

CARATTERI GEOTERMICI DELLA ZONA DI « ACQUI TERME - VISONE » E INFLUENZA DEL TIPO DI PLAGIOCLASI SULLA COMPOSIZIONE CHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE (PIEMONTE MERIDIONALE - ITALIA)

GIOVANNI ARNONE

Servizio Geologico d'Italia, Largo S. Susanna 13, 00187 Roma

RIASSUNTO. — Nel presente lavoro si applicano sia il geotermometro Na-Ca-K (ECKSTEIN, 1975) sia il geotermometro anortite-albite (BOSCH e altri, 1974) alle acque sotterranee dell'acquese, costituite da acque salate o salmastre di origine marina mescolate con acque superficiali di origine meteorica.

In profondità le temperature del ramo finale caldo, ottenute mediante l'utilizzazione dei due geotermometri Na-Ca-K e anortite-albite, nel sistema misto fra acque calde salate e acque fredde sono coincidenti e risultano di 135° C.

Le temperature di 181° C e 200° C relative alla sorgente « La Bollente », determinate con il geotermometro anortite-albite, sono corrispondenti a quelle ottenute con altri tipi di geotermometri.

Si evidenzia che l'albitizzazione dei plagioclasti anortitici rappresenterebbe una delle possibili vie di accumulo di calcio nelle acque sotterranee della zona in esame.

In generale l'interazione acqua-roccia porta alla produzione di ioni di Ca²⁺, Na⁺, ecc. secondo i tipi di plagioclasti presenti nelle rocce e quindi eserciterebbe una certa influenza sulla composizione chimica delle acque sotterranee della zona in esame.

ABSTRACT. — In the present work it is studied the application of chemical geothermometers Na-Ca-K (ECKSTEIN, 1975) and anorthite-albite to the « Acqui Terme - Visone » (Piemonte) underground waters.

These consist of salty or brackish water of marine origin mixed with superficial waters of meteoric origin.

In depth the temperatures of the final hot member, obtained through the utilization of the Na-Ca-K and anorthite-albite geothermometers in the mixed system salt hot waters and cold waters, are coinciding and result to be 135° C.

The 181° C and 200° C temperatures referred to « La Bollente » spring, determined with the anorthite-albite geothermometer, are corresponding to these obtained with other types of geothermometers.

It is demonstrated that the albitization process

of plagioclasts could be one of the possible ways of Ca²⁺ accumulation in the underground waters of « Acqui Terme - Visone ».

The water-rock interaction causes in general the Ca²⁺, and Na⁺ ions types present within the rocks, therefore causing also a certain influence on the chemical composition of underground waters of the examined area.

Scopo del lavoro

Lo scopo del presente lavoro è di applicare alle acque sotterranee dell'acquese, costituite da acque salate o salmastre di origine marina mescolate con acque superficiali di origine meteorica, sia il geotermometro Na-Ca-K (ECKSTEIN, 1975) sia il geotermometro anortite-albite (BOSCH e altri, 1974).

Da una analisi comparata tra le temperature estrapolate dai predetti geotermometri e quelle relative ad altri tipi di geotermometri, si cercherà di interpretare la loro applicabilità in una zona quale quella di « Acqui Terme - Visone », che presenta caratteristiche idrogeologiche, idrochimiche e geologiche diverse rispetto a quelle dove gli stessi geotermometri sono stati utilizzati per la prima volta da ECKSTEIN (1975) e BOSCH e altri (1974).

Si indagheranno i meccanismi di acquisizione di ioni da parte dell'acqua per interazione con le rocce e la possibile influenza sulla composizione chimica delle acque sotterranee del bacino idrotermale di « Acqui Terme - Visone ».



Fig. 1. — Area in esame.

Inquadramento geologico e conoscenze geotermiche

L'area in esame (cfr. fig. 1) è compresa nei fogli geologici 69 « Asti », 70 « Alessandria », 81 « Ceva » e 82 « Genova » alla scala 1:100.000.

In base agli studi di superficie (FORCELLA e altri, 1973; CHIESA e altri, 1975), ai sondaggi geognostici (1 - Pozzo Tennis; 2 - Pozzo Savoia; 3 - Pozzo Fornace) eseguiti in periodi diversi (fig. 2), nel sottosuolo della zona delle emergenze termali è stata individuata, dall'alto verso il basso, la seguente successione litostratigrafica:

— Depositi alluvionali, rappresentati da ghiaie e sabbie (Olocene-Pleistocene), che affiorano lungo le valli dei torrenti Belbo, Erro e Orba e del F. Bormida; sabbie giallastre fossilifere, argille e argille marnose grigio-azzurrognole del bacino pliocenico di Asti, affiorano lungo tutto il bordo settentrionale della zona in esame da NW a SE.

— Depositi del Bacino Terziario Ligure-Piemontese, costituiti da un complesso sedimentario marino (Miocene-Oligocene) di no-

tevole spessore, trasgressivo sul basamento cristallino (pre-Cenozoico).

Le varie unità stratigrafiche composte da conglomerati, argille gessose, marne, sabbie, marne a Pteropodi, arenarie, calcari, calcareniti (Formazione di Visone - Acquitano) e conglomerati poligenici sono diffuse a Nord e a Sud dei depositi alluvionali attraversati dal F. Bormida.

— Complessi metamorfici del Gruppo di Voltri di età mesozoica costituiti da:

- a) associazione di rocce femiche e ultrafemiche a metamorfismo alpino;
- b) complesso di calcescisti con Pietre Verdi.

Le varie unità sono diffuse nelle estreme propaggini meridionali dell'area in oggetto.

— Cristallino di Valosio (pre-Triassico), costituito da gneiss occhiadini e micascisti gneissici, il quale affiora sotto forma di horst a pochi chilometri a Sud di Acqui Terme ed è legato ad un sistema di faglie subverticali di età post-miocenica, con direzione all'incirca ENE-WSW, E-W che nella zona meridionale, può essere NE-SW e verso il T. Erro NW-SE (ALLASINAZ e altri, 1971).

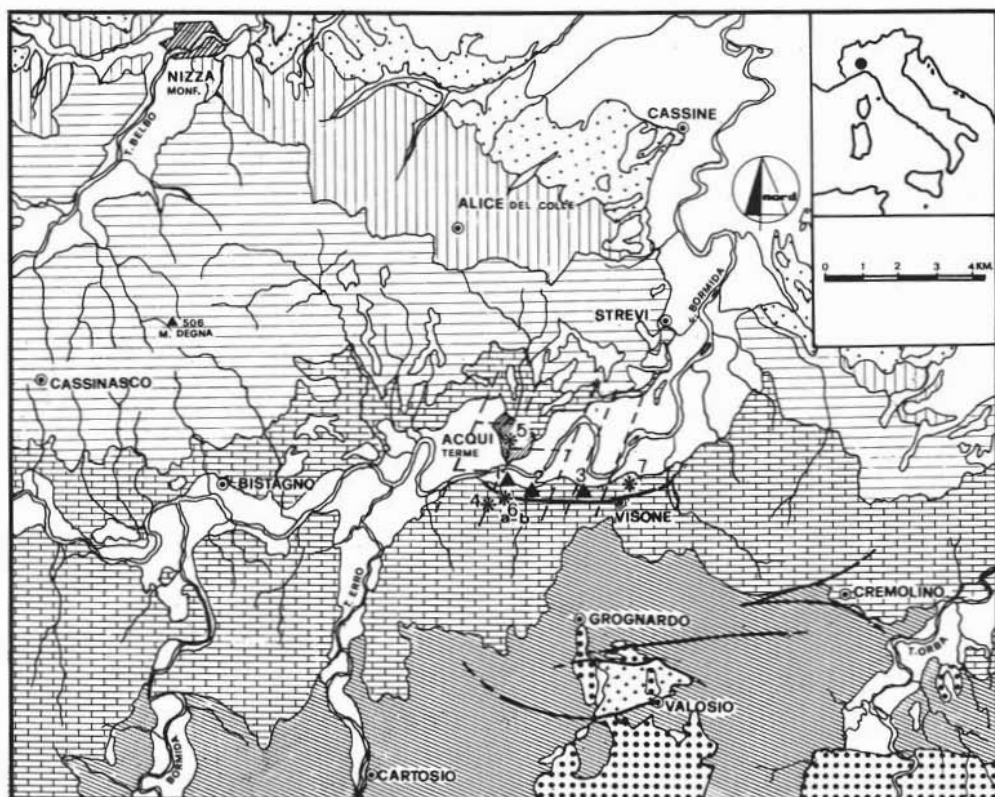
I sondaggi « Tennis » e « Savoia » hanno raggiunto, rispettivamente, una profondità di m 220 e m 199, dopo aver attraversato, nel tratto inferiore le ofioliti fratturate.

Il sondaggio « Fornace » ha raggiunto, a m 239 circa, i conglomerati poligenici riferibili all'Oligocene.

Il cristallino di Valosio al di sotto delle ofioliti del Gruppo di Voltri non è stato raggiunto dai sopra citati sondaggi, a causa della loro limitata profondità.

A mezzo indagini geofisiche (Compagnia Mediterranea di Prospezioni, 1966-68) al di sotto della copertura alluvionale pleistocenica, nella valle del F. Bormida, è stata accertata la presenza di due sistemi di faglie subverticali con direzione rispettivamente NNE-SSW ed E-W; le zone d'intersezione fra i due sistemi di faglie sono i punti in cui con maggior probabilità si determina la risalita delle acque termali.

L'approfondito studio idrogeologico, idrochimico, isotopico e idraulico nella predetta zona in questione ha evidenziato una buona potenzialità nel campo della bassa entalpia, mentre l'utilizzazione di diversi geotermo-



LEGENDA

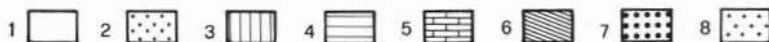


Fig. 2. — Schema geologico-strutturale dell'area in esame (Piemonte meridionale).

DEPOSITI QUATERNARI

1 Depositi alluvionali, rappresentati da ghiaie e sabbie (Olocene-Pleistocene).

DEPOSITI DEL BACINO PLIOCENICO DI ASTI

2 Sabbie giallastre, argille e marne argillose grigio-azzurre (Pliocene).

DEPOSITI MIO-OLIGOCENICI DEL BACINO TERZIARIO LIGURE-PIEMONTESE

3 Conglomerati, arenarie, sabbie, argille gessifere con lenti di gesso (Messiniano).

4 Marne argillose, sabbie, arenarie e conglomerati (Tortoniano-Serravalliano).

5 Marne a pteropodi, arenarie, marne, calcari e calcareniti (Langhiano-Aquitano).

6 Marne, arenarie, conglomerati poligenici (Oligocene).

COMPLESSO MESOZOICO DEI CALCESCISTI CON PIETRE VERDI

7 Calcescisti s.l., prasiniti s.l. e metagabbri; serpentiniti s.l.

BASAMENTO CRISTALLINO PRE-TRIASSICO

8 Formazione del T. Visone (Cristallino di Valosio), gneiss occhiadini e micascisti.

Segni convenzionali: faglie /; acque termali (sorgenti) *; acque termali (pozzi) ▲.

metri ha rivelato temperature intorno ai 200° C per il serbatoio profondo (BORTOLAMI e altri, 1980; BORTOLAMI e altri, 1982).

Valutazione delle temperature nel serbatoio profondo

Nel bacino idrotermale di « Acqui Terme - Visone », le emergenze termali, situate nella bassa valle del F. Bormida, connesse a due sistemi di faglie di direzione NNE-SSW e E-W, sono rappresentate nella fig. 2 da:

1 - Pozzo «Tennis»; 2 - Pozzo «Savoia»; 3 - Pozzo «Fornace»; 4 - Sorgente «Acqua Marcia»; 5 - Sorgente «La Bollente»; 6a - Fontanino dell'Acqua Tiepida; 6b - Lago delle Sorgenti; 7 - Sorgente «Caldana».

L'emergenza «La Bollente» e quella relativa al Lago delle Sorgenti, caratterizzate rispettivamente da una temperatura di 70° C con portata di 8,5 l/s e di 57° C con portata di 6,7 l/s, costituiscono le emergenze più

importanti del sistema idrotermale di «Acqui Terme - Visone».

Nella bassa valle del F. Bormida la sorgente «La Bollente» è situata in un horst delimitato da faglie che innalzano il basamento cristallino fino ad un centinaio di metri al di sotto del piano di campagna.

Per lo studio e l'interpretazione del chimismo delle acque calde sotterranee emergenti nell'area in questione sono stati utilizzati i risultati delle analisi chimiche eseguite per conto della Regione Piemonte (1980) (cfr. tab. 1), rappresentate nei diagrammi della fig. 3, e classificate come acque in prevalenza salmastre o salate di origine marina.

In particolare, l'acqua della sorgente «La Bollente» e della sorgente «Lago delle Sorgenti» sono classificate come cloruro sodico-solfato calciche con salinità di 2621 mg/l e di 2446 mg/l.

Le acque delle altre emergenze presentano una diluizione di vario grado da parte di un'acqua superficiale fredda a bicarbonati.

Tale processo di mescolamento è bene evi-

TABELLA 1

Analisi chimiche * (febbraio 1976) espresse in mg/l dei seguenti punti d'acqua:

EMERGENZE:	1	2	3	4	5	6a	6b	7
T °C	34,5*	37,8*	32,7*	18,3	70,5	38,2	56	22,5
pH	8,35	8,20	8,65	7,60	8,40	8,35	8,30	7,50
Cond. 10 ⁻³	3,08	2,95	2,36	2,49	2,95	2,95	3,22	2,62
Salinità	2462,00	2082,00	1720,00	1570,00	2621,00	2424,00	2446,00	2185,00
Na ⁺	741,00	644,00	556,00	478,00	764,00	750,00	750,00	667,00
K ⁺	18,00	10,00	10,00	11,00	20,00	20,00	18,00	18,00
Li ⁺	1,90	1,67	1,41	0,71	1,90	1,78	1,85	1,67
Rb ⁺	0,23	0,15	0,15	0,18	0,23	0,24	0,24	0,31
NH ₄ ⁺	tracce	ass.	ass.	tracce	ass.	ass.	tracce	tracce
Ca ⁺⁺	139,00	113,00	71,14	97,00	133,00	135,00	138,00	126,00
Mg ⁺⁺	10,80	6,00	3,50	13,00	33,00	ass.	2,00	ass.
Sr ⁺⁺	1,92	1,73	1,01	2,71	1,56	1,71	1,77	1,66
Cl ⁻	1136,00	994,00	823,00	738,00	1171,00	1203,00	1206,00	994,00
SO ₄ ⁻	309,00	231,00	172,00	145,00	364,00	204,00	236,00	279,00
CO ₃ ⁻	37,00	31,00	28,00	59,41	55,00	31,80	16,00	27,30
CO ₂ tot.	29,00	24,00	20,00	46,00	40,00	25,00	12,00	20,00
H ₂ S tot.	tracce	ass.	ass.	tracce	ass.	ass.	tracce	ass.
H ₂ BO ₃	40,00	36,40	36,00	15,30	42,00	42,00	44,00	36,40
SiO ₂	41,00	26,00	30,00	20,00	50,00	49,00	49,00	47,00
Q l/sec.	0,045	0,05	0,035	1,935	8,5	0,1	6,7	-

* Misura a bocca pozzo.

1 - Pozzo Tennis; 2 - Pozzo Savoia; 3 - Pozzo Fornace; 4 - Sorgente «Acqua Marcia»; 5 - Sorgente «La Bollente»; 6a - Fontanino dell'Acqua Tiepida; 6b - Lago delle Sorgenti; 7 - Sorgente «Caldana»

* Regione Piemonte, 1980.

denziato nella rappresentazione grafica (cfr. fig. 3) delle analisi chimiche.

Per la stima delle temperature in profondità dell'area in questione sono stati applicati il geotermometro empirico Na-Ca-K

(ECKSTEIN, 1975), basato sulle concentrazioni ipotetiche estrapolate in un sistema misto fra acque calde e acque fredde (ECKSTEIN, 1975) ed il geotermometro anortite-albite, basato sul processo di albitizzazione (BOSCH e altri, 1974).

SALINITA' mg/l			TERMALITA'		
1500-2100	2100-2400	2400-2700	IPOTERM. 20°C - 35°C	TERMALI 35°C - 40°C	IPOTERM. > 40°C
3 (p)	2 (p)	1 (p)	1 (p) ●	2 (P) ●	5 (s) ●
4 (s)	7 (s)	5 (s)	3 (P) ●	6a (s) ●	6b (s) ●
		6a (s)	4 (s) ●		
		6b (s)	7 (s) ●		

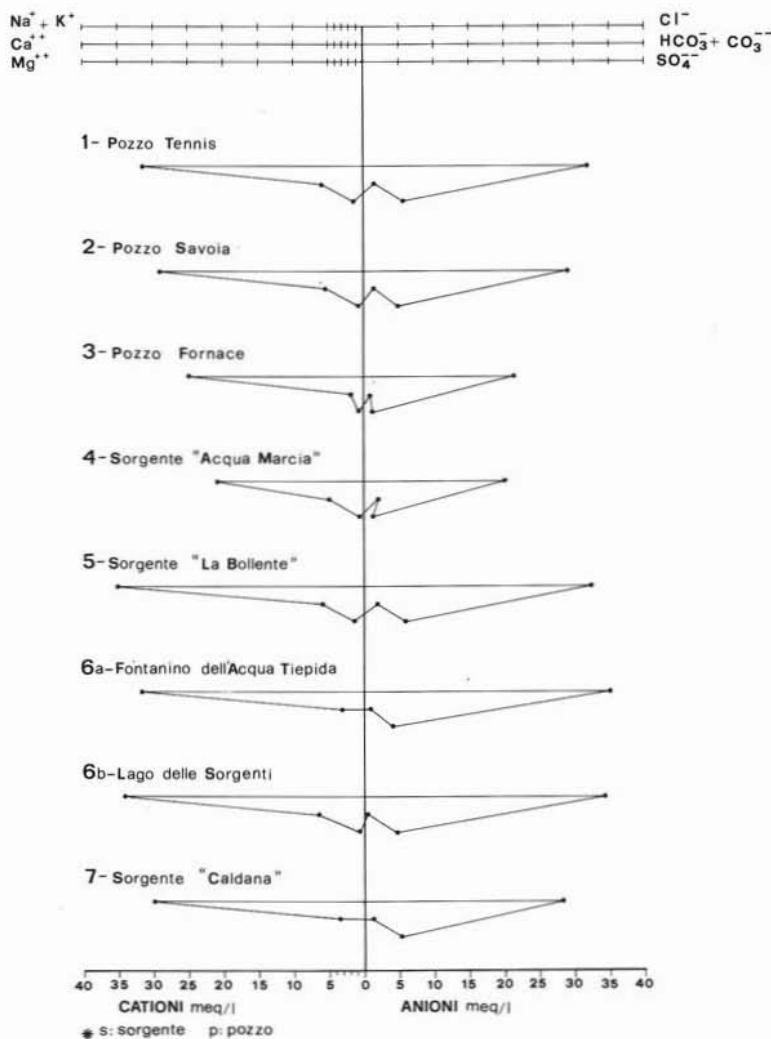


Fig. 3. — Rappresentazione grafica delle analisi chimiche.

TABELLA 2

Composizione chimica di quattro sorgenti termali del Piemonte meridionale, e due estrapolazioni, nel sistema misto (fra acque fredde poco profonde e acque salate calde), delle composizioni ipotetiche del membro finale caldo delle acque sotterranee

Y	X								TX °C
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	SiO ₂	
	mg/l								
138	223,00*	-	1016,00*	32,00*	-	478,00*	1162,00*	76,00*	134*
135	220,00*	-	975,00*	31,50*	-	463,00*	1626,00*	74,00*	135*
70	140,00	6,10	764,00	20,00	55,00	364,00	1171,00	51,00	110
45+	138,00	3,65	750,00	18,00	27,50	236,00	1206,00	49,00	106
34	76,00	2,43	565,00	8,60	27,50	208,00	826,00	36,20	105
20	57,00	13,00	478,00	11,00	59,00	145,00	738,00	20,00	112

* = valori estrapolati; TY = temperature misurate; TX = temperature calcolate con il geotermometro Na-Ca-K con $\beta = 1/3$; + = BORTOLAMI e altri, 1982.

È bene mettere in evidenza che per quanto riguarda l'applicabilità dei geotermometri questi devono soddisfare alle sotto elencate condizioni e cioè che la composizione chimica all'emergenza di un circuito idrico deve riflettere l'equilibrio raggiunto in profondità e, conseguentemente, le condizioni di temperatura alle quali questo equilibrio è stato stabilito, se si ammette che la risalita dell'acqua sia sufficientemente rapida e che non ci siano fenomeni di mescolamento con acque di superficie.

Queste condizioni sembrano essere rispettate dalla sorgente « La Bollente » (BORTOLAMI e altri, 1982) e un po' meno dalla sorgente « Lago delle Sorgenti ».

Per le altre emergenze dell'area in studio abbiamo visto in precedenza attraverso le analisi chimiche e la loro rappresentazione grafica (cfr. fig. 3) che esistono fenomeni di mescolamento e quindi la temperatura stimata in profondità con il geotermometro Na-Ca-K corrisponderebbe a quella del ramo finale caldo, mentre la temperatura valutata con il geotermometro anortite-albite cadrebbe in un campo di stabilità anortite-albite in cui la temperatura media dei vari punti d'acqua dovrebbe corrispondere a quella stimata con il geotermometro Na-Ca-K.

1) Il geotermometro Na-Ca-K

Per la valutazione della temperatura in profondità a livello dell'acquifero profondo connesso alle emergenze termali dell'acquese, in considerazione delle condizioni idrogeologiche e idrochimiche della zona si è ritenuto opportuno applicare il geotermometro Na-Ca-K (1) con $\beta = 1/3$ nel sistema misto fra acque calde salate e acque fredde di circolazione poco profonda.

(1) FOURNIER e TRUESDELL (1973), studiando moltissime acque naturali trovarono che la temperatura alla quale è raggiunto l'ultimo equilibrio delle interazioni dell'acqua con la roccia può esprimersi, sulla base dei dati Na-Ca-K, mediante la relazione:

$$F_{(T)} = \lg Na/K + \beta \lg \sqrt{Ca/Na}$$

I simboli chimici rappresentano le concentrazioni molari dei singoli ioni e β è una costante e dipende dalla stechiometria della reazione da scegliere tra i valori di 1/3 o 4/3 a seconda che l'equilibrio finale acqua-roccia sia stato raggiunto sopra o sotto i 100° C.

Dal valore ottenuto, la temperatura dell'equilibrio finale, espressa in °C, può essere facilmente calcolata utilizzando l'equazione (SWAMBERG, 1974):

$$T \text{ °C} = \frac{1647}{2,24 + F_{(T)}} - 273,15$$

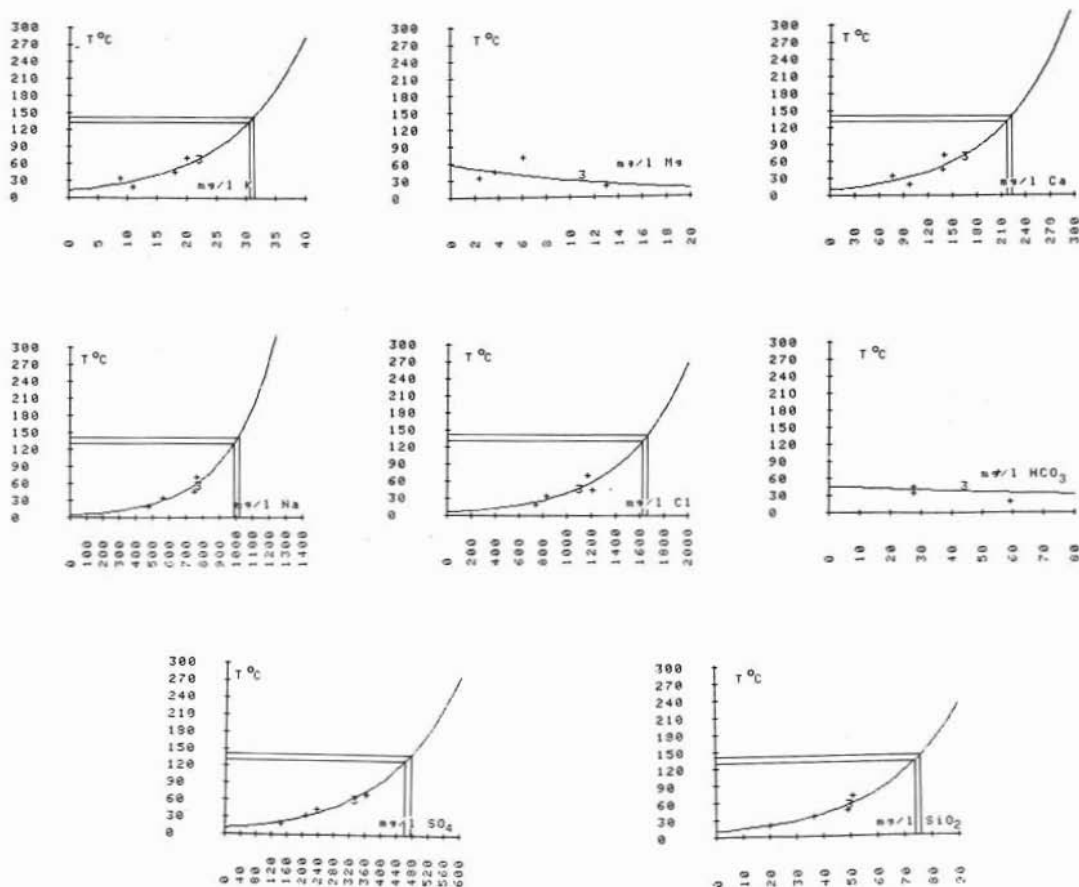


Fig. 4. — Curve di regressione esponenziale.

La temperatura del ramo finale caldo profondo delle acque sotterranee e la relativa composizione chimica ipotetica sono state determinate utilizzando un modello matematico statistico e cioè applicando la seguente funzione esponenziale (ECKSTEIN, 1975):

$$\ln y = \ln a + bx \quad (1)$$

Nella (1) a e b indicano i parametri della curva di regressione esponenziale per interpretare i dati sperimentali.

Le variabili x e y rappresentano rispettivamente le concentrazioni chimiche e le temperature misurate.

Come risulta nella tabella 2 e nella fig. 4 sono state effettuate due estrapolazioni chimiche ipotetiche del ramo finale caldo del serbatoio profondo.

Ad una prima estrapolazione con tempera-

tura $T_Y = 138^\circ \text{C}$ il geotermometro Na-Ca-K indicava, in corrispondenza, una temperatura di equilibrio $T_X = 134^\circ \text{C}$.

La composizione chimica fu estrapolata una seconda volta dove due temperature si approssimano $T_X = T_Y = 135^\circ \text{C}$.

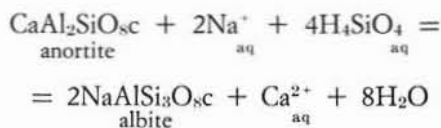
Conseguentemente si presume che il ramo finale caldo dell'acquifero profondo connesso alle emergenze del bacino «Acqui Terme - Visone» si troverebbe ad una temperatura di 135°C .

2) Il geotermometro anortite-albite

Il metodo è basato sull'equilibrio della soluzione anortite-albite.

Il processo di decomposizione dei plagioclasti che si verifica in corrispondenza delle rocce cristalline esistenti nel sottosuolo del-

l'area in esame, è connesso a paragenesi, a fenomeni idrotermali e avviene secondo la reazione:



Essendo i termini silicatici e l'acqua considerati puri, si possono porre uguale a 1.

Da quanto precede segue che la costante di equilibrio sarà:

$$K = \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{[\text{H}_4\text{SiO}_4]^4 [\text{Na}^+]^2}$$

(dove il segno [] rappresenta l'attività (2) degli ioni in soluzione).

Questa reazione è stata studiata sperimentalmente da ORVILLE (1972) a 700° C e per delle pressioni elevate.

Le costanti di equilibrio relative alle temperature più basse sono state calcolate a partire dai dati di ELGSON H.C. (1969).

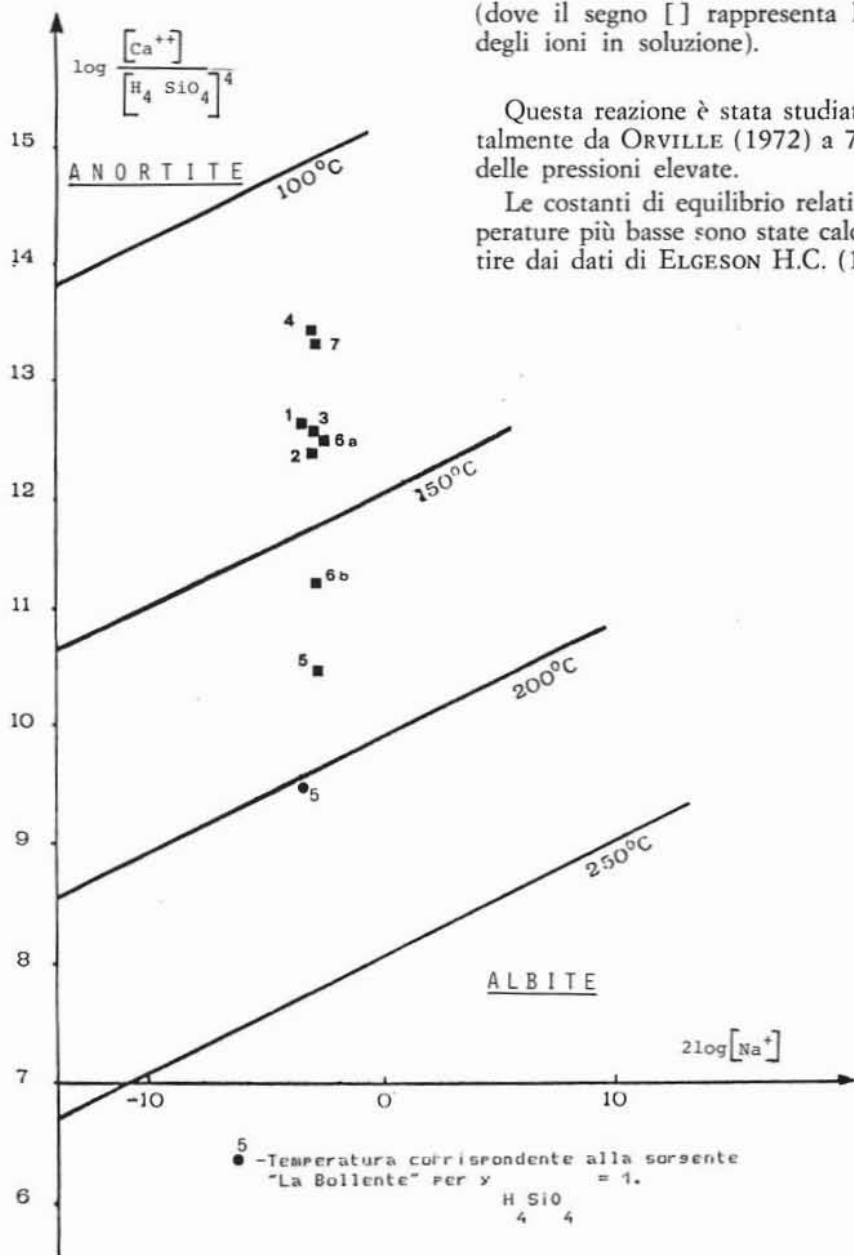


Fig. 5. — Campo di stabilità dell'albite e dell'anortite a 100° C e 250° C.

Si sono trovati così:

a 100° C	$lg K = 14,81$
a 150° C	$lg K = 12,09$
a 200° C	$lg K = 9,90$
a 250° C	$lg K = 8,07$

Nel diagramma corrispondente alla fig. 5 i punti rappresentativi delle acque termali della zona in studio sono riportati a destra della linea limitante i campi di stabilità dell'anortite e dell'albite, ad una temperatura tra i 135° C e 181° C.

Queste temperature rappresentano un minimo corrispondente all'ultimo stadio di equilibrio raggiunto tra le acque e le rocce.

Per la sorgente « La Bollente », posto il coefficiente di attività $Y_{H_2SiO_4} = 1$ come valore approssimato, la temperatura estrapolata risulterebbe di circa 200° C (3).

Il processo di albitizzazione oltre ad essere utilizzato come geotermometro, rappresenterebbe, come vedremo in seguito, una delle possibili vie di accumulo di calcio nelle acque sotterranee della zona in questione.

Influenza del tipo di plagioclasti sulla composizione chimica delle acque sotterranee

Numerosi studi a carattere sperimentale (ELLIS A.J. & MAHON W.A.I., 1964-1967),

(2) Il valore del coefficiente di attività del Na^+ e del Ca^{2+} è stato calcolato con l'equazione di DEBYE-HÜCKEL:

$$-lg Y_i = \frac{A z_i^2 \sqrt{I}}{I - a_i B \sqrt{I}}$$

dove: z = carica ionica; I = energia ionica; a = dimensione dello ione idrato che dev'essere stimato da dati sperimentali; A e B = costanti che dipendono soltanto dalla costante dielettrica e dalla temperatura.

(3) Il valore del coefficiente di attività della soluzione acquosa H_2SiO_4 in condizioni di saturazione di quarzo è stato calcolato con l'equazione di VAN'T HÖFF:

$$lg K = lg K_{Tr} - \frac{\Delta H_{Tr}}{2,303 R} (1/T - 1/Tr)$$

dove: T = temperatura assoluta in gradi Kelvin; Tr = temperatura assoluta di riferimento; $R = 1,987$; ΔH_{Tr} = entalpia (Cal) a 25° C (298° Kelvin) e 1 atm. di pressione.

hanno indagato i meccanismi di acquisizione di sali da parte dell'acqua per interazione con le rocce.

Così per quanto riguarda il sodio, esso proviene dall'alterazione dell'albite anche dall'analcime e dalla interazione con la sodio-montmorillonite (FANCELLI e altri, 1978).

Il calcio potrebbe provenire invece, oltre che dalla dissociazione dei bicarbonati per la presenza di CO_2 nelle acque poco profonde dell'area in studio, dal processo di albitizzazione dell'anortite delle rocce serbatoio in presenza di acque salate.

Tenuto conto:

- delle intrusioni magmatiche profonde avvenute durante il Mesozoico nel settore meridionale della regione alla temperatura di 650° C e successiva diminuzione intorno a 300° C nell'ultima fase (CORTESOGNO, 1982);
- della presenza di plagioclasti anortitici nel basamento cristallino pre-Triassico;
- della presenza di soluzioni acquose ricche di NaCl;
- del valore del pH compreso fra 7,5 e 8,6 (cfr. tab. 1);

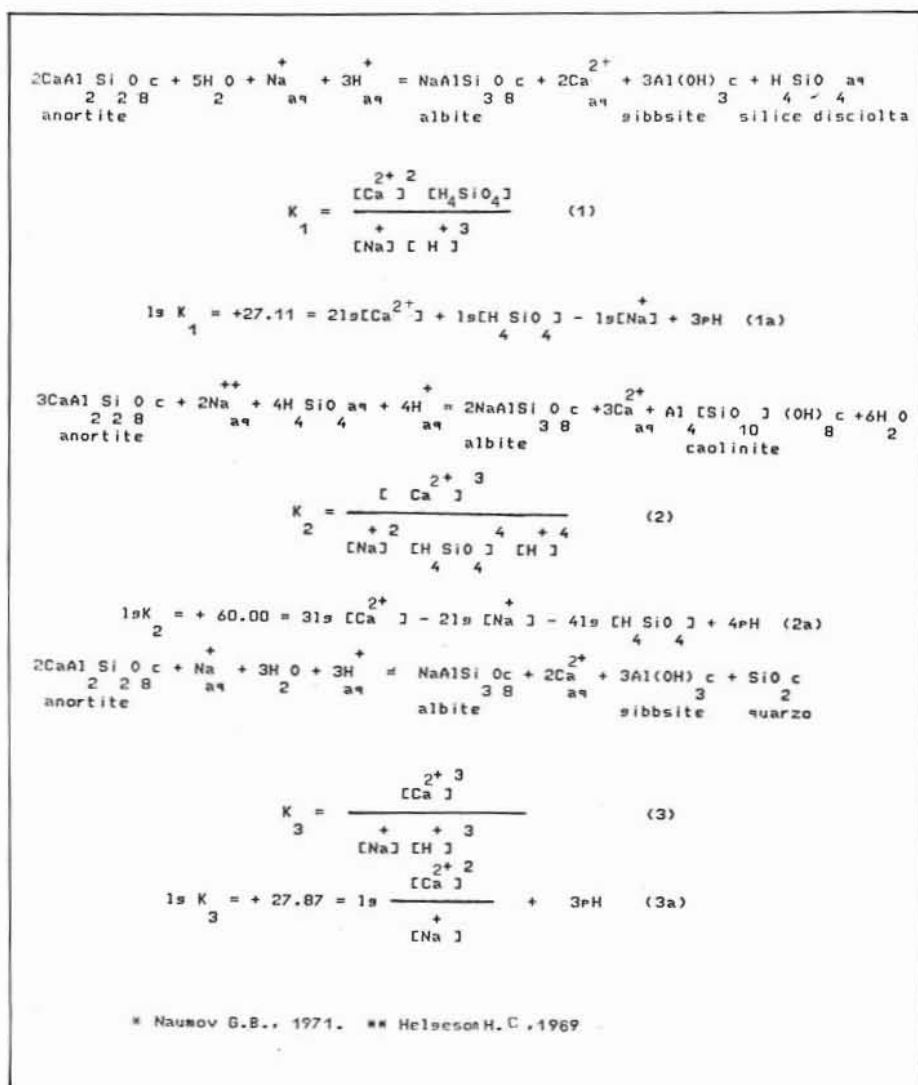
da quanto sopra indicato si può affermare che l'albitizzazione avviene perchè il pH risulta minore di 10. Infatti secondo BUNEYEV (1956) e ALEKIN (1966) se dovesse risultare il $pH \geq 10$, l'interazione tra acqua ricca di NaCl e anortite non porterebbe albitizzazione poichè il sistema risulterebbe in equilibrio.

A tale scopo nella tab. 3, in cui i valori della costante di equilibrio K sono stati calcolati alla temperatura di 25° C ed alla pressione di 1 atm. utilizzando i dati di HELGESON H.C. (1969), si riportano alcuni esempi di processi di albitizzazione che NAUMOV e altri (1971) hanno studiato in zone aventi condizioni petrologico-geologiche e idrochimiche analoghe a quelle che si riscontrano nella zona di « Acqui Terme - Visone ».

In generale l'interazione acqua-roccia porta alla produzione di ioni di Ca^{+2} , Na^+ , ecc. secondo i tipi di plagioclasti presenti nelle rocce e quindi eserciterebbe una certa influenza sulla composizione chimica delle acque in profondità della zona in questione.

TABELLA 3

Processi di albitizzazione dei plagioclasti* e relative costanti**



Conclusioni

Dai risultati ottenuti si possono trarre le seguenti conclusioni:

1. Nel bacino idrotermale di «Acqui Terme - Visone» emergono acque termali appartenenti ad una circolazione con caratteristiche non omogenee: infatti dalle analisi chimiche (cfr. tab. 1) e dalle condizioni idrogeologiche e tettoniche risulta che un ramo di questa circolazione è costituito da acque

calde cloruro-solfato calciche e l'altro da acque che presentano una diluizione di vario grado da parte di un'acqua superficiale fredda a bicarbonati.

2. Nel corso della loro risalita le acque calde cloruriche contenute nella parte più profonda dell'acquifero presentano fenomeni di mescolamento con le acque fredde a bicarbonati poco profonde.

3. Le temperature estrapolate sia con il

geotermometro Na-Ca-K (ECKSTEIN, 1975) sia con il geotermometro anortite-albite (BOSCH e altri, 1974) sono convergenti fra di loro e con quelle calcolate con altri tipi di geotermometri.

Il geotermometro Na-Ca-K (ECKSTEIN, 1975) è basato sul metodo incrociato fra la temperatura misurata e la temperatura calcolata utilizzando il geotermometro Na-Ca-K (FOURNIER & TRUESDELL, 1973) in un sistema misto fra acque calde salate ed acque fredde poco profonde.

La temperatura estrapolata del ramo finale caldo è risultata di 135° C.

Il geotermometro anortite-albite è basato sul processo di albitizzazione dei plagioclasti e cioè sull'equilibrio della soluzione anortite-albite.

Nel diagramma della fig. 5 i punti rappresentativi delle acque termali della zona in studio cadono a destra della linea limitante i campi di stabilità dell'anortite e dell'albite ad una temperatura media di 135° C coincidente con quella di 135° C del ramo finale caldo determinata con il geotermometro Na-Ca-K (ECKSTEIN, 1975), mentre la temperatura di 181° C rappresenta la temperatura dell'acquifero profondo connesso alla sorgente « La Bollente ».

Tale temperatura è coincidente con la temperatura di 180° C ricavata mediante l'utiliz-

zazione del geotermometro a gas (D'AMORE, com. pers.).

Per la sorgente « La Bollente », posto il coefficiente di attività $Y_{H_2SiO_4} = 1$ come valore approssimato, la temperatura estrapolata risulta di circa 200° C (cfr. fig. 5).

Tale temperatura è corrispondente a quella di 200° C ricavata con il geotermometro isotopico (OHMOTO, 1972) e applicato alla sorgente « La Bollente » (BORTOLAMI e al., 1980).

I valori così ricavati sono convergenti e lasciano intravedere una temperatura del serbatoio profondo vicina a 200° C.

4. È stato evidenziato che una parte della concentrazione di ioni di Ca^{+2} sia dovuta al processo di albitizzazione dei plagioclasti anortitici per l'interazione tra soluzioni acquose ricche di NaCl e la roccia serbatoio.

In generale l'interazione acqua-roccia porta alla produzione di ioni di Ca^{+2} , Na^+ , ecc. secondo i tipi di plagioclasti presenti nelle rocce e quindi eserciterebbe una certa influenza sulla composizione chimica delle acque in profondità dell'area in questione.

Per concludere si fa altresì presente che le temperature su citate sono da ritenersi puramente indicative, poichè si tratta di estrapolazioni.

BIBLIOGRAFIA

- ALEKIN C.A. (1966) - *Khimiya okeana, gidrometeoindat.* Leningrad.
- ALLASINAZ A., GELATI R., GNACCOLINI M., MARTINIS B., OROMBELLI G., PASQUARÈ G., ROSSI P.M. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 82 «Genova».* Serv. Geol. d'It., 134 pp.
- BORTOLAMI G., OLIVERO G.F., RICCI B., ZUPPI G.M. (1980) - *Indagine idrogeochimica preliminare della sorgente «La Bollente» di Acqui Terme (Alessandria, Piemonte).* «Il seminario informativo del Sottoprogetto Energia Geotermica», C.N.R., Roma, 424-430.
- BORTOLAMI G., DI MOLFETTA A., OLIVERO G.F., VERGA G., ZUPPI G.M. (1982) - *Il serbatoio geotermico di Acqui Terme (Alessandria).* Sottoprogetto Energia Geotermica, C.N.R., Roma, 1-36.
- BOSCH B., DESCHAMP J., LELEU M., LPOUKHINE M., MARCE A., VILBERT C. (1974) - *Bulletin du B.R.G.M. (deuxième serie), section II, n. 4, 1974, pp. 367-383, 13 fig., 13 tab.*
- BUNEYEV A.N. (1956) - *Osnovy gidrogeokhimii i mineralnykh vod osadochnykh otlogov.* Medgiz, Moscov.
- CHIESA S., CORTESOGNO L. et al. (1975) - *Assetto strutturale ed interpretazione geodinamica del Gruppo di Voltri.* Boll. Soc. Geol. It., 94, 555-581, 3 tt.
- C.M.P. (COMPAGNIA MEDITERRANEA DI PROSPEZIONI) (1966) - *Prospezione geofisica nella zona delle sorgenti termali di Acqui Terme.* Roma, 1966, 52 pp., ined.
- C.M.P. (COMPAGNIA MEDITERRANEA DI PROSPEZIONI) (1968) - *Prospezione geofisica complementare nella zona delle sorgenti di Acqui Terme.* Roma, 1968, 20 pp., ined.
- CORTESOGNO L., LUCCHETTI G. (1982) - *Il metamorfismo oceanico nei gabbri ofiolitici dell'Appennino ligure. Aspetti mineralogici e paragenetici.* Rend. Soc. It. di Miner. e Petrol., 38 (2), pp. 561-579.
- ECKSTEIN Y. (1975) - *The application of chemical hydro-geothermometers to ground-water in Israel.*

- le. Int. Congres on thermal waters, geothermal energy and vulcanismo of the mediterranean area, Int. of Scient. Hydrogeology, 1976, Athene, Grecia.
- ELLIS A.J., MAHON W.A.J. (1964) - *Natural hydrothermal systems and experimental hot water/rock interactions* (pt. I). Geoch. et Cosmochim. Acta, 28.
- ELLIS A.J., MAHON W.A.J. (1967) - *Natural hydrothermal systems and experimental hot water/rock interactions* (pt. II). Geoch. et Cosmochim. Acta, 31.
- FANCELLI R., NUTI S. (1978) - *Studio geochimico delle sorgenti termali del massiccio dell'Argentera (Alpi Marittime)*. Boll. Soc. Geol. It., 97, 115-130.
- FORCELLA F., MOTTANA A., PASQUARÉ G. (1973) - *Il massiccio cristallino interno di Valosio (Gruppo di Voltri, Provincia di Alessandria)*. Mem. Soc. Geol. It., 12, 485-528, 24 ff., 1 carta geol.
- FOURNIER R.O., TRUESDELL A.H. (1973) - *An empirical Na-Ca-K geothermometers for natural waters*. Geoch. Cosmochim. Acta, 37, 1255-1275.
- HELGESON H.C. (1969) - *Thermodynamic of hydrothermal sistem at elevated temperatures and pressure*. Am. J. Sci., 267, 729-804.
- NAUMOV G.B., RYGENKO B.N., HODAKOVSKYJ I.L. (1971) - *Spravochnik termodinamicheskikh vielichin*.
- OHMOTO H. (1972) - *Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits*. Econ. Geol., 67, 551-578.
- ORVILLE P.M. (1972) - *Plagioclase cation exchange equilibrie with aqueous chloride solutions results at 700° C and 200 bars in presence of quartz*. Am. J. Sci., 272, 234-272.
- PAVLOV A.N., SHEMYAKIN V.N. (1971) - *Opyt geokhimicheskoi classificatii prirodnykh vod*. Geokhimiya, n. 12, Moscov.
- REGIONE PIEMONTE - Assessorato alle acque minerali e termali (1980) - *Le sorgenti termali del Piemonte*. Torino, Tip. Striga.