

P. CHIOZZI*, F. BENEDETTO*, P. BRANDOLINI**,
S. GIORGI**, V. PASQUALE*, M. VERDOYA*

CARATTERI GEO-AMBIENTALI DEL SISTEMA
IDROTERMALE DI PIGNA (LIGURIA OCCIDENTALE)

1. - **Premessa.**

Nell'ambito di uno studio interdisciplinare, geografico-ambientale e geofisico, riguardante la distribuzione, le caratteristiche e le potenzialità di fruizione delle sorgenti termali in Liguria, è stata avviata un'indagine sulle acque che sgorgano nel comune di Pigna, nella Liguria occidentale in provincia di Imperia.

L'utilizzo della sorgente a bassa termalità, poco nota in letteratura e studiata per la prima volta nel 1802, ha avuto un notevole sviluppo circa 40 anni fa con la creazione di un nuovo stabilimento termale a scopo terapeutico. Recentemente l'interesse per quest'area ha avuto un ulteriore sviluppo, grazie all'approvazione di un progetto per rinnovamento delle strutture ricettive dello stabilimento, a seguito di una nuova concessione per l'utilizzo delle acque termominerali.

La sorgente di Pigna si colloca in un'area della catena alpina (Alpi Liguri e Marittime), tra la Liguria occidentale e il Piemonte meridionale, nella quale sono presenti una decina di zone termali distribuite nei comuni di Acqui Terme, Bordighera, Borgomaro, Dolcedo, Garessio, Isolabona, Pigna, Valdieri, Vicoforte e Vinadio¹.

* Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Genova.

** Istituto di Geografia - Università di Genova.

¹ Lo studio di queste sorgenti rientra in un progetto avente per obiettivo la ricostruzione della situazione strutturale e della successione stratigrafica, per la definizione della geometria del sistema geotermico. Allo scopo di ottenere informazioni di carattere quantitativo sulla natura e sullo stato termico del sottosuolo,

Queste emergenze, note sin dall'antichità, hanno caratteristiche chimico-fisiche tali da potere essere utilizzate, a seconda della temperatura, nelle attività termali a bassa entalpia e nell'industria di imbottigliamento, oppure in stabilimenti idroterapici per la cura delle più diversificate patologie, quali quelle a carico degli apparati cardiocircolatorio, digerente, respiratorio, locomotorio e nelle affezioni cutanee.

Un adeguato sfruttamento delle risorse idrotermali necessita di indagini preliminari atte a stabilire la loro potenzialità². In particolare, gli accertamenti riguardano una serie di analisi chimiche, fisiche ed idrogeologiche indispensabili per individuare le proprietà delle acque e i loro rapporti con il terreno, durante il percorso di discesa, la mineralizzazione, il riscaldamento in profondità e la rapida risalita verso la zona di emergenza.

Nella prima fase della ricerca, in considerazione di quanto sopra, sono stati soprattutto approfonditi, oltre ai caratteri generali geologico-geomorfologici dell'area, quelli geofisici del sito, che hanno permesso, attraverso l'utilizzo di particolari geotermometri, di calcolare la temperatura del serbatoio. Sulla base dell'elaborazione e del raffronto dei vari dati raccolti è stato possibile ricostruire un modello di circolazione idrotermale profonda dell'area, nel quale l'acqua meteorica penetra ad una data profondità e viene alla superficie attraverso un sistema di faglie.

2. - Inquadramento geomorfologico e geologico.

L'area termale in esame si estende a margine del T. Nervia, fra l'abitato di Pigna e quello di Castel Vittorio (fig. 1). Il versante

verranno utilizzati metodi geofisici che si avvalgono delle normali tecniche di prospezione di geofisica applicata e, in particolare, di quella geotermica, che consente di avere indicazioni dirette sulla presenza e sulla intensità locale di anomalie del flusso di calore terrestre.

²L'individuazione e l'estrazione dell'energia da fluidi caldi presenti nel sottosuolo fanno parte del campo di studio della prospezione geotermica. Benchè i fluidi ad alta entalpia (temperatura maggiore di 150) siano più ricercati, in quanto convenienti economicamente nella produzione di energia elettrica, anche i fluidi a media e bassa entalpia costituiscono una risorsa con possibilità di applicazioni sia civili sia industriali.

destro del torrente è in prevalenza modellato a terrazze agricole (parte centrale e occidentale) con pendenze medie del 10-15%. La parte orientale è fortemente acclive, con tratti a pendenza intorno all'80%. Nel tratto in oggetto, il corso d'acqua ha andamento sinuoso ed ha inciso sensibilmente sia le coltri detritiche alluvionali sia il basamento roccioso, evidenziando, in alcuni tratti, scarpate d'erosione alte 4-8 m.

La sinistra orografica, morfologicamente più tormentata, è stata soggetta in passato a fenomeni di dissesto di piccola entità, ad eccezione della parte occidentale, ove compare un esteso movi-

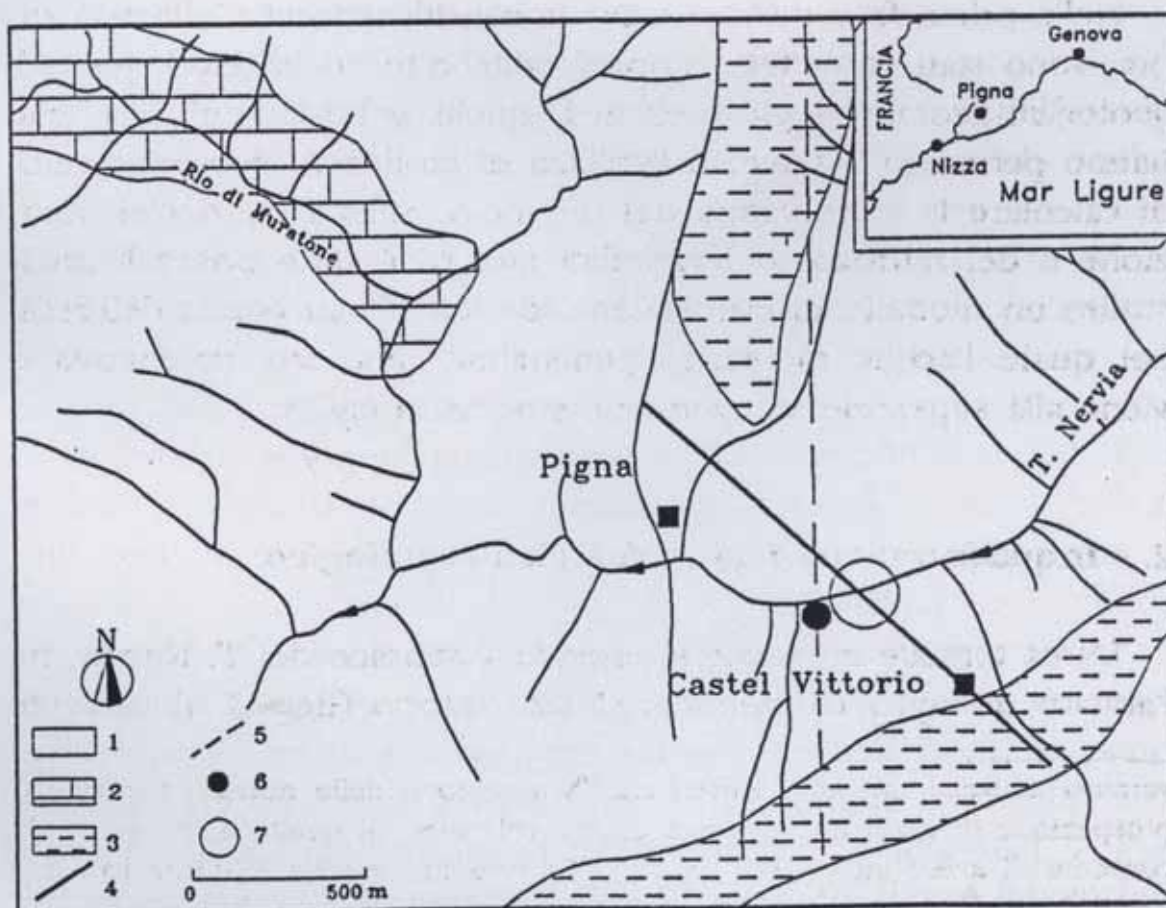


Fig. 1 - Inquadramento geologico-geomorfologico dell'area della sorgente di Pigna (IM). 1 - Complesso di arenarie, scisti argillosi, calcari marnosi e calcari cristallini; 2 - calcari arenacei e marnoso-arenacei; 3 - arenarie in grossi banchi; 4 - faglia; 5 - traccia della sezione geologico-interpretativa di Fig. 5; 6 - sorgente di Pigna; 7 - area di indagine georadar.

mento franoso, il cui corpo detritico di notevole spessore, in parte sovrapposto nella zona di fondovalle ai depositi alluvionali, è stato rimodellato con estesi terrazzamenti ed utilizzato a scopo agricolo. Questo versante ha un'acclività decisamente più marcata del precedente, superando mediamente il 100% nel tratto sommitale, ove il substrato roccioso è pressoché affiorante, per poi degradare dolcemente a valle in corrispondenza del paleoaccumulo.

Gli affioramenti nella zona in esame sono riferibili strutturalmente alla parte superiore cretaceo-terziaria della copertura sedimentaria in facies delfinese-provenzale dei massicci cristallini esterni delle Alpi, e appartengono all'unità litostratigrafica del Flysch di Ventimiglia, noto anche come Grès d'Annot³. Nell'ambito del Flysch, si possono distinguere tre diversi complessi litologici, con età Eocene inf. - Eocene medio-sup., costituiti rispettivamente da calcari arenacei e marnoso arenacei, che affiorano a NO di Pigna, da arenarie in grossi banchi, a N di Pigna e a S di Castel Vittorio, da arenarie, scisti argillosi, calcari marnosi e cristallini, che rappresentano l'associazione litologica prevalente nell'area investigata.

Gli strati mantengono generalmente direzione costante NE-SO e immersione SE, superando di rado un'inclinazione di 20-30°. Un tale assetto fa sì che gli strati siano disposti con giacitura indifferente e/o a lieve franapoggio in corrispondenza del versante destro, e indifferente e/o a reggipoggio lungo il versante orografico sinistro. È stata individuata una lineazione tettonica a grande scala, che attraversa Pigna con direzione NO-SE, riconducibile ad una faglia diretta.

Nel complesso le rocce calcaree, calcarenitiche e calcareo-marnose, presentano fratture normali alla disposizione giaciturale, e sono pertanto classificabili come semipermeabili per fratturazione. Le argilliti e gli argilloscisti si sono deformati in maniera più plastica, e mantengono caratteristiche di impermeabilità. Il versante sinistro del Nervia presenta alternativamente terreni permeabili ed impermeabili. Ciò favorisce l'emergenza di più falde imprigionate

³ M. VANOSI, L. CORTESOGNO, B. GALBIATI, B. MESSIGA, G. PICCARDO, R. VANNUCCI, *Geologia delle Alpi liguri: dati, problemi, ipotesi*, Mem. Soc. Geol. It., 28, 1986, pp. 5-75.

in diversi punti per variazioni laterali di permeabilità, in corrispondenza di incisioni nel versante. Nel tratto analizzato sono state identificate due sorgenti perenni di poca rilevanza, mentre a monte dell'area esistono numerose manifestazioni sorgive.

3. - Caratteri chimico-fisici.

Prima di sgorgare in superficie, l'acqua compie un percorso più o meno lungo nel sottosuolo, attraversando rocce che la arricchiscono di sali. Le caratteristiche chimiche, quindi, saranno testimoni del tipo di formazione geologica incontrata. Anche la temperatura ha un ruolo importante: più è elevata, maggiore sarà il suo potere solvente. L'aumento del tempo di permanenza dell'acqua nel circuito idrotermale provoca un effetto analogo.

La sorgente di Pigna ha una portata di 5 l/s e una temperatura di 25 °C, che variano durante le stagioni al massimo del 4%. La durezza e il residuo fisso (a 180 °C), che sono direttamente proporzionali al contenuto salino delle acque, risultano rispettivamente di 21.8° fr. e di 0.92 g/l, mentre la conducibilità elettrica e il pH sono di 1.3 mho/m e di 7.6. I principali ioni che si trovano in soluzione sono riportati nel seguente prospetto:

Componenti principali del residuo salino delle acque della sorgente di Pigna.

Sodio	250	Cadmio	assente
Potassio	8.1	Cloro	202
Calcio	64	Solfato	272
Magnesio	14	Silice	21
Ferro	tracce	Fluoro	1.5
Manganese	assente	Iodio	—
Rame	assente	Bromo	—
Zinco	tracce	Bicarbonato	—
Litio	0.79	Nitrito	tracce
Bario	—	Fosfato	—
Piombo	assente		

Il sodio e gli anioni cloro e solfato sono i più abbondanti (200-270 mg/l); la quantità totale di calcio e magnesio è di circa 80 mg/l e il valore del silice ammonta a 21 mg/l.

Dalle caratteristiche chimiche, le acque risultano di tipo cloruro-solfato-alcaline. Se ci si basa su criteri strettamente termici (Tab. 1), la sorgente è di tipo ipotermale⁴. Le acque sono totalmente vadose – non vi sono ragioni geologiche in senso contrario – e la loro termalità è ad opera del flusso geotermico. Avendo una temperatura superiore di 10 °C di quella media superficiale (15 °C), non conservano la temperatura più bassa della zona di ricarica, situata a quota più elevata, e acquistano calore dalle rocce attraversate nel loro percorso.

Tab. 1 - Classificazione delle sorgenti termominerali, per un valore massimo della temperatura media superficiale T_0 di 34 °C.

Sorgente		Temperatura
fredda		inf. a T_0 e inf. a 20 °C
subtermale		sup. a T_0 , ma inf. o uguale a 20 °C
termale	ipotermale	sup. a T_0 e a 20 °C, ma inf. a 34 °C
	mesotermale	sup. a 34 °C, ma inf. a 40 °C
	omeotermale	fra 34 °C e 38 °C
	ipertermale	sup. o uguale a 40 °C, ma inf. a 50 °C
acrotermale		da 50 °C a 100 °C e più
di vapore d'acqua		fumarole, soffioni, ecc.

Una stima della temperatura dell'ultima interazione fra l'acqua e le rocce, avvenuta nella parte più calda e quindi più profonda del circuito idrotermale, può essere fatta utilizzando il metodo di geotermometria basato sul contenuto in silice (in ppm). Nella roccia porosa satura, dopo un certo periodo di tempo e ad una data temperatura, si stabilisce un equilibrio della soluzione. Non tenendo conto della reciproca influenza che possono avere le varie

⁴ A. DESIO, *Geologia Applicata all'Ingegneria*, Milano, Hoepli, 1973.

sostanze disciolte nelle acque nei confronti della solubilità, secondo l'equazione di van't Hoff, risulta che il logaritmo della costante di equilibrio è funzione lineare dell'inverso della temperatura. Su questi principi si basa il geotermometro per la silice⁵, che applicato alla sorgente di Pigna fornisce una temperatura di equilibrio di 33 °C per la soluzione di calcedonio e di 66 °C per il quarzo (fig. 2).

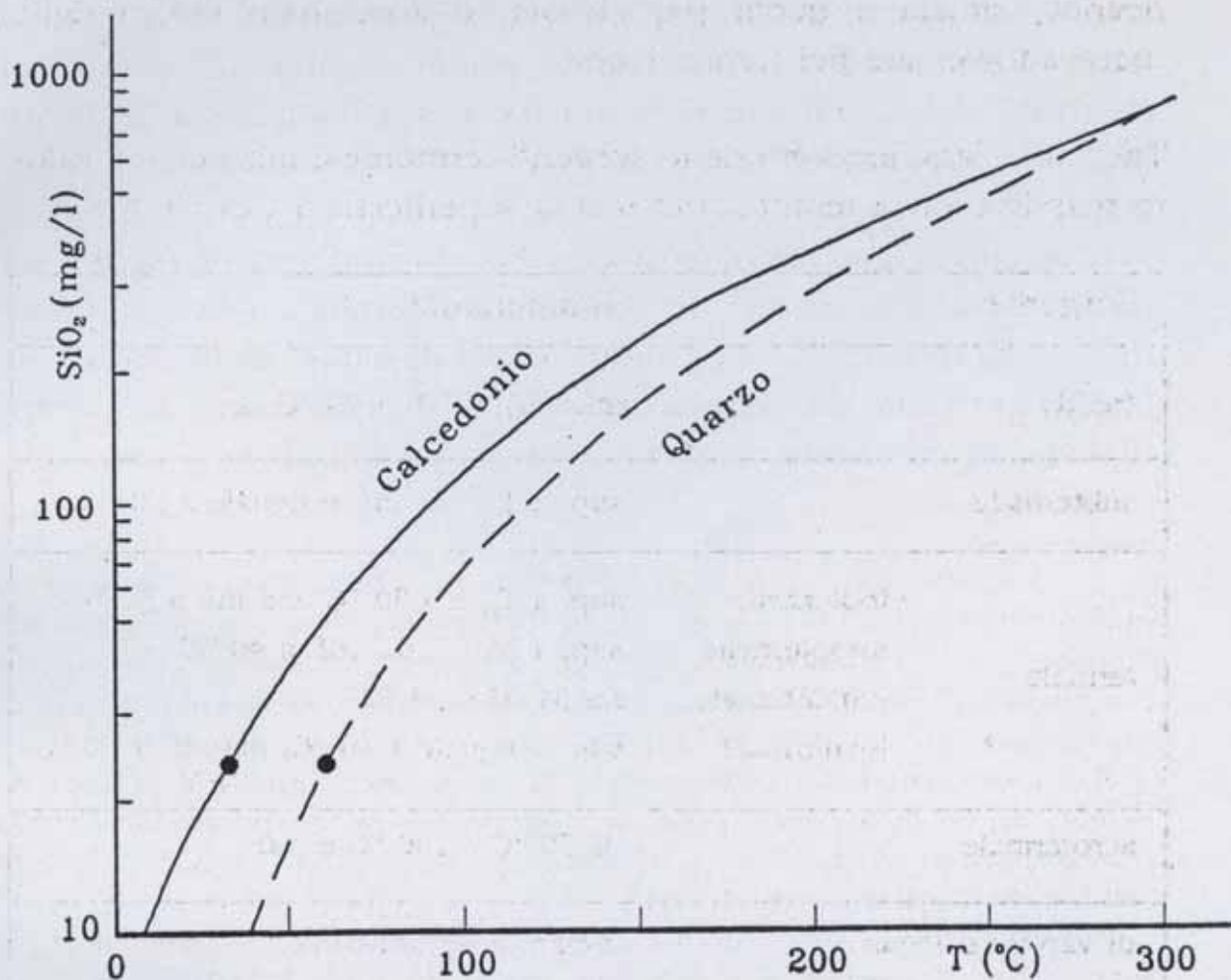


Fig. 2 - Curve di solubilità del calcedonio e del quarzo con la temperatura. I punti indicano i valori relativi alla sorgente di Pigna.

⁵ La temperatura è data dalle seguenti espressioni:

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{1032}{4.69 - \log \text{SiO}_2} - 273$$

per il calcedonio, e

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{1315}{5.205 - \log \text{SiO}_2} - 273$$

per il quarzo.

Questo geotermometro presuppone l'esistenza di equilibrio alle temperature dell'acquifero fra la silice disciolta e i minerali ad essa associati. Il grado di acidità della soluzione può rivestire un ruolo importante. Ulteriori inconvenienti possono essere dati dal diverso grado di solubilità posseduto dai polimorfi. La solubilità della silice amorfa è infatti considerevolmente maggiore di quella del calcedonio microcristallino, il quale, a sua volta, è più solubile del quarzo⁶. Diverse misure eseguite con questo metodo hanno comunque stabilito che le stime ottenute utilizzando la solubilità del calcedonio possono ritenersi affidabili per temperature non superiori a 100 °C e sino a 250 °C utilizzando il quarzo⁷.

Il secondo geotermometro che è stato applicato è basato sui rapporti Na/K e Ca/Na⁸. La temperatura fornita da questo metodo⁹ risulta di circa 77 °C. Questo valore di temperatura dell'acquifero di provenienza delle acque termali è decisamente più attendibile; una diluizione da parte delle acque superficiali, come fan-

⁶ A.H. TRUESDELL, *Summary of section III, geochemical techniques in exploration*, Proc. 2nd U.N. Symp. on the Development and Use of Geothermal Resources, vol. 1, Washington, 1976, pp. 53-79; P.T. KOLESAN, J.V. DEGRAFF, *A comparison of the silica and Na-K-Ca geothermometers for thermal springs in Utah*, Geothermics 6, 1978, pp. 221-226.

⁷ G. BUNTEBARTH, 1984. *Geothermics*, Berlin, Springer Verlag, 1984; V. PASQUALE, A. BALBI, G. CASALE, F. SALVATORE, *Indagine geotermica sul settore sudoccidentale della pianura padana*, Atti del V Convegno del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, CNR, Roma, 1986, pp. 1177-1187.

⁸ R.O. FOURNIER, A.H. TRUESDELL, *An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters*, Geochim. et Cosmochim. Acta 37, 1973, pp. 1255-1276.

⁹ La temperatura del geotermometro Na-K-Ca è data dall'espressione:

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{1647}{2.24 + F(T)} - 273,$$

dove

$$F(T) = \log \left\langle \frac{\text{Na}}{\text{K}} \right\rangle + \beta \log \left\langle \frac{\sqrt{\text{Ca}}}{\text{Na}} \right\rangle$$

con i simboli chimici rappresentanti le concentrazioni molari delle sostanze e β che vale 4/3 o 1/3, a seconda che l'equilibrio della soluzione venga raggiunto rispettivamente sotto o sopra i 100 °C.

no sopprime i bassi valori forniti dal geotermometro SiO_2 , ha uno scarso effetto sui risultati di questo metodo, in quanto il contenuto in calcio è molto inferiore a quello del sodio. Fenomeni di precipitazione per raffreddamento da parte di acque superficiali possono aver influito maggiormente sulla concentrazione della silice. Un'altra possibile interpretazione è che parte della silice possa essersi depositata in concrezioni durante la risalita. In ogni caso, considerando una media delle stime fornite dai due geotermometri, si può assumere con buona approssimazione una temperatura dell'ordine di $55\text{ }^\circ\text{C}$ per le acque profonde del circuito idrotermale.

4. - **Indagini geofisiche.**

Una campagna di prospezione geofisica è stata eseguita, allo scopo di identificare le strutture geologiche che controllano la venuta a giorno delle acque termali. Sono stati impiegati la sismica a rifrazione e un metodo elettromagnetico denominato georadar. Quest'ultimo, in particolare, ha fornito utili dati sulla struttura delle prime decine di metri di terreno attorno alla sorgente.

Prospezione sismica - La fig. 3 mostra la disposizione delle linee sismiche a rifrazione rispetto alla sorgente termale e i risultati della prospezione. Le linee AB e CD sono disposte longitudinalmente ai terrazzamenti presenti sulla riva destra del torrente, e la linea EF è sub-parallela alle precedenti, ma sulla riva opposta. I dati ottenuti sono interpretabili in termini di strati con caratteristiche fisico-meccaniche differenti:

- uno strato di terreno vegetale e/o detrito eluvio-colluviale, prevalentemente siltoso-sabbioso, con spessore massimo di 3.6 m e velocità dell'onda longitudinale di 0.3-0.4 km/s;
- una coltre di detrito colluviale e/o alluvionale discretamente compattato, con granulometrie eterogenee e ben assortite, spessore massimo di 8.3 m e velocità di 0.5-0.8 km/s;
- un substrato roccioso con velocità che variano da 1.6 km/s, in corrispondenza della parte più fratturata e/o alterata, a 2.6 km/s. Tali caratteristiche sono correlabili a quelle del Flysch affiorante.

Metodo georadar - Questo sistema di prospezione continua del sottosuolo, introdotto solo a partire dagli anni settanta, potrebbe essere considerato l'equivalente elettromagnetico dei sistemi a singola traccia acustica, impiegati per scandagliare il fondo dei mari. Esso si presta a molteplici usi in diverse operazioni in campo geognostico, per profondità di indagine dell'ordine dei 20-30 metri¹⁰. La propagazione degli impulsi elettromagnetici nel sottosuolo è funzione delle caratteristiche dielettriche, che a loro volta dipendono dalla litologia, permeabilità, porosità, conducibilità, pressione e temperatura¹¹. La Tab. 2 riporta la costante dielettrica relativa e la conducibilità di alcuni materiali.

Tab. 2 - Conducibilità e costante dielettrica relativa ϵ_r di materiali più comuni.

Materiali	σ mho/m	ϵ_r
Aria	0	1
Acqua	$10^{-4} - 3 \cdot 10^{-2}$	81
Acqua marina	4	81
Basalto	10^{-2}	8
Calcare	$2.5 \cdot 10^{-2}$	8
Ghiaccio	10^{-3}	4
Granito	10^{-8}	5
Argilla	$10^{-1} - 1$	8-12
Sabbia	$10^{-4} - 10^{-2}$	30
Limo	$10^{-3} - 10^{-2}$	10
Arenaria	$4 \cdot 10^{-2}$	6
Permafrost	$10^{-5} - 10^{-2}$	4-8
Ferro	10^6	1
Rame	$5.8 \cdot 10^7$	1

¹⁰ R.M. MOREY, *Continuous subsurface profiling by impulse radar*, A.S.C.E. Proceedings of Engineering Foundation Conference on Subsurface Exploration for Underground Excavations and Heavy Constructions, 1974; A. PEZZATI, N. TOSTO, E. BRACCI, *Indagini geognostiche con metodo radar e meccanico - una applicazione nella galleria 'Bastardo' della linea ferroviaria Parma - La Spezia*, Ingegneria Ferroviaria, 1985, pp. 774-785.

¹¹ La teoria della trasmissione degli impulsi elettromagnetici, legata a quella della propagazione delle onde elettromagnetiche, viene trattata seguendo le leggi dell'ottica geometrica. Se si trasmettono impulsi elettromagnetici a un materiale

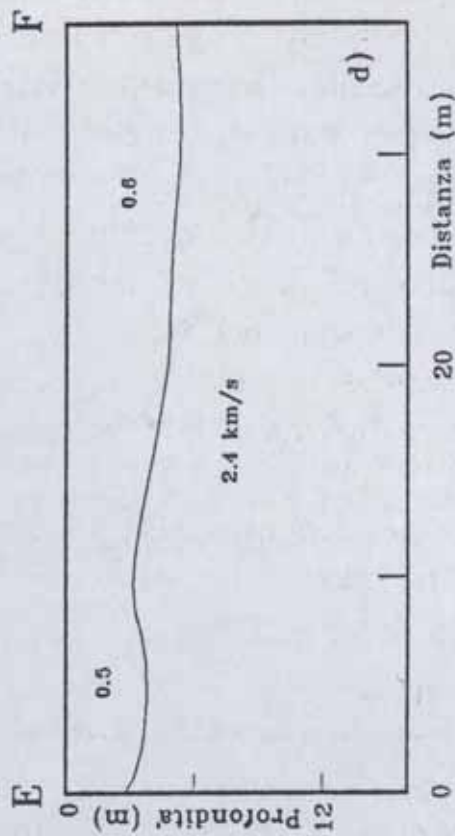
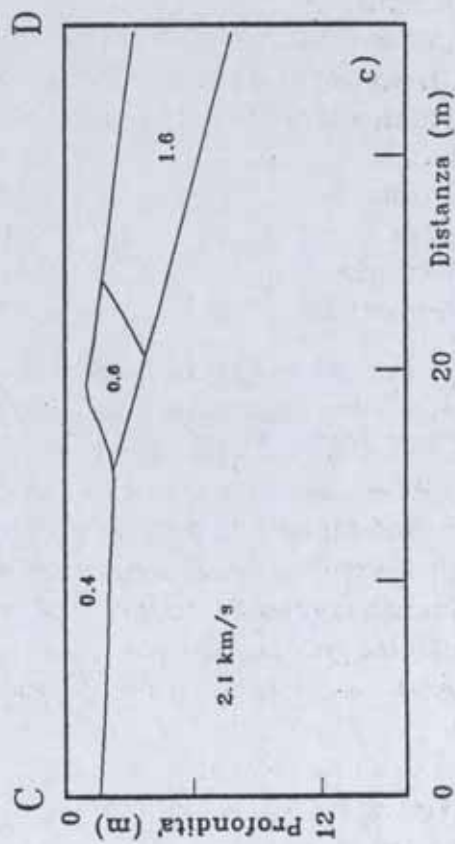
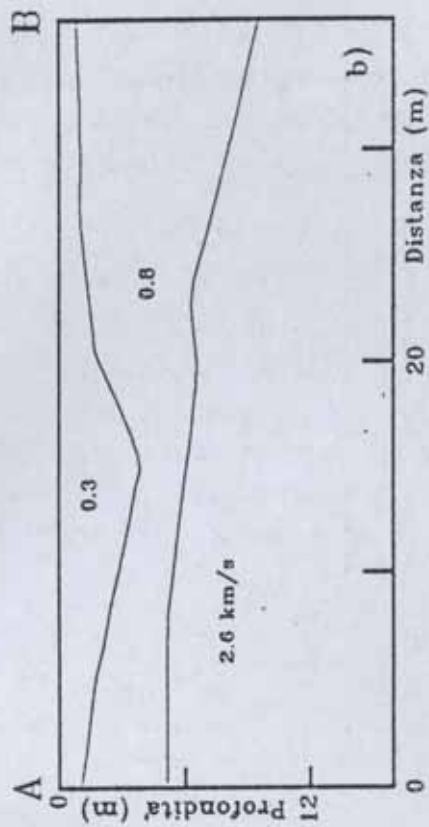
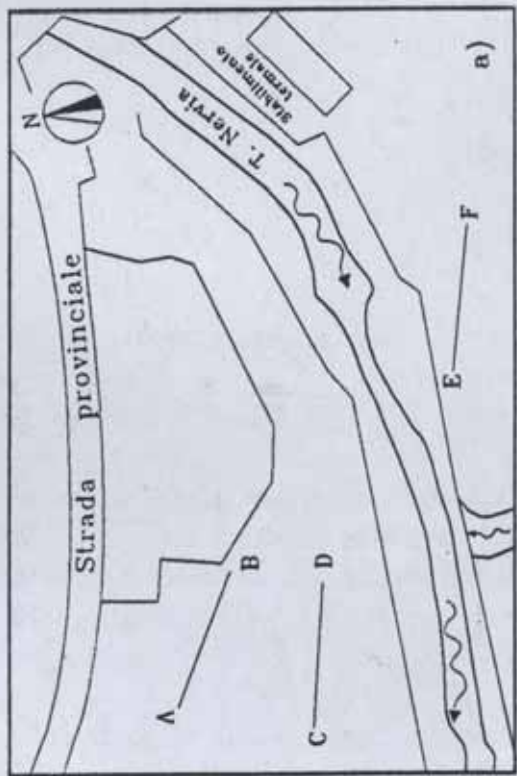


Fig. 3 - Ubicazione delle linee sismiche (a) e sezioni interpretative (b-d).

In zone dove non era nota la velocità, è stata usata una tecnica simile a quella della sismica a riflessione a copertura multi-

costituito da due strati dielettricamente differenti, parte dell'energia degli impulsi viene dispersa, parte viene riflessa in corrispondenza delle superfici di discontinuità e la restante continua a propagarsi attraverso il secondo strato. Il coefficiente di riflessione è dato da:

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1},$$

dove Z_1 e Z_2 rappresentano l'impedenza dei due mezzi, e r^2 è la potenza di riflessione. La riflessione sarà tanto più forte quanto più il contrasto fra l'impedenza dei due strati è elevata (Z_2 maggiore di Z_1). La capacità del radar di captare un'onda riflessa di potenza P_r , se la potenza trasmessa è P_t , è denominata sensibilità S , ed è data da:

$$S = \frac{P_t}{P_r}$$

che generalmente è espressa in decibel, cioè

$$S = 10 \ln \left\langle \frac{P_t}{P_r} \right\rangle$$

La sensibilità dipende anche dal guadagno dell'antenna G_a , che è direttamente proporzionale al quadrato dell'apertura A dell'antenna, ed è inversamente proporzionale al quadrato della lunghezza d'onda λ :

$$G_a = \frac{4 \pi A^2}{\lambda^2}$$

Naturalmente, la sensibilità deve sempre essere superiore alla quantità di energia dispersa altrimenti non si registrerà alcun evento riflesso.

La profondità della superficie del riflettore è determinata dal tempo doppio di riflessione che dipende dalla velocità di propagazione e varia con la costante dielettrica del mezzo. Al fine di calibrare il sistema radar con una certa accuratezza, si è misurato, in corrispondenza dei profili sismici, il tempo di riflessione t del basamento roccioso, e ricavata la velocità di propagazione nel mezzo con

$$v = \frac{2h}{t},$$

dove h è la profondità dell'interfaccia riflettente. La costante dielettrica relativa del materiale sarà data dalla relazione:

pla¹². Allontanando le antenne (ricevente e trasmittente) dalla loro posizione ravvicinata originaria, in linea retta e con incrementi di distanze uguali per mantenere sempre lo stesso punto riflettente, l'apparecchiatura di misura utilizzata è costituita da un'unità centrale, che genera, ad intervalli di 20 ns, impulsi elettromagnetici e da un'antenna a frequenza 100 MHz, costituita da un elemento trasmettitore e da un ricevitore. L'attenuazione nella propagazione delle onde dipende dalla conducibilità del mezzo e dalla frequenza con la quale si esegue la prospezione; frequenze basse permettono una maggiore penetrazione, ma una conseguente perdita di risoluzione.

I risultati ottenuti lungo un profilo di circa 50 m situato a est della sorgente sono riportati in fig. 4, la quale mostra la geometria delle discontinuità individuate. Adottando un fondo scala di 400 ns e una costante dielettrica pari a 7.6, la profondità di inda-

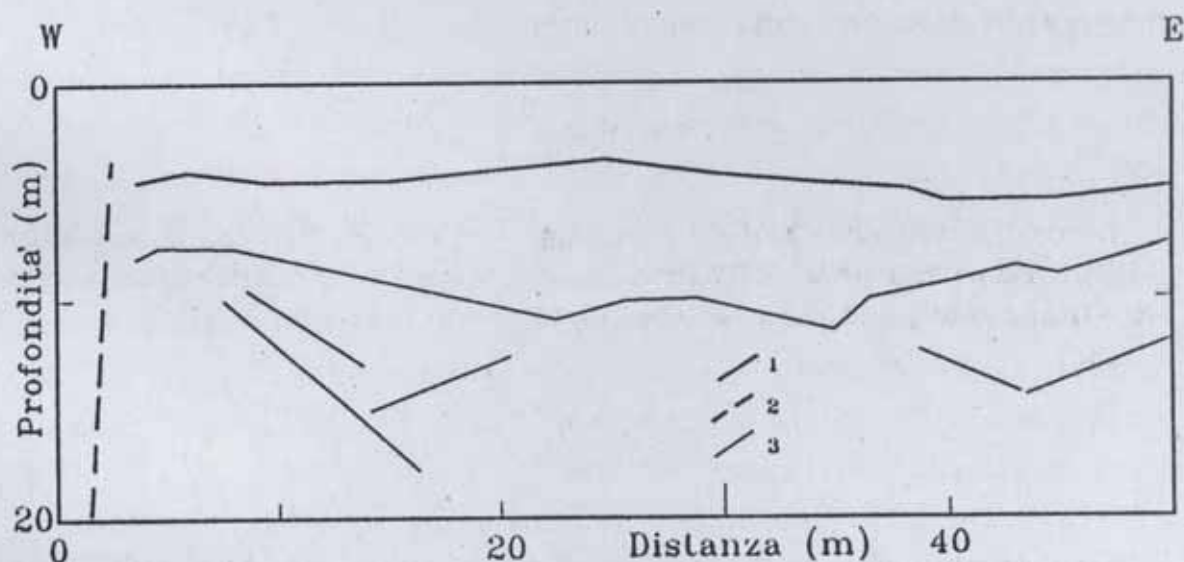


Fig. 4 - Principali discontinuità individuate lungo il profilo georadar. 1 - Substrato roccioso; 2 - linea di faglia; 3 - stratificazioni e discontinuità più evidenti.

$$e_r = \left(\frac{c}{v}\right)^2,$$

con c velocità di propagazione della luce nel vuoto, che fornisce indicazioni sul tipo di materiale attraversato.

¹² P. ULRIKSEN, *Application of impulse radar to civil engineering*, Department of Engineering Geology, University of Technology, Lund (Sweden), Doctoral Thesis, 1982.

gine è stata di circa 20 metri. A circa 5 m si può osservare la morfologia del tetto roccioso data probabilmente da superfici di stratificazione con debole pendenza. Più in basso, pur risultando il segnale decisamente meno intenso a causa di fenomeni di dispersione, si possono osservare alcune discontinuità associate a fratturazione dell'ammasso roccioso. All'estremo orientale del profilo si identifica una discontinuità subverticale ricollegabile alla faglia con direzione NO-SE rilevata in superficie. Il suo rigetto verticale, valutabile intorno ai 15-20 m, trova riscontro nel salto che l'acqua del torrente Nervia deve compiere e nell'aspra morfologia dell'area adiacente all'abitato di Castel Vittorio.

5. - Conclusioni.

Il sistema idrotermale di Pigna appartiene ad un circuito termale che interessa strati spessi alcune centinaia di metri. L'area di ricarica del serbatoio è verosimilmente ubicata alcuni chilometri a nord e a ovest di Pigna, nella zona montuosa di affioramento del complesso calcareo-arenaceo, che culmina nel monte Torraggio (1972 m s.l.m.) a nord, e affiora a nordovest di Pigna, lungo la valle del rio di Muratone fino ad una quota minima di circa 300 m. Questo complesso ha una quota 500-800 m mediamente più elevata della sorgente e, essendo densamente fratturato e in parte carsificato, offre un'importante via di discesa dell'acqua fino alla profondità del serbatoio idrotermale.

Per stimare la profondità del serbatoio occorre avere informazioni sul flusso di calore superficiale dell'area. Al presente, gli unici dati disponibili per la Liguria occidentale sono quelli relativi ad un pozzo geotermico nei pressi di Savona, che indicano un valore di flusso di calore di circa 80 mW/m^2 .¹³ Siccome la provincia geotermica di appartenenza è la stessa, questo valore può essere esteso anche all'area di Pigna. Attribuendo alle formazioni calcaree interessate dal circuito idrotermale un valore medio di

¹³ V. PASQUALE, M. VERDOYA, P. CHIOZZI, *Climate change from meteorological observations and underground temperatures in northern Italy*, Tectonophysics, 1996 (inviato per la stampa).

conducibilità termica pari $2.5 \text{ W}/(\text{m K})$, la profondità massima del serbatoio dovrà essere attorno ai 750 m. Questo è vero se, dopo un tempo di permanenza più o meno lungo necessario alla mineralizzazione ed al riscaldamento, l'acqua non segue percorsi irregolari e non incontra livelli permeabili superficiali contenenti acque relativamente fredde, tali da alterare le caratteristiche chimico-fisiche originarie.

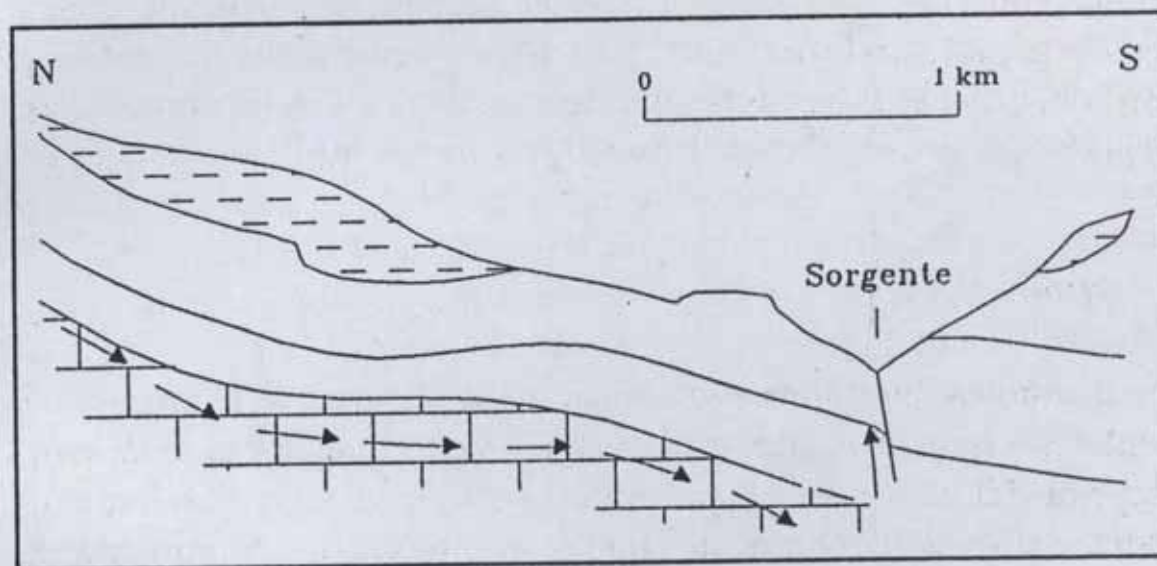


Fig. 5 - Sezione geologico-interpretativa del circuito idrotermale. Per la legenda delle litologie vedere fig. 1.

I metodi di indagine indiretta adoperati per stimare la temperatura del serbatoio hanno dato quindi risultati accettabili. La temperatura di emergenza resta comunque un dato importante, atto in prima misura a valutare la possibilità di un eventuale impiego a livello energetico del fluido sorgivo. Le indagini geofisiche, integrate con i dati idrogeologici, hanno individuato il condotto di risalita del sistema idrotermale. La sezione geologica in fig. 5 tenta di fornire un modello di circolazione profonda che vede l'acqua giungere in superficie attraverso una frattura, che mette in comunicazione diretta il serbatoio con la sorgente. Un sistema di fratture, associato ad una faglia diretta sub-verticale, con rigetto di circa 20 m, orientata NO-SE, probabilmente influisce su tale sistema di circolazione.

È comunque prevedibile una perdita di calore durante la risalita al contatto con le rocce attraversate. Per poter sfruttare appie-

no le potenzialità energetiche del serbatoio, sarebbe quindi opportuno estrarre l'acqua calda alla profondità dell'acquifero, praticando pozzi artesiani o con pompaggio, i quali, coadiuvati da adeguati scambiatori termici, fornirebbero l'acqua calda con la minima dispersione di calore.

La sorgente è in grado di erogare acqua a temperatura e portata sufficientemente elevate per soddisfare le esigenze estrattive. L'utilizzo delle acque a scopo terapeutico non compromette un eventuale impiego parallelo delle stesse negli usi diretti. Le prospettive energetiche in questa direzione sono in effetti svariate, anche se la realizzazione di un impianto non è sempre possibile in quanto, in sede di sondaggio, possono emergere problemi di carattere geologico che possono compromettere la fattibilità del progetto.

Ulteriori sviluppi in termini di sfruttamento non potranno prescindere da una approfondita individuazione:

- di eventuali condotti secondari e della loro orientazione;
- dell'esatta delimitazione del bacino di alimentazione della sorgente;
- della raccolta periodica di dati sulle caratteristiche termiche e chimiche dell'acqua;
- dall'esame dei rapporti fra le varie sorgenti eventualmente esistenti nelle immediate vicinanze.

R É S U M É

Sur la base d'une étude préliminaire géologique et géomorphologique une recherche géothermale a été développée pour vérifier l'origine et le potentiel du système idrothermale de la source de Pigna (Ligurie occidentale). La température du réservoir est de 55 °C et les résultats de recherches géophysiques indiquent un schéma à circulation profonde dans lequel l'eau météorique pénètre presque à une profondeur de 750 m et revient à la surface par un système de failles. La zone de réchargement est localisée dans les roches calcaires du Flysch de Vintimille. Le potentiel du réservoir permet son exploitation au niveau énergétique et thérapeutique avec des conséquences sur les activités socio-économiques locales.

S U M M A R Y

On the basis of a preliminary geological and geomorphological study, a geothermal survey has been carried out in order to ascertain the origin and the potential of the thermal water system of the Pigna spring (western Liguria). Geothermometry methods indicate that the average temperature of the reservoir is 55 °C. Results of geophysical investigations are consistent with a deep circulation scheme in which the meteoric water penetrates to a maximum depth of 750 m and comes to the surface through a fault system. The recharge zone could be located a few kilometers north and west of the spring, where calcareous rocks belonging to the Ventimiglia Flysch unit crop out. The potentiality of the reservoir is such that the thermal fluids could be exploited both in energetic and therapeutic terms, yielding new developments in the social-economic activities of the area.