l'attuale livello marino.

Quando si ristabilirono i collegamenti tra l'Oceano Atlantico e il Mediterraneo e il livello del mare tornò progressivamente alla quota attuale, i sedimenti marini colmarono le profonde valli precedentemente formate. A ridosso del margine collinare del Veronese, invece, il corso d'acqua dell'antica Val d'Illasi depositò centinaia di metri di sedimenti per lo più dalla tessitura argillosa.

ALCUNE CONSIDERAZIONI ANALITICHE
SUL CIRCUITO IDROTERMALE

Il bilancio idrologico dell'area di ricarica

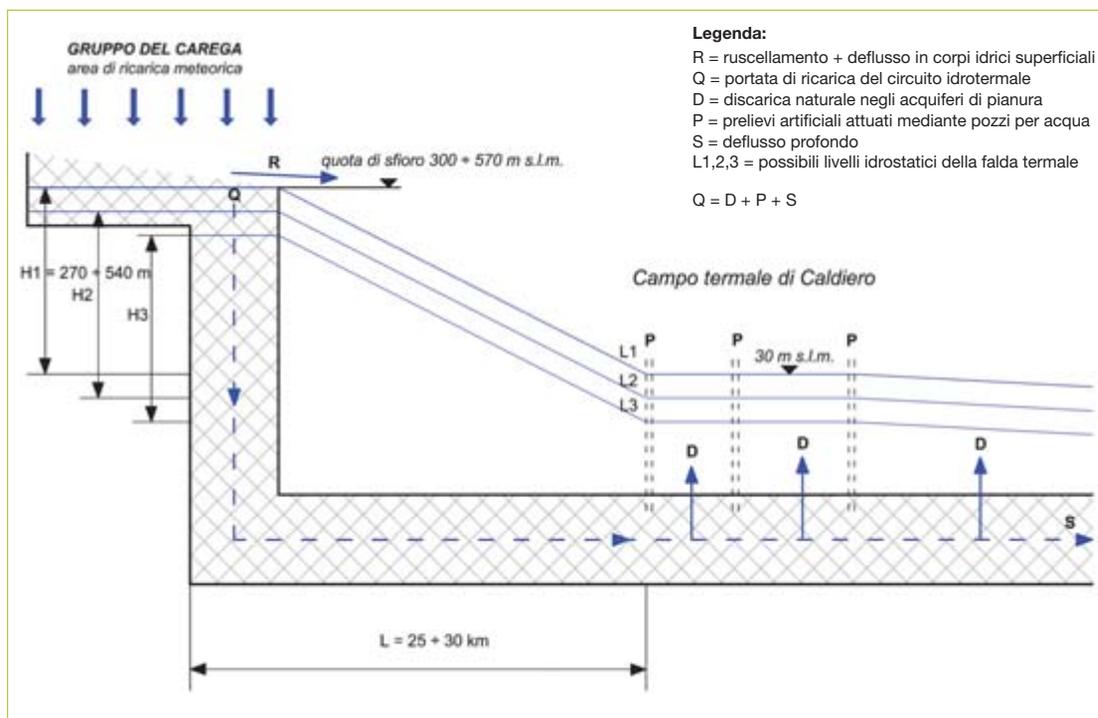
L'area di ricarica pluviale del sistema idrotermale di Caldiero si trova nelle porzioni settentrionali della Val d'Illasi a partire dalla quota di circa 700 m s.l.m. Essa accorpa l'intero gruppo del Carega (2.259 m s.l.m.) ove le acque tendono a convogliarsi ben presto nelle compagini fratturate della Dolomia Principale fino a 400-600 m di profondità dalla superficie.

Si tratta di un'area della superficie di circa 40 km² dotata di elevata naturalità, situata ad una distanza da Caldiero compresa tra i 25 e i 40 km. La condizione bio-geografica dei luoghi concorre alla qualità idrica del circuito termale preservandola da inquinamenti di origine antropica (area S.I.C.-Z.P.S. n. IT3210040).

Per tale zona possono essere riassunte le seguenti caratteristiche idrologiche:

Afflusso meteorico cumulativo annuo	1.500 ÷ 2.300 mm
Precipitazione media mensile	165 mm
Temperatura media annua stimata	10 ÷ 12 °C
Evapotraspirazione (40%)	760 mm
Ritenzione specifica (20%)	380 mm
Ruscigliamento superficiale (15%)	285 mm
Infiltrazione efficace (25%)	475 mm
Alimentazione idrica termale	20 milioni di m ³ annui
Portata media di deflusso del sistema termale	0,5 m ³ /s

Fig. 10 – Modello analogico semplificato del bacino idrotermale con indicazione di una possibile evoluzione verso il basso dei livelli idrostatici nella condizione in cui il deflusso a valle (dispersione naturale + emungimenti artificiali) sia superiore alla ricarica.



L'artesianesimo delle acque termali all'interno della compagine rocciosa della bassa Val d'Illasi, trova ragione nell'esistenza di una falda acquifera in pressione che, dalla profondità media di 1.200 m all'altezza di Caldiero, è in collegamento idrogeologico con la superficie poco più a monte di Selva di Progno.

Si tratta di una "condotta in pressione" contenuta nelle rocce fratturate della formazione della Dolomia Principale la cui maggiore conducibilità idraulica, rispetto alle zone circostanti, è determinata dalle faglie attive passanti per la valle. Il contenimento verso l'alto della pressurizzazione dell'acquifero sarebbe esercitato dai sedimenti argillosi impermeabili pre-

senti sul fondo roccioso della valle. Verso Caldiero la diffusione delle acque calde nelle compagini laterali contribuisce ad alimentare le vene fluide delle Antiche Terme di Giunone (fig. 10).

Una serie di elaborazioni sul modello idraulico del circuito termale ha permesso di constatare una bassa produttività della falda acquifera:

Gradiente idraulico ($\Delta H/L$)	0,01 ÷ 0,02
Velocità darcyniana media della falda termale	150 ÷ 200 anni
Conducibilità idraulica media	35×10^{-6} m/s (\approx 3 m/giorno)
Trammissività dell'acquifero	30×10^{-3} m ² /s

BIBLIOGRAFIA

- ACCORSI C.A., ANTONELLI R., BANDINI MAZZANTI M., CASTELLANI E., FERRARI A., CONSOLARO S., FORLANI L., MARCHESINI M., PAROLOTTI L., PERETTI A., SAURO U., SORBINI L., TORRI P., ZAMBRANO R., ZAMPIERI D., ZORZIN R. (1993) - *Geologia, Idrogeologia e qualità dei principali acquiferi veronesi* in Sorbini L. (a cura di) "Memorie Mus. Civ. St. Nat. di Verona", (II Serie), Sez. Sc. della Terra, 4:150, Verona.
- CASTELLACCIO E. - ZORZIN R. (a cura di) (2012) - *Acque calde e geotermia della provincia di Verona - Aspetti geologici e applicazioni*, Mem. Mus. Civ. St. Nat. di Verona, 176 pp., Verona.
- CASTELLACCIO E. (2012) - *Il campo termale di Caldiero* in CASTELLACCIO E. - ZORZIN R. (a cura di) "Acque calde e geotermia della provincia di Verona - Aspetti geologici e applicazioni", Mem. Mus. Civ. St. Nat. di Verona, 176 pp., Verona.
- CASTELLACCIO E., AGOSTINI L., DAL DEGAN D. (2012) - *Caratteristiche chimiche e fisiche delle acque termali veronesi* in CASTELLACCIO E. - ZORZIN R. (a cura di) "Acque calde e geotermia della provincia di Verona - Aspetti geologici e applicazioni", Mem. Mus. Civ. St. Nat. di Verona, 176 pp., Verona.
- CARTON A., CASTALDINI D. (1985) - *Approfondimenti di morfotettonica tra il Lago di Garda ed il Torrente Alpone (Provincia di Verona)*, Boll. Mus. Civ. St. Nat. di Verona, 12:461-491, Verona.
- FINCKH (1978) - *Are alpine lakes former messinian canyons? Geophysical evidence for periglacial erosion in the southern alpine lakes*, Marine Geology, 27, 289-302.
- HSÜ K.I., CITA M.B., RYAN W.B.F. (1973) - *The origin of the Mediterranean evaporates*, in RYAN, HSÜ et alii, "Initial Report of the Deep Sea Drilling Project", U.S. Gov. Print. Off. Washington, 13: 1203-1231.
- PICCOLI G., DAL PRA A., SEDEA R., BELLATI R., DI LALLO E., CATALDI R., BALDI P., FERRARA G.C. (1973) - *Contributo alla conoscenza del sistema idrotermale Euganeo-Berico*, Atti Acc. Naz. Lincei, serie VIII, V, XI, Roma.
- SIGHINOLFI G.P., GORGONI C., MARTINELLI G., SORBINI L. (1982) - *Indagine geochimica preliminare sulle acque del sistema termale veronese*. Energia geotermica, CNR, Progr. Fin. Energia, 3: 13-20, Roma.
- SORBINI L., ACCORSI C.A., BANDINI MAZZANTI M., FORLANI L., GANDINI F., MENEGHEL M., RIGONI A., SOMMARUGA M. (1984) - *Geologia e geomorfologia di una porzione della pianura a Sud-Est di Verona*, in "Memorie Mus. Civ. St. Nat. di Verona", (II° Serie), Sez. Sc. della Terra, 2: 91, Verona.