

STUDI SASSARESI

Sezione III

1978

Volume XXVI

ANNALI DELLA FACOLTÀ DI AGRARIA DELL'UNIVERSITÀ
DI SASSARI

DIRETTORE: O. SERVAZZI

COMITATO DI REDAZIONE: M. DATTOLO - F. FATICHENTI - L. IODDA - F. MARRAS
A. MILELLA - P. PICCAROLO - A. PIETRACAPRINA - R. PROTA - G. RIVOIRA
R. SATTA - C. TESTINI - G. TORRE - A. VODREI



ORGANO UFFICIALE
DELLA SOCIETÀ SASSARESE DI SCIENZE MEDICHE E NATURALI

GALLIZZI - SASSARI - 1980

St. Sass. III Agr.

Università degli studi di Sassari
Istituto di Mineralogia e Geologia della Facoltà di Agraria
(Dir. Prof. A. PIETRACAPRINA)

**Nuove osservazioni sul chimismo e sul termalismo
delle acque minerali della Sardegna settentrionale ***

BRUNO DETTORI

La presente nota è basata sulla ulteriore elaborazione dei dati chimici ed isotopici delle acque profonde della Sardegna settentrionale, contenuti in un rapporto del sottoprogetto Energia Geotermica del Progetto Finalizzato Energetica del C.N.R. e pubblicati dall'Autore di recente, ed inoltre su alcune correlazioni della campionatura effettuata nella primavera del 1978.

Nel rapporto vengono presi in considerazione 21 punti d'acqua (Fig. 1) che vengono divisi in gruppi (Tab. 1): uno di questi, il 3b, è costituito dalle acque oligominerali clorurato-bicarbonato-alcaline; ne fanno parte le sorgenti 21 Scala, 42 Lu Bulioni, 62 La Madonnina, 64 S. Antioco e 73 S. Leonardo. Queste acque (Tab. 2) hanno una composizione isotopica omogenea e son ben allineate nel rapporto $\delta D/\delta^{18}O$ come si conviene ad acque meteoriche (Fig. 2). Il loro « deuterium excess » è di conseguenza costante con un valore ($B=21$) piuttosto elevato. Valori altrettanto alti sono però già stati osservati in regioni mediterranee e vengono interpretati (NIR, 1967) come precipitazioni prodotte da un vapore originatosi da un processo di evaporazione a velocità elevata, quindi in forte disequilibrio. La composizione isotopica dell'ossigeno fa ritenere, sulla base della equazione già nota per l'Isola, $h = (-6,05 - \delta^{18}O)/0,0029$ (NUTI et al. 1976), che le aree di alimentazione di queste sorgenti siano poste a quote medie tra i 670 e gli 870 metri sul livello del mare. Da notare che le quote di emergenza delle sorgenti vanno dai 330 metri della sorgente Lu Bulioni ai 730 metri della sorgente La Madonnina. Nel già citato rapporto (DETTORI et al. 1978) queste acque sono state considerate di circolazione sub-superficiale e probabilmente è vero per le sorgenti La Madonnina e S. Leonardo, mentre rimangono dubbi per la sorgente Lu Bulioni, un po' troppo negativa negli isotopi.

* Lavoro svolto con il contributo del C.N.R.

Tabella 1 - Ripartizione in gruppi delle acque censite nella campionatura dell'autunno del 1977.

Gruppo 1	25°	{	16°°	-	28	{	15	-	29	{	15	-	35	{	16	-	37	{	18.5	-
			448°°°				458				617				659				535	
	43	{	30	-	58	{	21.5	-	63	{	17.2									
			307				824				726									
Gruppo 2	39	{	16.5																	
			1453																	
Gruppo 3a	14	{	42	-	19	{	54	-	56	{	32	-	61	{	32.3	-	68	{	42	-
			445				644				524				709				648	
Gruppo 3b	21	{	12	-	42	{	15.5	-	62	{	12	-	64	{	14	-	73	{	11	-
			137				167				90				142				106	
Gruppo 3c	33	{	22	-	50	{	69													
			722				4837													

Gruppo 1 - Acque bicarbonato-alcalino-terrose

Gruppo 2 - Acque a cationi ed anioni non prevalenti .

Gruppo 3a - Acque cloruro-alcaline

Gruppo 3b - Acque cloruro-bicarbonato-alcaline

Gruppo 3c - Acque cloruro-alcalino-terrose

° numero del punto d'acqua

°° temperatura in °C

°°° salinità in ppm

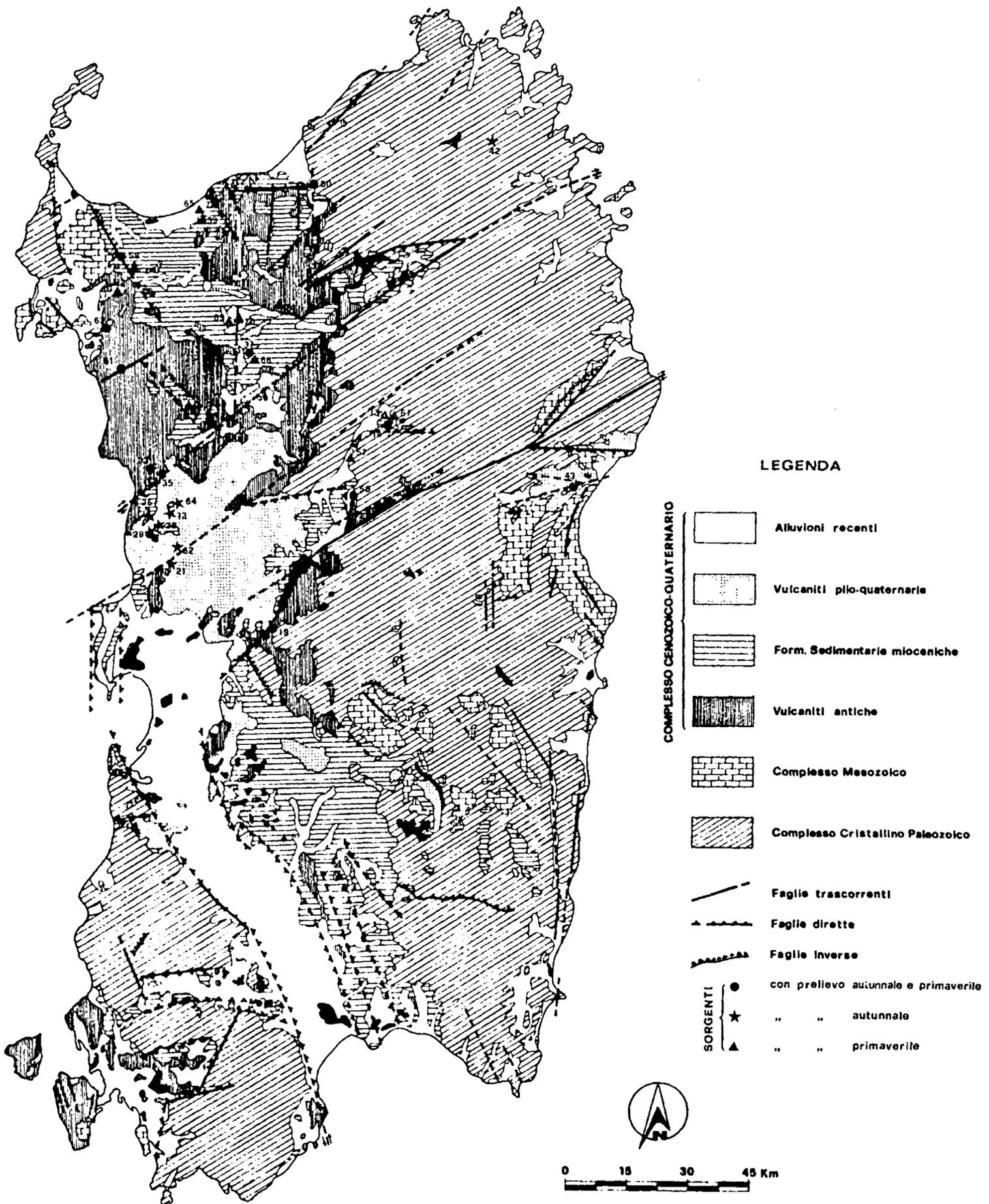
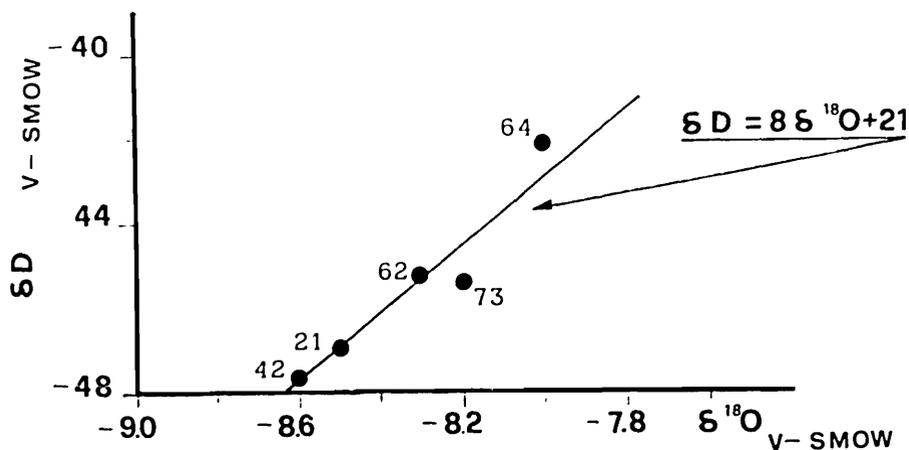


Fig. 1 - Schema geologico strutturale della Sardegna con ubicazione dei punti d'acqua censiti nelle campionature dell'autunno 1977 e primavera 1978.

Tabella 2 - *Dati isotopici delle acque oligominerali.*

N. sorgente	$\delta^{18}\text{O}$	δD	Quota emergenza m s.l.m. (h')	Quota isotopica area ricarica (h'')	h''·h'
2 1	-8.5	-47.0	622	844	222
4 2	-8.6	-47.7	330	879	549
6 2	-8.3	-45.3	730	776	46
6 4	-8.0	-42.2	445	672	227
7 3	-8.2	-45.5	684	741	57

È indubbio che queste acque non rivestano interesse da un punto di vista della ricerca geotermica, ma forse è ingiusto liquidarle sbrigativamente come acque piovane che non hanno interagito, anzi forse il loro interesse consiste proprio nell'indicarci quale è il primo passo dell'interazione acqua-roccia. Se questo è vero si nota, dal diagramma di Piper, che la prima diffe-

Fig. 2 - Rapporto del $\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}$ delle acque oligominerali.

renziamento delle acque piovane si ha negli anioni (Fig. 3). Infatti nel triangolo di sinistra i punti rappresentativi delle acque piovane sono meno differenziati di quelli delle sorgenti; nel triangolo di destra si vede una differente disposizione. Questa è legata essenzialmente allo ione bicarbonico che fa un salto da 14 ppm delle acque meteoriche a 40 ppm delle acque oligominerali.

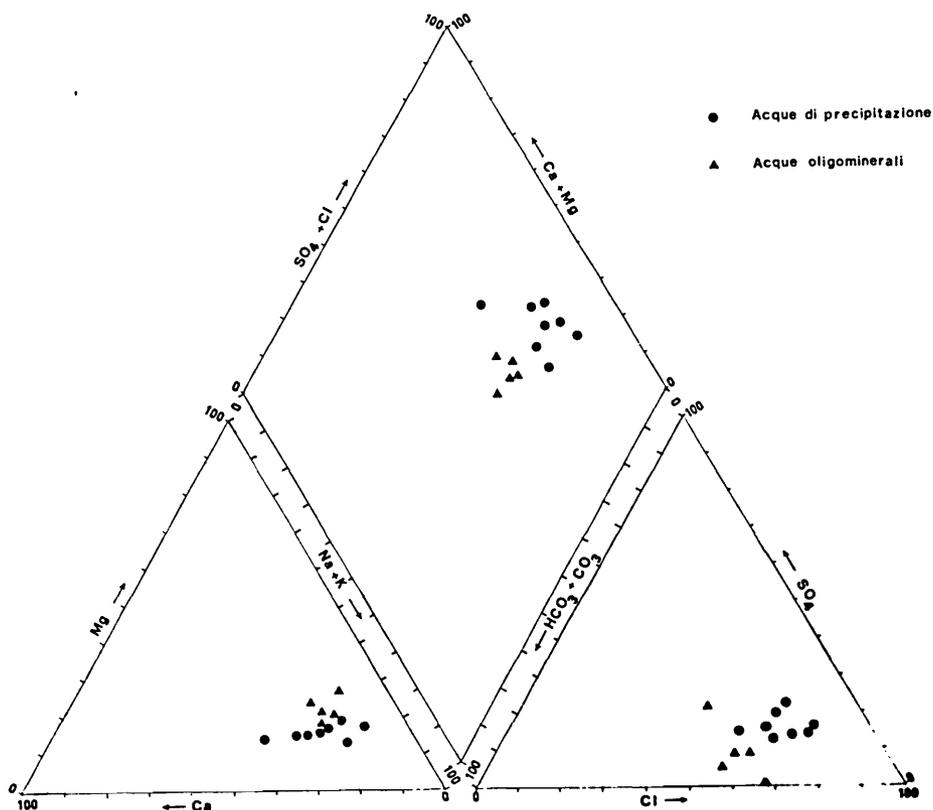


Fig. 3 - Raffronto fra le acque di precipitazione e le acque oligominerali nel diagramma di Piper.

L'incremento di calcio è leggermente inferiore a quello stechiometrico che ci si può aspettare dalla reazione:



ma a questi livelli siamo nell'ordine degli errori di misura e d'altra parte non si può escludere a priori che entri in soluzione anche una piccola parte di CO_2 biogenica presente nel suolo. Consideriamo in definitiva queste clorurato-bicarbonato-alcaline, con una salinità media di 124 ppm ed una temperatura media di 13 °C, come acque di circolazione sub-superficiale anche se una, la sorgente Lu Bulioni, se ne distacca un po' avendo la massima salinità (162 ppm), una temperatura di 15,5 °C ed una differenza tra quota isotopica di alimentazione e quota di emergenza di 549 m.

Per quanto riguarda il gruppo 2 ed il gruppo 3c (Tab. 1), a cui appartengono emergenze di tre soli punti d'acqua (33 Mattagiana, 39 Billellara e 50 Casteldoria), si può affermare si tratti di acque di difficile correlazione tra loro.

L'origine dell'acqua che emerge a Casteldoria non è chiara e le ipotesi formulate al riguardo non sono universalmente accettate, anche se lavori recenti (NUTI et al. 1977) fanno ritenere che la sua genesi sia del tutto particolare, non prodotta da una normale interazione fra acqua meteorica e rocce. Il punto d'acqua n. 50 si dovrebbe pertanto ritenere di genesi anomala e non appartenente ad un allineamento che rappresenti una linea di evoluzione in qualsiasi modo (interazione, mixing) di acque sotterranee.

Discorso analogo può essere fatto sulla genesi dell'acqua alle emergenze 33 e 39.

Più interessante è il discorso relativo ai gruppi 1 e 3a (Tab. 1). La figura 4 è costruita riportando in ascissa le posizioni che le sorgenti occupano nell'allineamento sul diagramma di Piper (Fig. 5) ed in ordinata la salinità in ppm e le temperature in °C. Per entrambi i dati si può notare una grossolana correlazione parabolica; una interpretazione di questa distribuzione può essere la seguente: dal gruppo centrale formato dalle acque oligominerali clorurato-bicarbonato-alcaline, che rappresentano il primo passo evolutivo delle piogge infiltrate nel sottosuolo, partono due linee di maturazione aventi in comune solo una acquisizione di sali e di temperatura. La composizione degli strati litologici attraversati determina uno spostamento a sinistra verso le acque bicarbonato-alcaino-terrose ed a destra verso le acque clorurato-sodiche. In definitiva la figura 4 dovrebbe rappresentare, almeno per questa regione, i passi successivi di « maturazione » delle acque.

In tabella 3 riportiamo i valori mediati, per ciascun gruppo rappresentato in figura 5, di alcuni parametri. Come si vede la temperatura di emergenza ed

Tabella 3 - Valori medi di alcuni parametri delle acque censite.

Gruppo	Mg(ppm)	SiO ₂ (ppm)	Na/K	T(°C)
1) Piogge	1,6		13,9	
2) Acque oligominerali (21,42,62,64,73)	5,4	7,9	17,4	12,9
3) Acque bicarbonato-alcaino terrose (25,28,29,35,37,43,58,63)	28,8	9,3	24,1	18,6
4) Acque cloruro-alcaline (14,19,56,61,68)	1,8	26,6	76,2	40,5

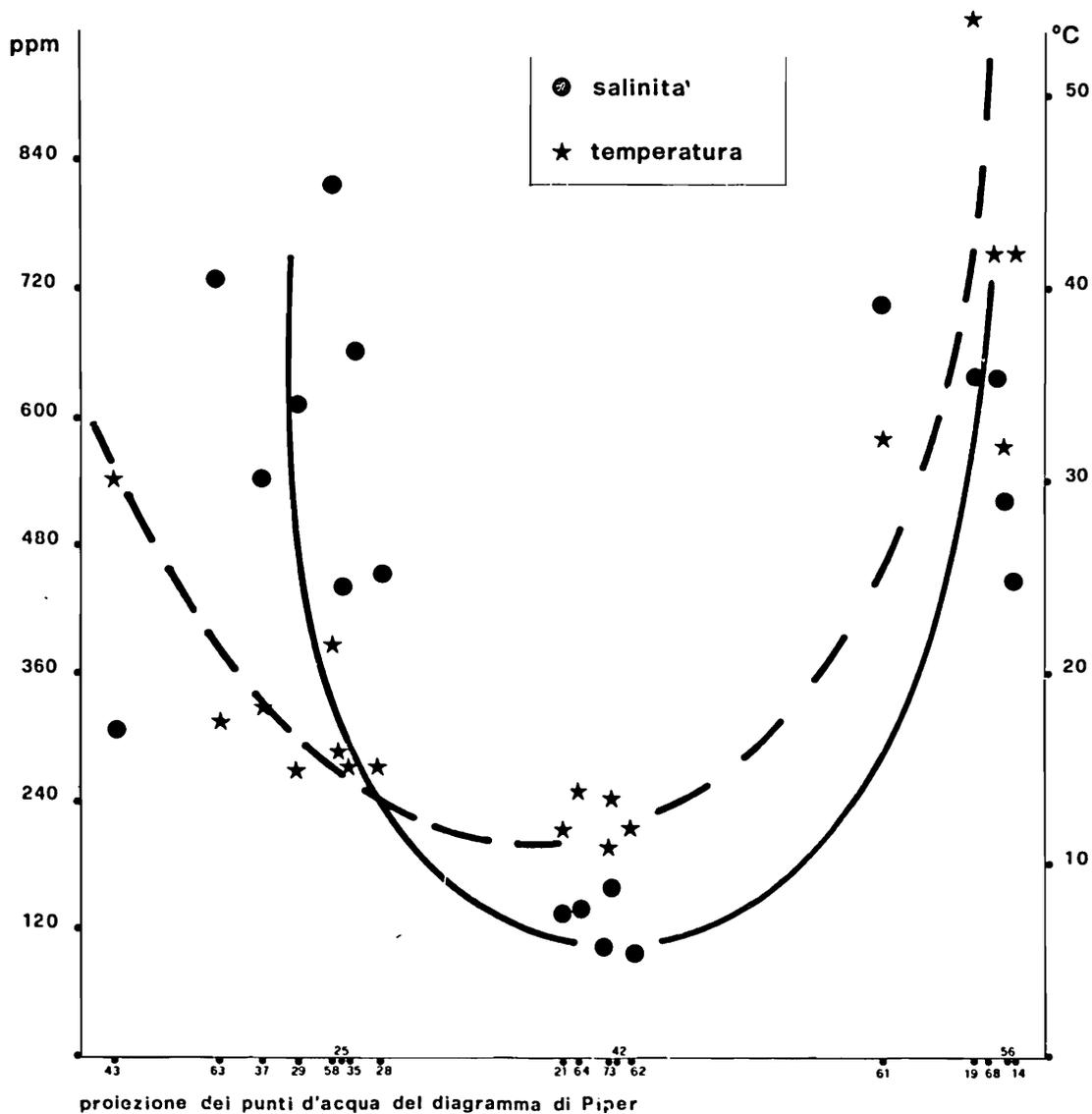


Fig. 4 - Rapporto salinità/temperatura delle sorgenti dei raggruppamenti I e 3a.

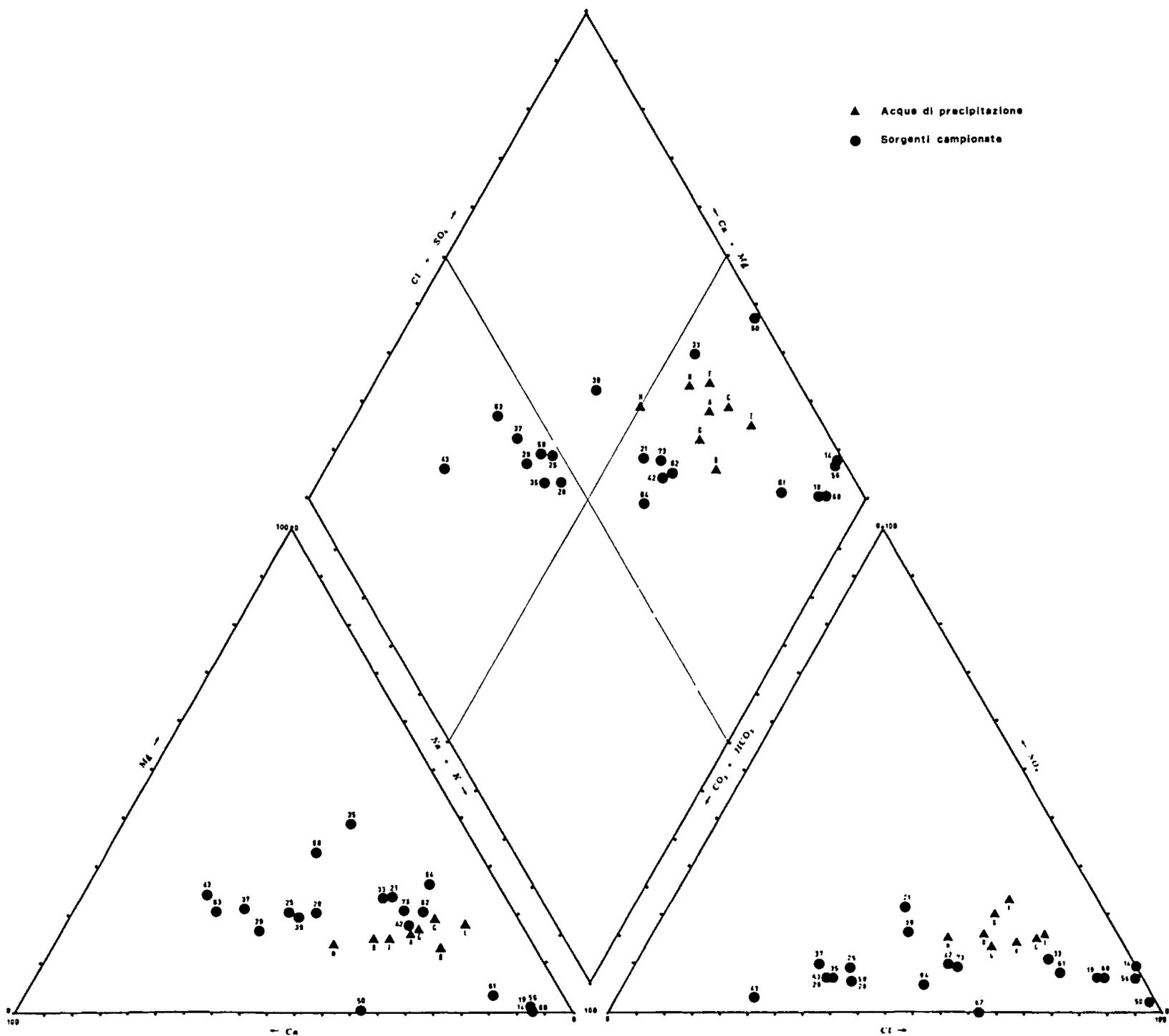


Fig. 5 - Diagramma di Piper delle sorgenti della campionatura dell'autunno 1977.

il rapporto Na/K crescono con il grado di « maturazione », ed elevato è anche il contenuto in silice delle acque termali accompagnato dalla scomparsa del magnesio.

Vediamo ora alcune correlazioni sulla campionatura primaverile 1978 (Fig. 1) riportate in tabella 4.

Dal diagramma di Piper (Fig. 6) si possono mettere in evidenza i seguenti raggruppamenti di acqua:

- 1 - acque bicarbonato-alcantino-terrose a cui appartengono le sorgenti: 36-37-43-58-63-66;
- 2 - acque in posizione intermedia per la mancata prevalenza di una coppia anionica o cationica: 39-65;
- 3 - acque clorurato-sodiche: 13-14-19-56-57-61-67-68;
- 4 - acque clorurato-alcantino-terrose: 33-50;
- 5 - acque bicarbonato-sodiche: 69-70-74-75.

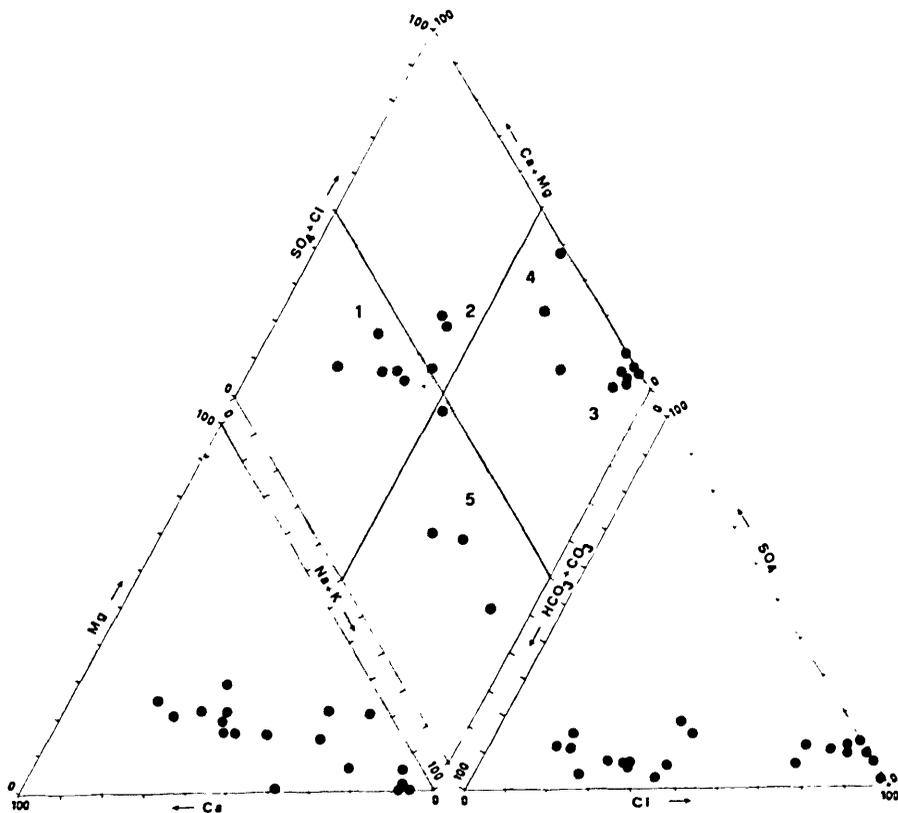


Fig. 6 - Diagramma di Piper delle sorgenti della campionatura della primavera 1978.

Tabella 4 - Dati analitici dei punti d'acqua censiti nella campionatura della primavera del 1978.

N° del punto acqua		13	14	19	33	36	37	39	43	50	56
Denominazione		Sas Concas	Banzu Mannu	Caddas	Mattigiana	Matta Arghentutu	Bidda Noa	Billelara	Abba Meiga Dorgali	Casteldoria	Oddini
Temperatura	°C	39.50	42.00	54.00	21.00	19.80	18.50	16.00	30.00	71.00	33.00
Conducibilità el. a 18°C	μ S	850.00	850.00	1140.00	1180.00	1140.00	850.00	2400.00	500.00	6600.00	860.00
pH		9.10	8.90	8.50	7.30	7.00	7.00	7.10	7.70	7.20	9.40
Ione Calcio	mg/l	9.90	10.95	13.50	30.75	70.00	72.00	208.00	59.00	653.00	11.50
Ione Magnesio	»	0.01	0.02	0.23	27.00	35.00	24.00	50.00	16.20	1.70	0.07
Ione Sodio	»	128.00	130.00	195.00	150.00	79.00	79.00	210.00	25.00	1140.00	185.00
Ione Potassio	»	3.30	3.20	3.35	7.50	4.60	6.25	50.00	2.40	71.00	3.20
Ione Idrocarbonico	»	18.31	18.31	30.51	103.73	494.24	329.49	579.66	256.27	36.61	0.00
Ione Solforico	»	39.00	40.00	47.61	60.00	50.00	26.50	205.00	10.30	101.25	34.60
Ione Cloro	»	230.75	227.20	315.95	319.50	173.95	124.25	347.90	53.25	2832.90	280.40
Si O ₂	»	52.25	53.60	52.25	26.35	11.50	21.40	34.23	21.40	70.30	56.40
Salinità	»	472.37	474.13	643.16	672.97	671.17	518.15	1394.96	318.69	4888.46	571.17
Ione Calcio	meq/l	0.49	0.54	0.67	1.53	3.49	3.59	10.38	2.94	32.58	0.57
Ione Magnesio	»	0.00	0.00	0.02	2.22	2.88	1.97	4.11	1.33	0.14	0.00
Ione Sodio	»	5.57	5.65	8.48	6.52	3.44	3.44	9.13	1.09	49.59	8.05
Ione Potassio	»	0.08	0.08	0.08	0.59	0.12	0.16	1.28	0.06	1.81	0.08
Σ Cationi	»	6.14	6.27	9.25	10.46	9.93	9.16	24.90	5.42	84.12	8.70
Ione Idrocarbonico	»	0.30	0.30	0.50	1.70	8.10	5.40	9.50	4.20	0.60	0.00
Ione Solforico	»	0.81	0.83	0.99	1.25	1.04	0.55	4.27	0.21	2.11	0.72
Ione Cloro	»	6.51	6.41	8.91	9.01	4.91	3.50	9.81	1.50	79.90	6.50
Σ Anioni	»	7.62	7.54	10.40	11.96	14.05	9.45	23.58	5.91	82.61	7.22

57	58	61	63	65	66	67	68	69	70	74	75
Sos Bagnos	Abba Meiga La Crucca	Temo-Cuga	Su Mattone	Sorso	Abba Uddi	Aurora	Fordongianus Terme	San Martino	Montes	Othila	Abbaghente
22.00	21.50	31.00	13.50	17.50	17.50	37.00	42.50	16.00	16.00	16.00	23.00
740.00	1210.00	1050.00	1160.00	1750.00	850.00	770.00	1120.00	3300.00	3230.00	900.00	3550.00
9.70	6.80	7.80	7.20	7.10	7.00	9.10	8.20	7.10	8.10	5.70	6.70
5.80	91.00	36.00	141.00	152.00	76.00	10.95	14.90	160.00	32.70	59.00	30.75
0.02	23.00	7.00	34.00	43.00	22.00	0.01	0.81	65.50	79.50	16.00	25.00
109.00	110.00	164.00	83.00	160.00	61.00	112.00	184.00	550.00	500.00	98.00	730.00
0.95	7.20	14.00	3.95	63.00	4.25	3.45	2.70	95.00	71.00	12.00	35.00
0.00	439.32	122.03	445.42	360.00	360.00	0.00	54.92	2343.05	1714.58	286.78	1964.75
23.30	41.00	37.87	50.62	122.00	40.50	41.60	51.86	315.00	288.00	10.00	230.00
213.00	230.75	305.30	177.50	284.00	106.50	330.75	315.95	298.20	284.00	138.50	333.70
35.25	12.97	42.80	13.60	22.75	25.00	50.00	50.00	32.70	23.00	82.00	59.10
387.32	736.58	667.99	726.38	1054.21	515.25	448.76	647.70	2687.93	2135.49	558.89	2426.13
0.28	4.54	1.70	7.03	7.58	3.79	0.54	0.74	7.98	1.63	2.94	1.53
0.00	1.89	0.57	2.80	3.54	1.81	0.00	0.07	5.38	6.53	1.31	2.06
4.74	4.83	7.13	3.61	6.96	2.65	4.87	8.0	23.92	21.75	4.26	31.75
0.02	0.18	0.36	0.10	0.61	0.11	0.09	0.07	2.43	1.81	0.31	0.89
5.04	11.44	9.85	13.54	19.69	8.36	5.50	8.88	39.71	31.72	8.82	36.23
0.00	7.20	2.00	7.30	6.80	5.90	0.00	0.90	38.40	28.10	4.70	32.20
0.48	0.85	0.79	1.05	2.54	0.84	0.87	1.08	6.56	6.69	0.21	4.79
6.01	6.51	8.61	5.01	8.01	3.00	3.00	8.91	8.41	8.01	3.91	9.41
6.49	14.56	11.40	13.36	17.35	9.74	7.38	10.89	53.37	42.80	8.82	46.40

In figura 7, dove è riportato il contenuto in silice in rapporto con la temperatura di emergenza, si nota che le acque delle sorgenti 19, 36, 43, 50, 58 e 63 giacciono su una retta di allineamento con il gruppo delle acque oligominerali del campionamento autunnale del 1977 (punti d'acqua n. 21, 42, 62, 64 e 73) con un ottimo fattore di correlazione ($r=0.990$ per 11 coppie; $a=1.06$, $b=-6.308$).

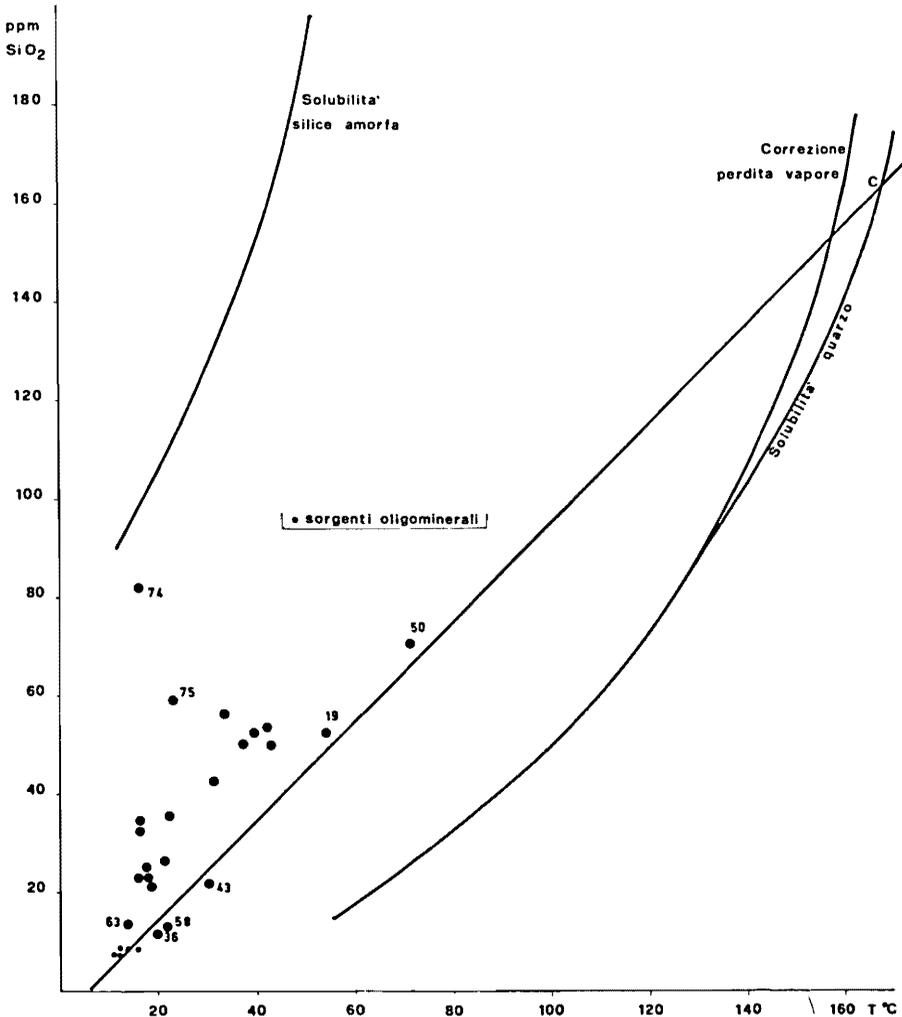


Fig. 7 - Contenuto in silice in rapporto alla temperatura di emergenza.

Purtroppo queste acque non appartengono ad una stessa famiglia geochimica, non è pertanto corretto interpretare l'allineamento come una retta di diluizione. Se consideriamo però che le acque cloruriche 19 (Caddas di Fordongianus) e 50 (Casteldoria) siano prodotte di mixing tra le acque oligominerali ed una componente calda profonda e dopo il miscelamento non si è avuta perdita di calore né perdita o acquisizione di silice (FOURNIER e TRUESDELL, 1974) il punto C in figura 7 rappresenta le condizioni della componente di acqua calda profonda intervenuta nella miscela: si dovrebbe avere quindi in profondità un'acqua con oltre 168 °C di temperatura e 164 ppm di silice.

Con il metodo di TRUESDELL e FOURNIER (1977) si può calcolare la frazione di acqua profonda in circa il 27% a Fordongianus ed il 38% a Casteldoria.

Nel sottosuolo della Sardegna 170 °C circa sembrano francamente troppi, ma considerato che il contenuto in silice dell'acqua di Casteldoria corrisponde ad una saturazione del quarzo a 120 °C non è da escludersi che temperature di almeno 150 °C si possano rinvenire in profondità e non è da dimenticare, del resto, che temperature di 100 °C sono state misurate direttamente in sondaggi di appena 1.200 e 1.800 m nell'area di Casteldoria.

Tutte le altre emergenze tranne la 74 e la 75 giacciono su una retta parallela alla precedente e la loro posizione può essere determinata da una piccola perdita di temperatura (tra i 5 ed i 15 °C) rispetto alla temperatura di mixing. Le due sorgenti ora citate hanno contenuti in silice troppo elevati per acque con caratteristiche non termali e ciò sembra spiegabile solo se si ammette che abbiamo avuto la possibilità di disciogliere silice amorfa.

Diversa la situazione se si considera invece il rapporto Na/K. In figura 8 si può vedere che questo rapporto è ben correlato ($r=0.876$ per 18 coppie; $a=0.676$, $b=12.167$) con la temperatura di emergenza, con la sola eccezione di quattro sorgenti (50, 56, 57 e 68).

In figura 9 si vede il buon allineamento tra temperatura di emergenza e temperatura profonda calcolata con il geotermometro Na - K - Ca per 14 sorgenti (Tab. 5). Il punto d'acqua n. 61 corrisponde al campione Galleria Temo-Cuga e la cosiddetta temperatura di emergenza non è in questo caso che la temperatura misurata dopo 6 km di percorso in galleria con una certa perdita di calore; pertanto il punto n. 61 lo si deve immaginare, in figura 9, notevolmente spostato verso il basso. Anche in questo caso le indicazioni massime di temperatura sono date dall'acqua di Casteldoria, e coincidono esattamente con la temperatura calcolata con il geotermometro.

Concludendo, da tutte le considerazioni fatte, sembra che le temperature trovate nelle acque profonde della Sardegna settentrionale non superino i 120 °C; si dovrebbe escludere pertanto, almeno su basi geochimiche, un interesse alla ricerca per il reperimento di vapore. Sforzi dovrebbero invece venir fatti per valutare le possibilità di utilizzazione di acquiferi ipertermali come in particolare quelli che portano alle emergenze di Casteldoria, Fordongianus, Putifigari, Benetutti e Oddini.

Tabella 5 - *Temperatura all'emergenza, rapporto Na/K e temperatura calcolata con il geotermometro dei punti d'acqua censiti.*

N. sorgente	1	2	6	7	13	14	19	33	36	37	39
T °C	16.0	16.0	16.0	23.0	39.5	42.0	54.0	21.0	19.8	18.5	16.0
Na/K	5.8	7.0	8.2	20.9	38.8	40.6	58.2	20.0	17.2	12.6	4.2
T °C Na/K/Ca					80.0	77.0	79.0		47.0	54.0	
N. sorgente	43	50	56	57	58	61	63	65	66	67	68
T °C	30.0	71.0	33.0	22.0	21.5	31.0	13.5	17.5	17.5	37.0	42.5
Na/K	10.4	16.1	57.8	114.7	15.4	11.7	21.0	2.5	14.4	32.5	68.1
T °C Na/K/Ca		117.0	80.0	52.0	57.0	104.0	31.0		41.0	78.0	69.0

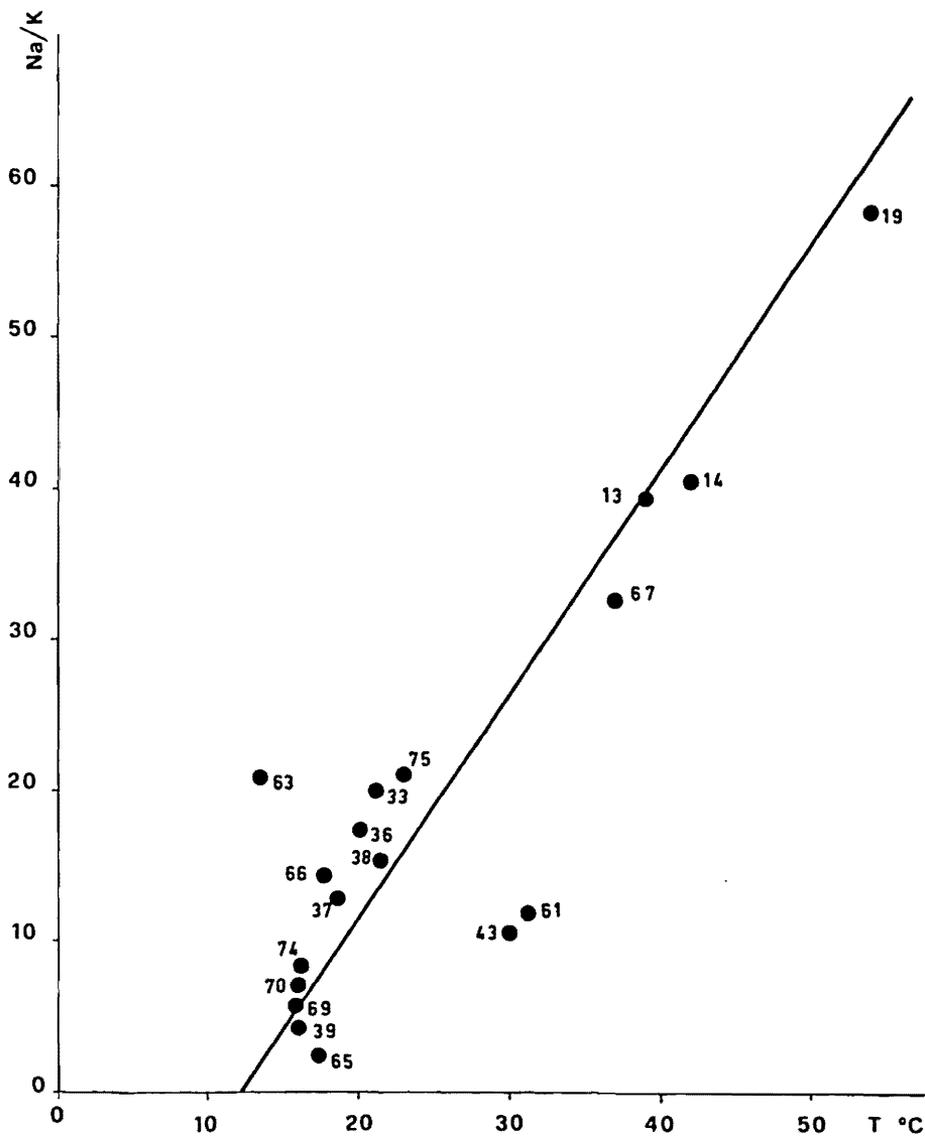


Fig. 8 - Rapporto fra Na/K con la temperatura di emergenza.

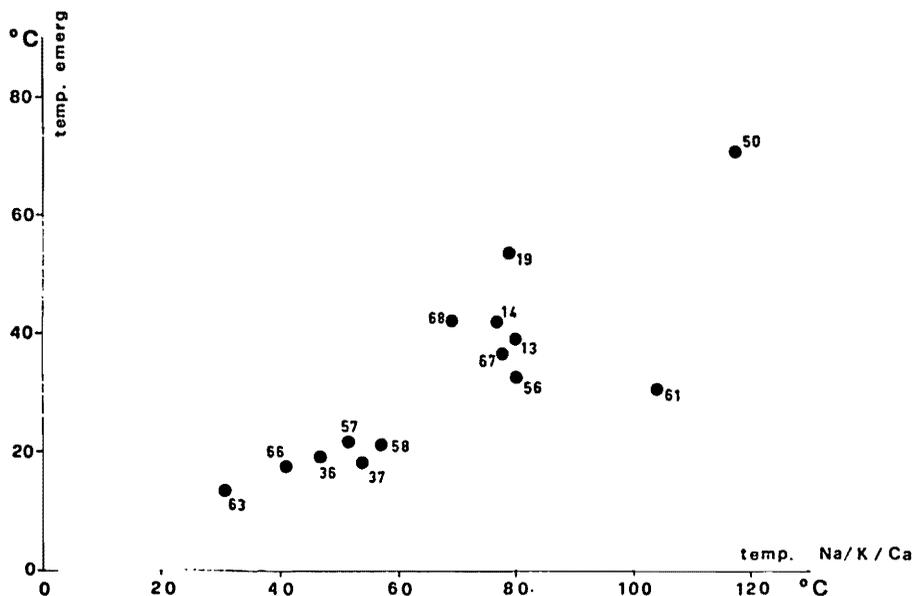


Fig. 9 - Rapporto fra temperatura di emergenza e temperatura profonda calcolata con il geotermometro Na/K/Ca.

BIBLIOGRAFIA

- DETTORI B., FANCELLI R., NUTI S., 1978 — Caratteristiche geochemiche delle acque profonde della Sardegna settentrionale. Rapporto al 30.6.78 al Sottoprogetto Energia Geotermica del Finalizzato Energetica del C.N.R., Sassari.
- FOURNIER R. O., TRUESDELL A. H., 1974 — Geochemical indicators of subsurface temperature. Part 2: Estimation of temperature of fraction of hot water mixed with cold water. U.S. Geol. Survey Jour. Research, 2, 3, 263-270.
- NIR A., 1967 — Development of isotope methods applied to groundwater hydrology. In: Proc. Symp. on Isotope Technology in Hydrology, Cycle, Am. Geophys. Union, Monogr. Ser., 11, 109-122.
- NUTI S., FANCELLI R., DETTORI B., PASSINO A. M., D'AMORE F., 1977 — Il termalismo della Provincia di Sassari. Probabile modello del circuito termale di Casteldoria. Boll. Soc. Geol. Ital., in stampa.
- TRUESDELL A. H., FOURNIER R. O., 1977 — Procedure for estimating the temperature of a hot water component in a mixed water by using a plot of dissolved silica versus enthalpy. U.S. Geol. Survey Jour. Research, 5, 1, 49-52.