

MARINO MARTINI

LA GEOCHIMICA DEL LAGO GIULIETTI
(ETIOPIA)

RIASSUNTO. — Il lago Giulietti, che ha una superficie di circa 70 kmq, occupa la parte meridionale della depressione danacala.

Il lago è alimentato da numerose sorgenti calde sgorganti a poca distanza dalle sue sponde; si è studiata la composizione delle acque di queste sorgenti e del lago stesso.

La salinità delle sorgenti appare dovuta essenzialmente alla dissoluzione degli orizzonti più superficiali della formazione evaporitica occupante il fondo della depressione.

Le caratteristiche delle acque del lago, che ha una salinità di 158 grammi per litro, consentono di escludere la sua origine come relitto di un antico braccio di mare, e di attribuire la sua salinità all'apporto delle suddette sorgenti.

ABSTRACT. — Lake Giulietti, which has a surface of about 70 km², occupies the southern part of the danakil depression.

The lake is fed by several warm springs; the chemical composition of these springs and of the lake is investigated.

The salinity of the springs appears to be caused mainly by dissolution of the upper layers of the huge danakil evaporitic formation.

The chemical characteristics of the lake-water, whose salinity reaches up to 158 gr/lt, exclude that the lake is a marine relic, and permit to attribute its salinity to the feeding springs.

RÉSUMÉ. — Le lac Giulietti, qui a une surface d'environ 70 km², occupe la partie méridionale de la dépression danakil.

Le lac est alimenté par plusieurs sources chaudes; on a étudié ici la composition des eaux de ces sources et du lac même.

La salinité des sources paraît être due essentiellement à la dissolution des couches les plus superficielles de la formation évaporitique qui occupe le fond de la dépression.

Les caractéristiques des eaux du lac, dont la salinité atteint 158 gr/lt, permettent d'exclure son origine comme un résidu marin, et d'attribuer sa salinité à l'apport des sources.

Nei mesi di gennaio e febbraio 1968 è stata effettuata una missione di studio vulcanologica nel bassopiano dancalo (Etiopia). Questa missione, organizzata dall'Istituto Internazionale di Ricerche Vulcanologiche con contributi finanziari del Consiglio Nazionale delle Ricerche e dal Conseil Nationale de la Recherche Scientifique, aveva per scopo lo studio geologico petrografico e geochimico di questa area fin'allora pressochè sconosciuta dal punto di vista scientifico. In particolare, la zona del lago Giulietti, scopo della presente nota, era stata raggiunta per la prima volta dal Vinassa de Regny nel 1920, e quindi successivamente dal Franchetti nel 1929 e da Zanettin nel 1966. Nessuno di questi autori ha peraltro compiuto studi sulle acque del lago e delle sorgenti che lo circondano.

Il lago Giulietti è stato così chiamato dal Franchetti in onore del capitano Giulietti la cui spedizione fu massacrata in quella regione nel 1881. Ha una superficie di circa 70 Km², coordinate approssimate 40°58' E 13°13' N, e si trova ad una quota imprecisata al di sotto del livello del mare; la sua origine sembra assai recente e dovuta ad una depressione tettonica.

Nei dintorni immediati affiorano sia rocce basaltiche assai recenti, sia sedimenti di tipo lacustre che non sono stati finora oggetto di studio.

Nel mezzo del lago vi è un isolotto, isola Franchetti, costituita dal relitto di un piccolo apparato vulcanico composto di scorie basaltiche, già raggiunta e descritta da Zanettin.

Sia dalla descrizione del Vinassa de Regny sul lato Est, sia dalle osservazioni fatte dalla nostra spedizione sui lati Sud-Ovest e Sud-Est, risulta che il lago è abbondantemente rifornito di acqua da numerose sorgenti termali. Poichè le linee di riva non sembrano aver subito variazioni nei tempi recenti è assai probabile che il pur notevole apporto di acqua sia perfettamente compensato dagli elevati valori dell'evaporazione.

Descriveremo prima le caratteristiche delle sorgenti campionate che si trovano sui lati SW e SE del lago, e quindi in seguito le caratteristiche del lago stesso.

Descrizione dei campioni.

Le sorgenti del lato SW sono in tutto una trentina, ma poiché quasi sempre le acque di due o più di queste confluiscono fra loro a formare ruscelletti di portata maggiore, sono state raggruppate in 10



Fig. 1.

sorgenti compressive (numeri 1-10), e i campioni raccolti si riferiscono a prelievi in punti situati a valle di queste confluenze.

La venuta a giorno delle sorgenti è in genere a circa 20 m dalle sponde del lago, e la portata di ogni gruppo si aggira intorno alla decina di litri al secondo.

In fig. 1 sono indicati i punti di campionamento e la tabella 1 riporta le temperature misurate sul posto, e la conduttività specifica ed il pH determinati in laboratorio all'apertura dei flaconi sigillati.

TABELLA 1.

Campione	Temperatura	Conduttività	pH
1	43,5 °C	68×10^{-4}	6,85
2	46	67×10^{-4}	7,15
3	46,5	13×10^{-3}	7,00
4	46,5	65×10^{-4}	7,25
5	44,3	64×10^{-4}	7,45
6	45,4	38×10^{-4}	7,80
7	44	36×10^{-4}	7,98
8	43,5	44×10^{-4}	7,90
9	43	32×10^{-4}	7,75
10	43	30×10^{-4}	7,70
11	26,5	19×10^{-2}	6,65
12	50	61×10^{-3}	6,40
13		25×10^{-2}	6,55
14		77×10^{-3}	6,70

Analisi dei campioni.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle analisi chimiche dei campioni. Per Na, K, Ca, Mg, HCO_3 , Cl, SO_4 , i valori sono espressi nella prima colonna in milliequivalenti/litro e nella seconda in grammi/litro; per SiO_2 , F, H_3BO_3 i valori sono espressi rispettivamente in millimoli/litro e milligrammi/litro.

TABELLA 2.

N° campione	1		2		3		4		5	
Na	43	1,00	42	0,98	59	1,36	42	0,96	42	0,96
K	1,9	0,07	1,7	0,06	4,0	0,14	1,7	0,06	1,6	0,06
Ca	25	0,50	25	0,50	50	1,00	24	0,48	22	0,44
Mg	2,8	0,03	3,4	0,04	4,0	0,05	2,6	0,03	2,8	0,03
HCO ₃	0,52	0,03	0,41	0,02	0,58	0,03	0,56	0,03	0,87	0,05
Cl	66	2,35	66	2,35	112	3,98	64	2,27	60	2,13
SO ₄	4,2	0,20	4,2	0,20	4,4	0,21	4,0	0,19	4,0	0,19
SiO ₂	1,50	90	1,45	87	1,40	83	1,28	77	1,25	75
F	0,14	2,63	0,12	2,37	0,14	2,67	0,14	2,67	0,15	2,95
H ₃ BO ₃	0,09	5,90	0,05	3,10	0,16	9,90	0,14	8,80	0,09	5,60
N° campione	6		7		8		9		10	
Na	26	0,59	25	0,58	24	0,54	24	0,54	22	0,52
K	1,1	0,04	1,0	0,04	0,94	0,04	0,88	0,03	0,88	0,03
Ca	12	0,24	11	0,22	9,00	0,18	7,60	0,15	7,50	0,15
Mg	2,6	0,03	1,9	0,02	1,60	0,02	3,60	0,04	3,40	0,04
HCO ₃	1,1	0,07	1,4	0,08	1,50	0,09	1,60	0,10	1,70	0,10
Cl	35	1,24	36	1,28	31	1,10	30	1,08	28	0,99
SO ₄	3,2	0,15	2,7	0,13	3,2	0,15	3,2	0,15	3,3	0,16
SiO ₂	1,37	82	1,33	80	1,13	68	1,28	77	1,21	73
F	0,18	3,47	0,18	3,52	0,18	3,42	0,19	3,60	0,19	3,60
H ₃ BO ₃	0,08	5,00	0,07	4,60	0,07	4,50	0,09	5,60	0,09	5,60
N° campione	11		12		13		14			
Na	1610	37,30	597	13,75	1930	44,40	735	16,90		
K	64	2,51	17	0,66	71	2,77	24	0,93		
Ca	730	14,60	320	6,40	770	15,40	280	5,60		
Mg	84	1,03	16	0,19	75	0,91	36	0,44		
HCO ₃	1,60	0,10	0,17	0,01	2,20	0,13	1,50	0,09		
Cl	2465	87,78	1010	35,90	2650	94,20	1050	37,30		
SO ₄	26	1,25	13	0,62	24	1,15	12	0,57		
SiO ₂	1,13	68	1,16	70	1,25	75	1,40	84		
F	0,33	6,32	0,12	2,28	0,30	5,67	0,25	4,70		
H ₃ BO ₃	2,20	136	0,55	34	2,10	130	0,90	56		

Diagrammi e parametri rappresentativi della composizione delle acque.

La composizione delle acque delle sorgenti, nn° 1-10 e n° 12, riportata sul diagramma secondo Chebotarev (fig. 2), indica chiaramente che si tratta di acque del tipo a cloruro sodico, ma, per esaminare più

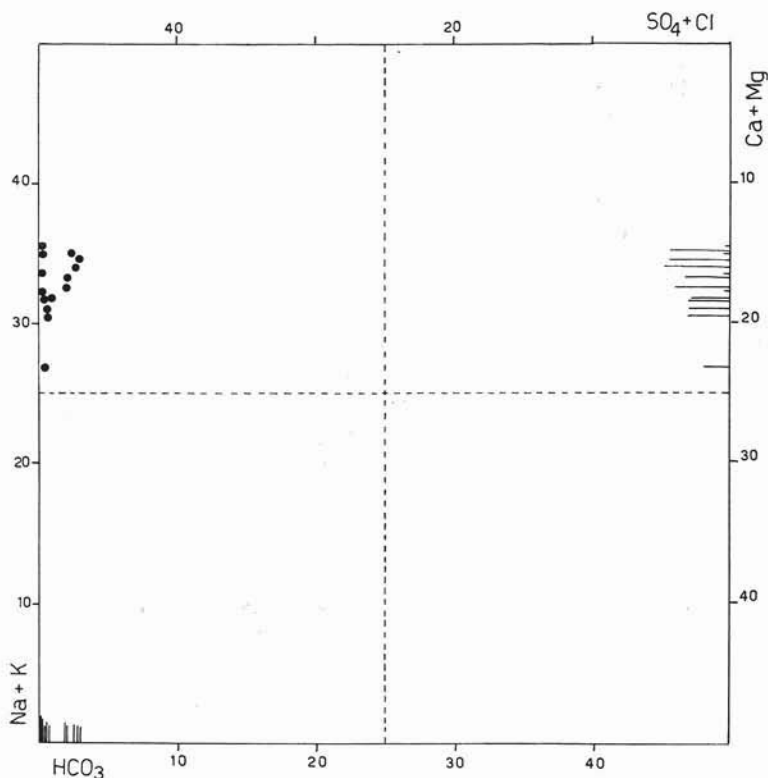


Fig. 2

in dettaglio le caratteristiche minori del chimismo di queste acque, ritengo opportuno ripetere la rappresentazione diagrammatica suddetta sottraendo ad ogni campione l'effetto dovuto alla dissoluzione di cloruro sodico.

La stretta correlazione fra gli ioni Na⁺ e Cl⁻, per tutti i campioni (fig. 3), consente tale procedimento senza che con ciò si introducano cause di possibili errori di valutazione.

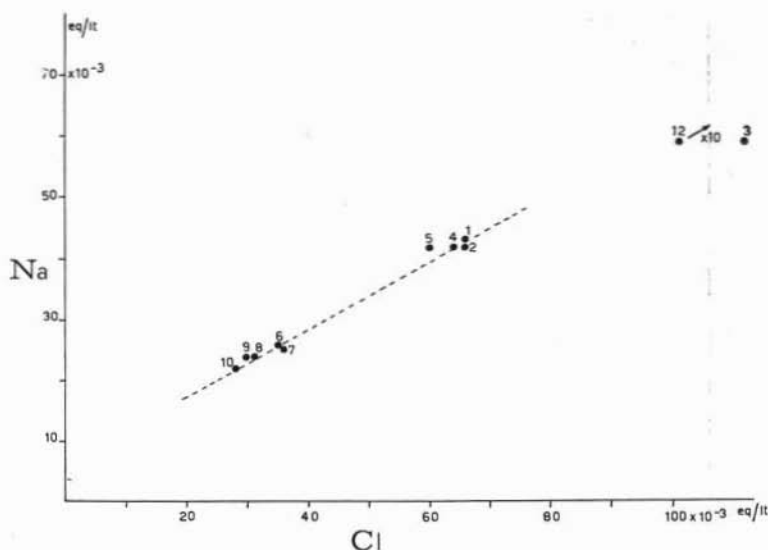


Fig. 3.

Si ottiene così il diagramma di fig. 4.

In tabella 3 sono riportati i valori di reazione dei costituenti fondamentali delle acque analizzate, con in più quelli relativi ad F^- , che serviranno per le considerazioni successive.

In tabella 4 sono indicati i prodotti delle concentrazioni di alcuni ioni, per valutare il grado di saturazione rispetto ai sali da essi formati, delle acque esaminate.

Poichè si tratta di acque estremamente salate, ho preso in considerazione non le concentrazioni dei singoli ioni, ma le loro attività, utilizzando per il loro calcolo le relazioni seguenti:

$$I \text{ (forza ionica)} = \frac{1}{2} \sqrt{\sum C_i Z_i^2}$$

$$-\log \gamma \text{ (coefficiente di attività)} = \frac{A Z_i^2 \sqrt{I}}{1 + \frac{a}{B} \sqrt{I}}$$

$$a \text{ (attività)} = \gamma \cdot C.$$

dove C_i sono le concentrazioni dei singoli costituenti, Z_i le loro cariche, A , B , \bar{a} , costanti.

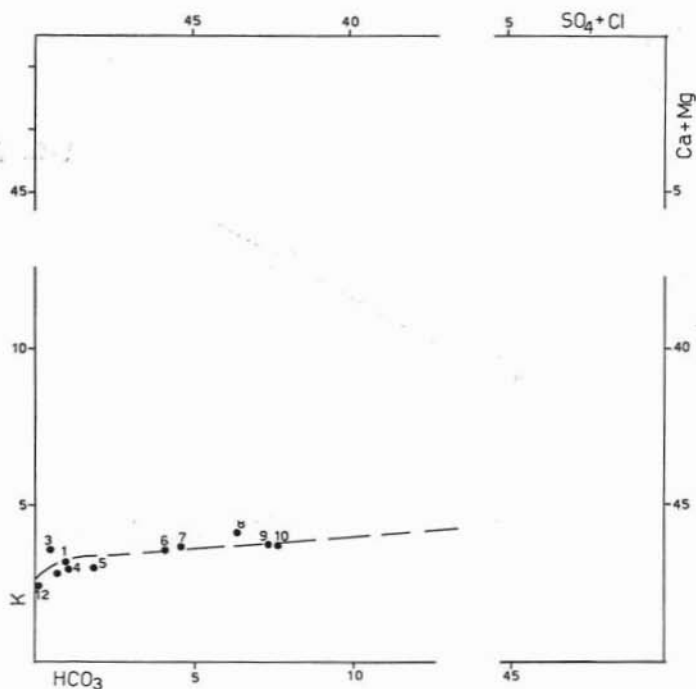


Fig. 4.

TABELLA 3.

N° campione	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	F
1	29,68	1,29	17,12	1,92	0,37	46,50	2,98	0,10
2	29,42	1,11	17,12	2,35	0,29	46,60	2,98	0,08
3	25,23	1,49	21,53	1,75	0,24	47,80	1,87	0,06
4	29,96	1,22	16,95	1,87	0,24	46,60	2,95	0,10
5	30,60	1,17	16,20	2,05	0,66	46,10	3,10	0,11
6	31,25	1,33	14,30	3,15	1,43	44,10	4,08	0,22
7	31,90	1,27	14,35	2,41	1,70	44,60	3,44	0,25
8	33,80	1,34	12,58	2,29	2,14	43,10	4,45	0,25
9	33,40	1,20	10,40	4,94	2,29	42,40	4,55	0,27
10	32,80	1,29	11,00	4,97	2,56	42,20	4,97	0,29
11	32,40	1,29	14,70	1,69	0,04	49,38	0,55	0,01
12	31,25	0,90	17,00	0,84	0,01	49,35	0,61	0,01
13	33,80	1,25	13,60	1,31	0,04	49,50	0,45	0,01
14	34,10	1,11	13,10	1,67	0,08	49,30	0,58	0,00

Considerazioni sul chimismo delle acque delle sorgenti.

Osservando nella tabella 1 i valori delle conduttività specifiche, possiamo innanzitutto distinguere tre gruppi fra le sorgenti prese in considerazione; uno costituito dal n° 12, unica sorgente reperita sul lato SE, uno dalle sorgenti nn° 1-5 del lato SW e l'altro dalle sorgenti nn° 6-10, sempre sul lato SW.

TABELLA 4.

N° campione	$\lg a_{Ca} \cdot a_{CO_3}$	$\lg a_{Ca} \cdot a_{SO_4}$	$\lg a_{Ca} \cdot (a_F)^2$
1	-9,58	-5,49	-10,34
2	-9,38	-5,49	-10,44
3	-9,31	-5,43	-10,25
4	-9,16	-5,45	-10,34
5	-8,82	-5,49	-10,30
6	-8,48	-5,77	-10,30
7	-8,23	-5,89	-10,32
8	-8,41	-5,95	-10,46
9	-8,56	-5,96	-10,45
10	-8,53	-5,91	-10,52
11	-8,59	-4,26	-9,04
12	-9,14	-4,68	-9,97
13	-8,51	-4,27	-9,00
14	-8,96	-4,78	-9,41

$$K_{ps_{CaCO_3}} = 10^{-8,55} \quad K_{ps_{CaSO_4}} = 10^{-5,25} \quad K_{ps_{CaF_2}} = 10^{-10,70}$$

I valori di conduttività specifica, che sono in relazione stretta con la salinità, indicano una diminuzione della stessa, passando da un gruppo all'altro.

Il diagramma secondo Chebotarev, modificato come già detto, (fig. 4), indica che sostanzialmente i punti rappresentativi della composizione delle acque di tutte le sorgenti si trovano lungo un'unica linea di variazione, e che la composizione delle acque delle sorgenti del lato SW può ottenersi per diluizione del tipo della sorgente n° 12 da parte di un'acqua sostanzialmente a carbonato di calcio e magnesio.

La fig. 5 mette in evidenza inoltre la relazione inversa tra salinità e concentrazione in carbonati, e la tabella 4 consente di osservare come le acque delle sorgenti nn° 6-10, pur più diluite delle altre, sono le sole ad essere sature rispetto a $CaCO_3$.

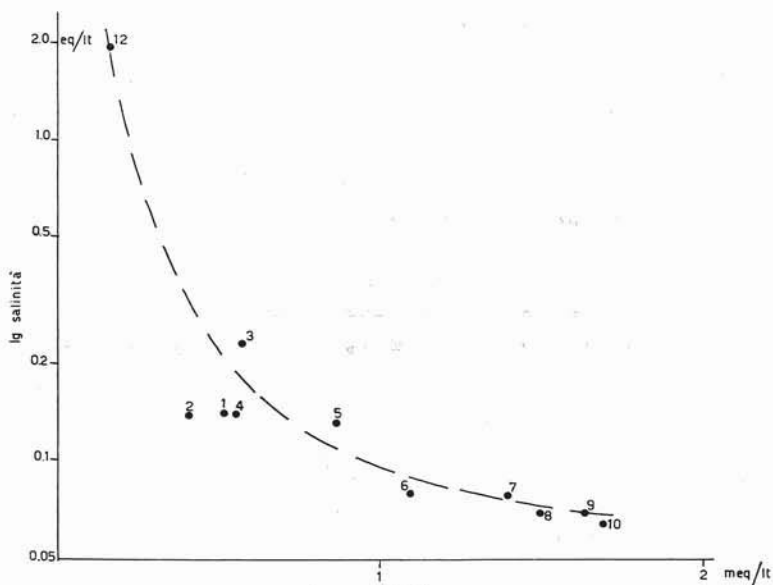


Fig. 5.

Si può quindi affermare l'esistenza di un processo di diluizione progressiva di un tipo di acqua molto salata, da parte di soluzioni meno salate ma più ricche in carbonati.

Non è azzardato ipotizzare la presenza delle potenti formazioni evaporitiche, riscontrate in gran parte della depressione, anche in questa zona ed attribuire al dilavamento di esse la salinità della soluzione « madre » di tutte le sorgenti prese in esame; infatti il loro chimismo fondamentale ha proprio le caratteristiche di una soluzione che abbia disciolto sali che si depositano nella fase terminale di evaporazione di un bacino chiuso (NaCl , KCl , MgCl_2 , MgSO_4).

D'altra parte tutta la zona fra il lago Giulietti ed i rilievi vulcanici della catena centrale presenta uno strato superficiale di polvere bianca, la quale all'analisi chimica è risultata essere calcite, con circa il 10% di carbonato di magnesio; le acque di circolazione superficiale e subsuperficiale sono quindi ricche in carbonati e non è difficile individuare in esse le soluzioni meno salate che diluiscono l'acqua « madre ».

La maggiore carica salina dell'acqua della sorgente n° 12 è dovuta all'assenza od a un modesto grado di diluizione; dai rapporti di

salinità infatti appare che le acque dei due gruppi di sorgenti del lato SW sono più diluite rispetto a quella del n° 12 di circa 15 e 30 volte rispettivamente; da una temperatura di 50°C si passa a circa 45°C, e da una portata di molto meno di 1 lt/sec a circa 10 lt/sec.

La diluizione per apporto di acqua più superficiale dovrebbe però avere come effetto, oltre all'incremento della portata, una variazione della temperatura anche fra i due gruppi di sorgenti del lato SW. Non è stata verificata con precisione la portata, mentre certamente non si hanno sensibili variazioni di temperatura; per quanto riguarda quest'ultimo punto, però, ritengo che la differenza non sussista poichè anche le acque di circolazione più superficiale hanno una temperatura di circa 45°C, a causa della forte temperatura di superficie, che per buona parte dell'anno supera i 50°C.

Riassumendo, il processo genetico delle sorgenti del lago Giulietti può essere delineato in modo piuttosto semplice. Acque di probabile provenienza meteorica disciolgono i livelli superiori della formazione evaporitica che occupa il fondo della depressione e risalgono in superficie, venendo interessate da fenomeni di diluizione da parte di acque di circolazione subsuperficiale, ricche in carbonati. Il chimismo fondamentale delle acque delle varie sorgenti consente di ritenere assai simili gli orizzonti dilavati sia sul lato SE che sul lato SW del lago, attribuendo la diversa salinità fra diversi gruppi di sorgenti solo al diverso grado di diluizione.

Composizione delle acque del lago.

I risultati dell'analisi delle acque del lago, sostanzialmente gli stessi per i due campioni raccolti, nn° 11 e 13, sono riportati in tabella 2.

Osservando i valori di reazione di tabella 3 e la fig. 6 possiamo dedurre che dalle acque del lago sono precipitati CaSO_4 , CaCO_3 e CaF_2 ; infatti si nota una costante diminuzione dei valori di reazione di Ca, HCO_3 , SO_4 ed F, passando dalle acque delle sorgenti a quelle del lago. Per il Ca non si ha diminuzione rispetto alle sorgenti nn. 6-10 in quanto, come già detto, queste sono già sature rispetto a CaCO_3 .

Il fluoruro ed il carbonato sono meno solubili del solfato, sono i primi a precipitare ed è possibile che si ritrovino essenzialmente fra i

sedimenti vicini alle sponde allo sbocco delle sorgenti nel lago, mentre il solfato dovrebbe predominare fra i sedimenti man mano che ci si allontana dalla riva. Un campione di sedimento raccolto presso l'isola Franchetti è risultato essere costituito da gesso con circa il 10% di anidrite.

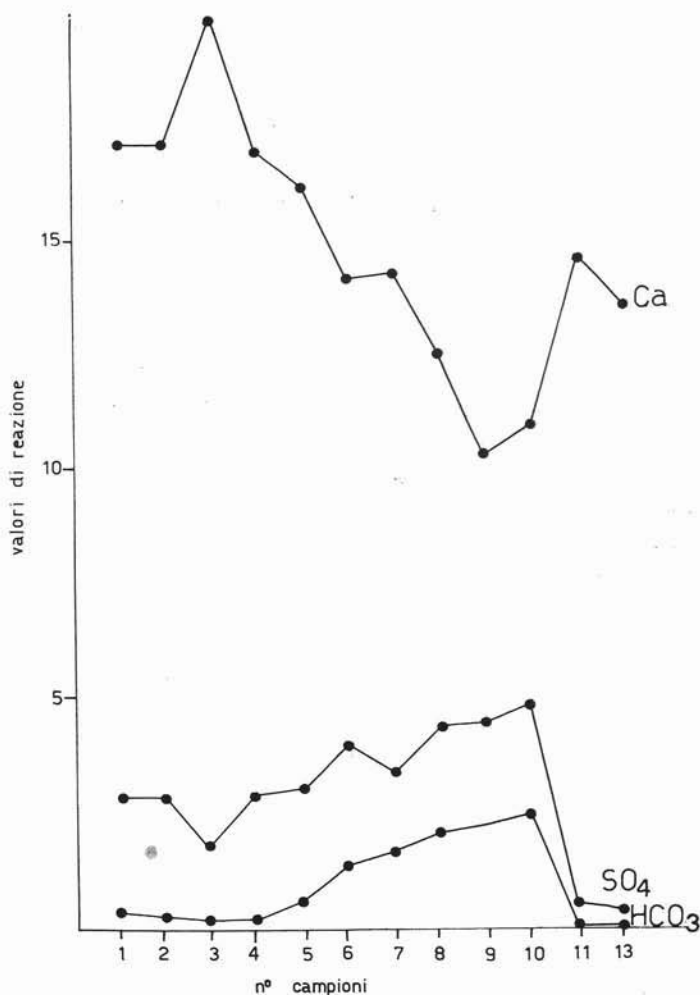


Fig. 6.

Caratteristica curiosa del lago è la schiuma bianca che le acque accumulano sulle rive; il Vinassa de Regny la riteneva composta di

lamelle di sali galleggianti sull'acqua, ma un campione raccolto nel corso della nostra missione ha rivelato all'esame trattarsi essenzialmente, di sostanza organica, con il 7,75% Cl, 3,67% Na, 1,28% Ca, 0,2% K, 0,1% SO₄, 0,02% Mg.

Una nota assai interessante è costituita dal fatto che, mentre il lago è completamente privo di fauna ittica, a causa della sua eccessiva salinità, nella zona intorno allo sbocco nel lago stesso del gruppo di sorgenti corrispondenti al campione n° 10, nell'acqua con la composizione del campione n° 14, vivono dei piccoli pesci; essi non possono risalire a monte verso la sorgente perchè la temperatura si fa troppo elevata, e si ha quindi una forma di vita relegata nel solo piccolo intervallo lasciato possibile da due condizioni ambientali proibitive.

Conclusioni.

E' noto che la parte più depressa del bassopiano dancaleo si trova a nord ed è costituita dal Piano del Sale e dalle pianure che circondano la catena di vulcani attivi dell' Erta Alè. La presenza del duomo di sali potassici di Dallol e di un altro duomo di sali, scoperto nel corso della spedizione, nell'area vulcanica dell' Erta Alè, non lasciano alcun dubbio sul fatto già noto da tempo che il bassopiano dancaleo, per lo meno nella sua parte settentrionale, sia un bacino di mare isolato dal Mar Rosso in epoca recente e completamente prosciugato.

TABELLA 5.

	MAR MORTO		LAGO GIULIETTI	
	eq/lt	gr/lt	eq/lt	gr/lt
Na	1,45	33,50	1,93	44,40
K	0,16	6,30	0,07	2,77
Ca	0,65	13,00	0,77	15,40
Mg	2,84	34,50	0,07	0,91
HCO ₃	0,004	0,25	0,002	0,13
Cl	5,10	180,80	2,65	94,20
SO ₄	0,02	0,90	0,02	1,15
	10,22	269,25	5,51	158,97

Era lecita quindi la supposizione che il lago Giulietti, che rappresenta il punto più meridionale dell'area depressa, fosse un lago residuo di questo antico braccio di mare, analogamente a quanto sicuramente accaduto per il Mar Morto; è da notare peraltro che già Vinassa de Regny esclude questa ipotesi senza però spiegarne chiaramente i motivi.

Il confronto fra la composizione delle acque del lago Giulietti e del Mar Morto (tabella 5) consente di escludere in modo praticamente certo l'analogia della loro genesi.

Un lago residuo infatti è sempre fortemente arricchito in magnesio, per la grande solubilità dei suoi sali; accettando anche la ben nota reazione di precipitazione della dolomite per reazione di $MgSO_4$ con $CaCO_3$, può aversi una diminuzione di magnesio che rimane comunque in eccesso rispetto al calcio, ed inoltre i depositi lacustri devono contenere abbondante dolomite.

Tutto ciò invece non si verifica al lago Giulietti, che deve la sua salinità alla ridissoluzione dei minerali depositati nel corso dell'evaporazione dell'antico bacino marino.

Centro di geochimica e mineralogia del C.N.R. presso Istituto di mineralogia, petrografia e geochimica dell'Università di Firenze.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BENTOR Y. K. - *Some geochemical aspects of the Dead Sea*. Geoch. Cosm. Acta, 25, 239-260 (1961).
- (2) BORCHERT H. - *Ozeane Salzlagerstätten*. Berlin (1959).
- (3) GARRELS R., CHRIST C. - *Solutions, Minerals, and Equilibria*. New York (1965).
- (4) JUSTIN-VISENTIN E., ZANETTIN B. - *Prime osservazioni geologico-petrografiche nella Danalia interna, fra Sardò e Dallol*. St. Trent. Sc. Nat. A, XXV, n. 1, 3-21 (1968).
- (5) TWENHOFEL W. - *Treatise on sedimentation*. New York (1961).
- (6) USDOWSKI H. - *Die Genese von Dolomit in Sedimenten*. Berlin (1967).
- (7) VINASSA DE REGNY P. - *I depositi di Ghelelli, del Gali Koma e del Lago Afrera nella depressione dancala*. Rend. R. Acc. Lincei, XIII, ser. 6, 99-103 (1931).

ERRATA CORRIGE

La formula riportata nel rigo 11 di pag. 71 del vol. XXV Fasc. 1 dei Rendiconti, deve leggersi nel modo seguente:

$$I \text{ (forza ionica)} = \frac{1}{2} \sum C_i Z_i^2$$