

STUDI SASSARESI

Sezione III

1978

Volume XXVI

ANNALI DELLA FACOLTÀ DI AGRARIA DELL'UNIVERSITÀ
DI SASSARI

DIRETTORE: O. SERVAZZI

COMITATO DI REDAZIONE: M. DATTILO - F. FATICHENTI - L. IDDA - 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)

**Prime considerazioni sul chimismo e sul termalismo
delle acque minerali della Sardegna settentrionale**

BRUNO DETTORI

PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO *

Nel quadro delle ricerche afferenti al Progetto Finalizzato Energetica, sottoprogetto Energia Geotermica, è stato intrapreso uno studio sistematico sulle acque a bassa ed alta entalpia emergenti in Sardegna.

Scopo dello studio è quello di valutare, attraverso indagine geochimica, il grado entalpico dei campi termali censiti nel territorio sardo e valutare inoltre, attraverso la ricostruzione dei loro circuiti di approfondimento, la capacità dei loro serbatoi.

Collaborano nell'indagine l'Istituto Internazionale per le Ricerche Geotermiche di Pisa e per quanto riguarda la parte meridionale della Sardegna, l'Istituto di Mineralogia dell'Università di Cagliari.

In questa prima nota si riferiscono i risultati della campagna nel nord Sardegna del 1977, comunicati durante la riunione del sottoprogetto Energia Geotermica, tenutasi a Sassari il 25-26 maggio 1978. In quella sede, presenti quasi tutte le Unità Operative del sottoprogetto, si sono puntualizzati gli obiettivi comuni che, con la conclusione del progetto, consentiranno fra l'altro una prima valutazione del potenziale geotermico di tutto il territorio nazionale.

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

INQUADRAMENTO REGIONALE DELLA SARDEGNA

L'assetto geolitologico della Sardegna può essere individuato nei seguenti complessi fondamentali (Fig. 1):

— Complesso Paleozoico - di età cambrico-permica costituito da una potente successione di argilloscisti, calcari e quarziti con intercalate vulcaniti basiche. Questa successione è stata ampiamente dislocata e metamorfosata dalle orogenesi Caledoniana ed Ercinica durante le quali si ebbero intrusioni di grandi masse granitiche lungo le direttrici tettoniche orientate N-S e NW-SE. Come si può notare in figura 1 questi terreni costituiscono tre affioramenti di forma ellissoidica: Gallura - Gennargentu - Sarrabus, Argentera - Asinara e Sulcis - Iglesiente separati tra loro dalla grande depressione che dal Golfo dell'Asinara si estende in senso longitudinale fino al Golfo di Cagliari.

— Complesso Mesozoico - costituito da sedimenti evaporitici e da calcari che si rinvengono particolarmente sviluppati nella Nurra e nella parte orientale e sud-orientale dell'Isola.

— Complesso Cenozoico-Quaternario rappresentato dai sedimenti di ambienti diversi (marini, lagunari e fluvio-lacustri) e dalle rocce vulcaniche che hanno in parte colmato il grande graben sardo. In particolare si tratta di calcari, arenarie e marne intercalate a tufi vulcanici e vulcaniti. Queste manifestazioni vulcaniche sono legate a due cicli eruttivi che si sono avuti nel Miocene (preelveziano) e nel Plio-pleistocene in seguito a fasi tettoniche distensive cui la Sardegna è stata sottoposta nel corso dell'Orogenesi Alpina.

Da queste brevi annotazioni e dall'osservazione della bibliografia citata, emerge chiaramente che dal punto di vista idrogeologico la Sardegna è in gran parte costituita da terreni prevalentemente impermeabili e nei quali la circolazione delle acque avviene esclusivamente per fenomeni di permeabilità secondaria e cioè in fessure. Queste vie sono in relazione ad allineamenti o ad incroci di più sistemi di faglie che hanno subito un continuo ringiovanimento nel corso delle varie orogenesi.

Per quanto riguarda il tema di ricerca, l'area presa in esame è la parte centro-settentrionale dell'Isola, cioè la zona immediatamente a Nord dell'allineamento ideale che congiunge il Golfo di Oristano al Golfo di Orosei.

In questa zona le linee tettoniche fondamentali sono rappresentate dall'allineamento N-S del graben centrale sardo e dalle faglie trascorrenti che, con direzione SSW-NNE, danno origine ad una serie di gradini che risalgono

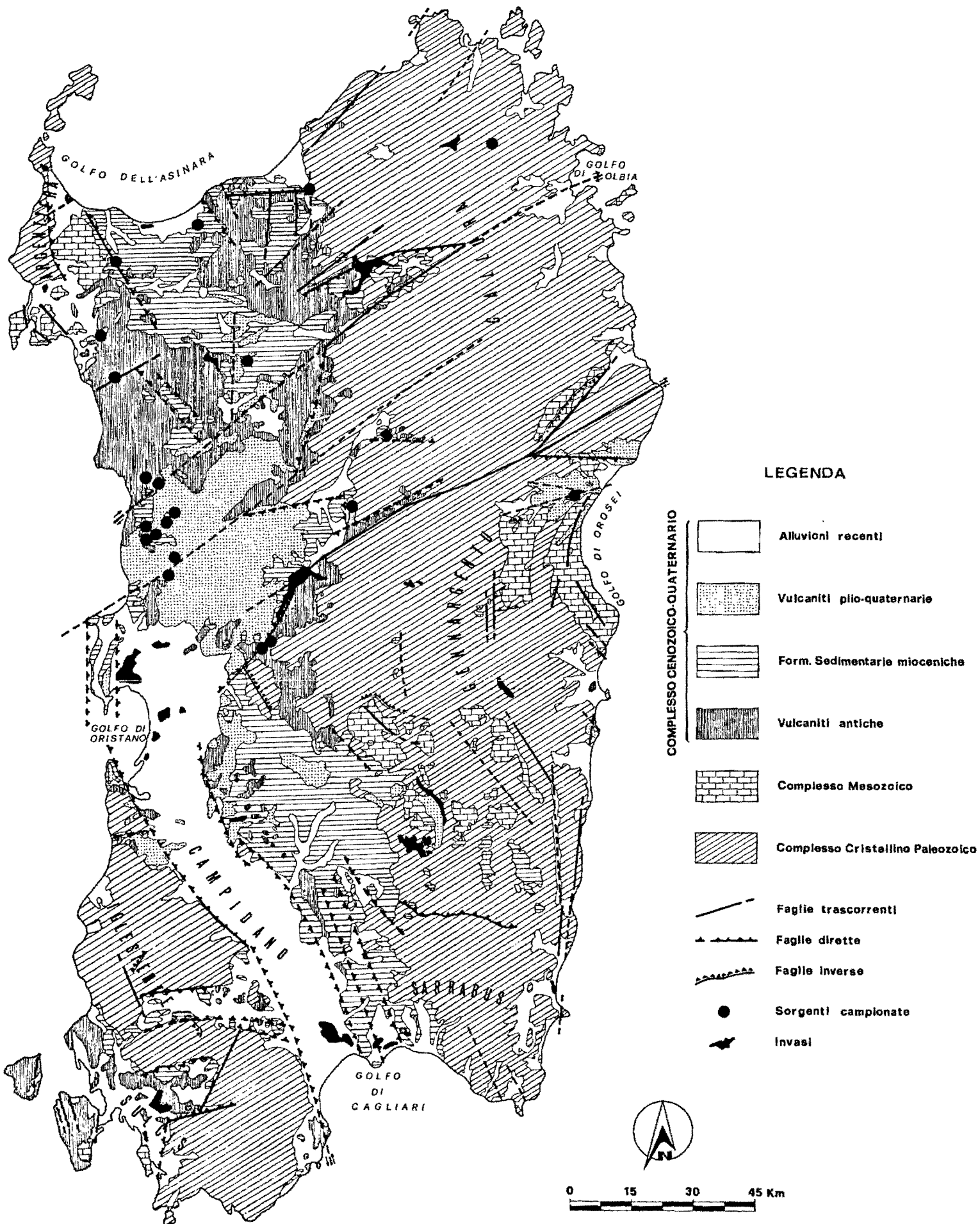


Fig. 1 - Schema geologico strutturale della Sardegna con ubicazione dei punti d'acqua censiti.

fino alla catena del Marghine (horst) e da qui discendono originando la grande depressione tettonica, in cui si è insediato il Fiume Tirso, che dal Golfo di Oristano giunge fino al Golfo di Olbia (costa orientale).

Nelle zone di incontro delle direttrici N-S e SSW-NNE si ha una più intensa fratturazione delle rocce che permette una più attiva circolazione idrica sotterranea e la risalita a giorno delle acque di circolazione profonda, talvolta termali. Dall'analisi della figura 1 si può constatare una stretta relazione tra i centri termali presi in considerazione nel nostro studio e le linee tettoniche fondamentali. In particolare essi si rinvencono lungo il margine della grande depressione sarda:

— Parte settentrionale, al contatto con le vulcaniti mioceniche e gli affioramenti granitici della Gallura (Casteldoria *);

— Parte meridionale, al contatto tra le vulcaniti mio-plioceniche e gli affioramenti granitici (Benetutti, Oddini, Fordongianus). Questi centri termali sono ubicati in corrispondenza della depressione tettonica trasversale del Tirso riempita da materiali prevalentemente effusivi (basalti), marne, sedimenti fluvio-lacustri paleogenici, tufi trachitici ed andesitici.

Nella parte occidentale del graben, interessanti le vulcaniti basiche, emergono due manifestazioni termali, una delle quali (Putifigari) è venuta a giorno solo in seguito allo scavo di una galleria di raccordo tra due dighe.

Unica manifestazione termale, al di fuori della depressione centrale sarda, si trova lungo la costa orientale in prossimità del Golfo di Orosei in corrispondenza della prosecuzione della dislocazione SSW-NNE del Tirso.

CENSIMENTO DELLE ACQUE TERMALI

Per il censimento delle acque termali sono state individuate dalla letteratura tutte le sorgenti con temperatura anomala in relazione alla media atmosferica. Esse sono raccolte nella tabella 1, dove sono indicati alcuni parametri caratteristici (quota, temperatura, ecc.), ed ubicate nella figura 2.

Nella figura 3 è rappresentato l'andamento medio mensile della temperatura dell'aria, in relazione alla quota, della Sardegna.

Su alcune delle sorgenti ubicate nella parte settentrionale dell'Isola, è stata eseguita nel mese di novembre una prospezione geochimica per una

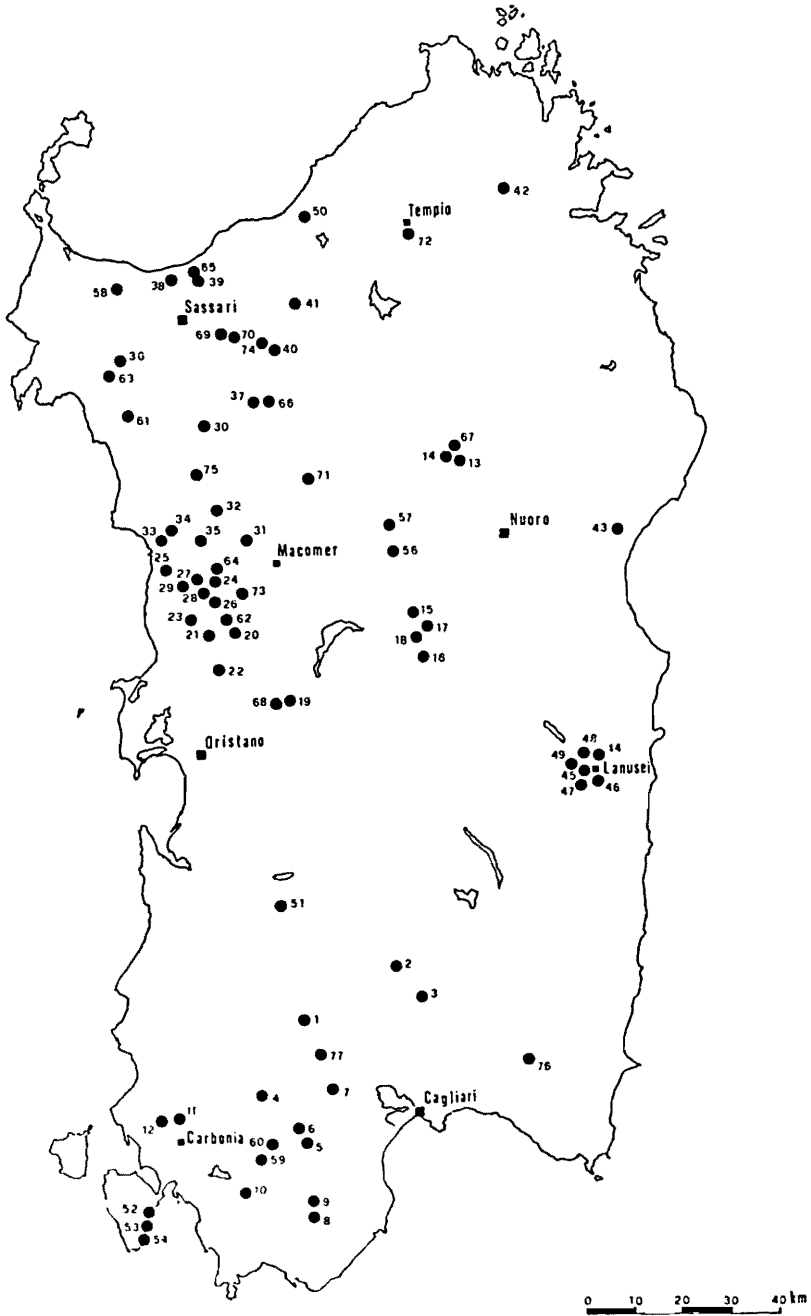
* Su Casteldoria e Benetutti sono stati dall'Autore pubblicati degli studi recenti (Dettori e Passino 1975, Dettori et al. 1975, Nuti et al. 1977).

Tabella 1 - *Elenco acque termominerali e minerali.*

N.	Denominazione	Quota msm	T °C	Foglio		Comune
1	Acquacotta	72	62	225	II SO	Villasor
2	Su Meriagu S. Filippu	190	54	226	IV SO	Pimentel
3	Tuerra	230	25	226	III NE	Donori
4	Cracchera Ortu Basciu	230	27	233	I NO	Siliqua
5	Mitza Pasquali Uccheddu	500	21	233	I SO	Siliqua
6	Mitza de su Casteddu	400	21	233	I SO	Siliqua
7	Mitza Santu Nicola	63	23	233	I NE	Uta
8	Mitza Medau Is Eguas	856	15	233	II SE	Pula
9	Mitza Sega Is Pigus	615	17	233	II SE	Pula
10	Sa Cracchera	100	24	233	III SE	Giba
11	Cabu D'Acquas Barbusi	104	19	233	IV SO	Carbonia
12	Acquas Callentis	70	20	233	IV SO	Carbonia
13	Sa Gutta e Sas Concas	260	44	194	III NE	Benetutti
14	Su Banzu Mannu	260	44	194	III NE	Bultei
15	F.na Biserinerzo 1	315	22	207	IV SE	Sarule
16	F.na Sa Murta	500	20	207	III NE	Ovodda
17	F.na Frau e Gisenighidola	940	15	207	III NE	Ollolai
18	F.na Cantaru Gogoguzzi	845	18	207	III NE	Ollolai
19	Caddas	20	54	217	I NO	Fordongianus
20	F.na Badu Pirastru	368	14	206	III NE	Santulussurgiu
21	F.na Scala	622	20	206	III NE	Seneghe
22	Reigargiu	27	20	206	III SE	Milis
23	F.na Pugnolo	410	17	206	III NO	Cuglieri
24	F.na Abbauddi	416	20	206	IV SE	Sc. Montiferru
25	F.na Patargia	200	19	206	IV SO	Tresnuraghes
26	Matta 'e Arghentu	600	18	206	IV SE	Sc. Montiferru
27	Sa Rocca C. Piredda	332	18	206	IV SO	Sc. Montiferru
28	Sa F.na Berrese	320	18	206	IV SO	Sennariolo
29	F.na Defigu	250	18	206	IV SO	Sennariolo
30	F.na Abbauddu	320	22	193	IV SO	Ittiri
31	Funtaneda	555	17	206	IV NE	Pozzomaggiore
32	F.na Cannas Cheggia	350	18	193	III SE	Padria
33	F.na Mattagiana	40	23	206	IV NO	Bosa
34	S'Attiga Mattagiana	20	21	206	IV NO	Bosa
35	F.na S'Ena Sos Ulimos	257	22	206	IV NO	Suni
36	Bullone Matta Arghentu	34	20	192	I NE	Alghero
37	Bidda Noa	275	19	193	I NO	Siligo
38	Fonte Porcaggiu	35	21	180	III NO	Sorso
39	Billellara	110	19	180	III NE	Sorso
40	Pentuma	300	18	193	I NO	Ploaghe
41	Binza e Maniga	206	19	180	II NE	Chiaramonti

Segue Tabella 1

N.	Denominazione	Quota msm	T °C	Foglio		Comune
42	Bulioni	330	19	181 I	NE	Muddizza
43	Abba Meiga	165	30	208 IV	NE	Dorgali
44	Sipparis	850	15	219 IV	SO	Lanusei
45	Abbafrida	845	15	219 IV	SO	Lanusei
46	Bau e Meu	780	15	219 IV	SO	Lanusei
47	Bau e Meu	720	16	219 IV	SO	Lanusei
48	Piresoli 2	905	16	219 IV	SO	Lanusei
49	Mesu Cea 3	896	15	219 IV	SO	Lanusei
50	Casteldoria	6	70	180 I	SE	Valledoria
51	S. Maria Is Acquas	83	50	225 I	NO	Sardara
52	Portixeddu	0		232 II	SE	S. Antioco
53	Coa Quaddu	0		232 II	SE	S. Antioco
54	Maladroxia	0		232 II	SE**	S. Antioco
55	S'Acqua Callenti	115	40	233 III	SE	Giba
56	F.na Oddini	163	32	207 IV	NO	Orani
57	Acqua Sos Bagnos	185	23	207 IV	NO	Illorai
58	Abba Meiga	25	22	179 II	NE	Sassari
59	Acqua Callenti	177	30	233 II	NO	Nuxis
60	Beppi Mereu	202	30	233 II	NO	Nuxis
61	Galleria Temo-Cuga	190	32	192 I	SE	Putifigari
62	La Madonnina	730	12	206 III	NE	Santulussurgiu
63	Su Mattone	19	16	192 I	NE	Olmedo
64	Sant'Antioco	445	14	206 IV	SE	Sc. Montiferro
65	Sorso	108	17	180 III	NE	Sorso
66	Abbauddi	283	17	193 I	SO	Siligo
67	Aurora Terme	260	37	194 III	NE	Benetutti
68	Fordongianus Terme	20	42	217 I	NO	Fordongianus
69	San Martino	243	16	180 III	SE	Codrongianus
70	Montes	252	16	180 III	SE	Codrongianus
71	Santa Lucia	379	16	193 II	NE	Bonorva
72	Rinaggiu	580	11	181 IV	SE	Tempio
73	S. Leonardo	684	11	206 IV	SE	Santulussurgiu
74	F.na Abbauddi-Othila	348	16	180 III	SO	Ploaghe
75	F.na Abbarghente	160	23	193 III	NE	Romana
76	F.na San Basilio	123	18	234 I	NE	Sinnai
77	Mitza De Su Ferru	49	18	233 I	NE	Decimoptzu



● Sorgenti termominerali e minerali

Fig. 2 - Ubicazione delle sorgenti termominerali e minerali della Sardegna.

prima valutazione del grado entalpico delle acque. L'estrema variabilità dei contenuti salini di queste, qualitativamente ricche in NaCl e quantitativamente passanti da 100 mg/l a 5970 (vedi tabella 3), hanno suggerito di verificare la composizione chimica delle acque di precipitazione per individuare, da una parte, la situazione geochimica di partenza dei circuiti idrogeologici della regione, dall'altra per capire quanto i contenuti salini di una sorgente siano attribuibili alle acque di precipitazione e non all'interazione acqua-roccia.

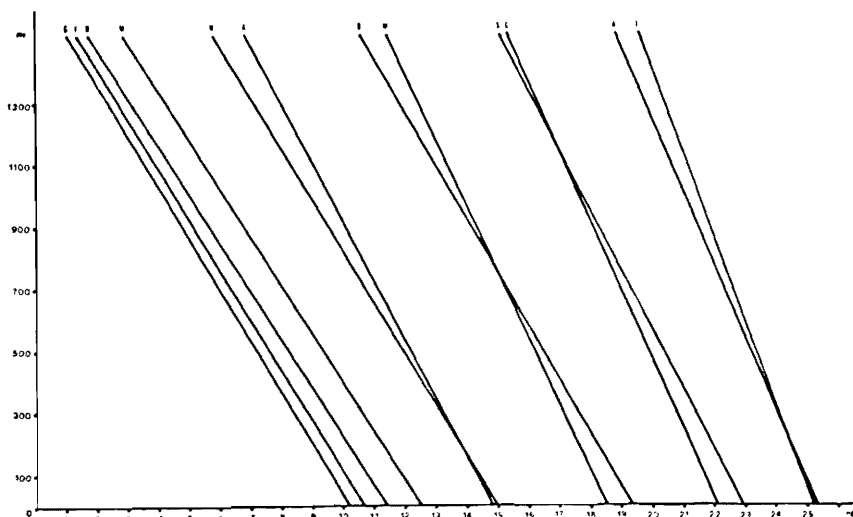


Fig. 3 - Andamento medio mensile temperatura-quota della Sardegna.

A questo scopo nell'area in studio, opportunamente scelte per ubicazione e quota, sono state individuate alcune località, sedi di stazioni pluviometriche (Fig. 4), le cui acque di precipitazione, raccolte in contenitore di plastica chiuso, sono state con frequenza mensile analizzate in laboratorio.

Nella tabella 2 sono raccolti i dati analitici di ciascuna stazione mentre nella figura 5 vengono riportati in diagramma semilogaritmico i valori relativi ai contenuti salini (calcolati come media ponderale che tiene conto pertanto della quantità delle precipitazioni) per ciascuna stazione pluviometrica.

Dall'esame della figura 5 possiamo notare che i valori massimi sono rappresentati dagli ioni Na+K e Cl ed inoltre che nelle stazioni di Sassari e Fertilia si riscontra un elevato contenuto di SO₄ in relazione alla loro maggiore vicinanza agli stabilimenti petrolchimici di Porto Torres.

Tabella 2 - *Dati analitici calcolati con media ponderale delle acque di precipitazione.*

N.	Stazione	Quota m	Periodo	piog. mm	Ca mg/l	Ca meq/l %	Mg mg/l	Mg meq/l %	Na mg/l	Na meq/l %	K mg/l	Na+K %	
A	Codaruina	15	Dic. Giu.	408	3.85	0.19	1.88	0.15	13.10	0.56	1.03	0.02	63
B	Fertilia	39	Gen. Giu.	354	3.92	0.19	1.71	0.14	17.69	0.76	1.47	0.03	70
C	Macomer	572	Dic. Giu.	557	1.93	0.09	1.58	0.12	9.54	0.41	0.57	0.01	66
D	Olbia	15	Apr. Giu.	132	2.01	0.10	0.66	0.05	4.55	0.19	0.30	0.01	57
E	Oristano	12	Gen. Giu.	231	1.64	0.08	1.92	0.15	13.38	0.58	0.85	0.02	72
F	Sassari	224	Nov. Giu.	555	4.47	0.22	1.68	0.13	11.89	0.51	0.75	0.02	60
G	Canales	713	Nov. Giu.	548	2.96	0.14	1.68	0.13	11.26	0.48	0.80	0.02	64
H	Torralba	352	Gen. Giu.	342	5.84	0.29	1.36	0.11	8.79	0.38	0.95	0.02	50

Segue Tabella 2

N.	Stazione	Quota m	Periodo	piog. mm	HCO ₃ mg/l	HCO ₃ meq/l %	SO ₄ mg/l	SO ₄ meq/l %	Cl mg/l	Cl meq/l %	Salinità mg/l	
A	Codaruina	15	Dic. Giu.	408	16.66	0.27	9.69	0.20	33.50	0.93	70.92	2.18
B	Fertilia	39	Gen. Giu.	354	26.81	0.44	14.17	0.29	39.58	1.11	91.94	2.74
C	Macomer	572	Dic. Giu.	557	9.25	0.15	7.57	0.15	25.23	0.71	51.04	1.56
D	Olbia	15	Apr. Giu.	132	7.58	0.12	5.87	0.12	12.47	0.35	29.65	0.88
E	Oristano	12	Gen. Giu.	231	11.33	0.19	10.94	0.22	35.74	1.00	70.14	2.13
F	Sassari	224	Nov. Giu.	555	13.60	0.22	15.78	0.32	30.71	0.86	72.08	2.17
G	Canales	713	Nov. Giu.	548	18.01	0.30	7.78	0.16	28.95	0.81	62.43	1.88
H	Torralba	352	Gen. Giu.	342	21.93	0.36	8.25	0.17	22.38	0.63	58.54	1.78

Tabella 3 - *Dati analitici delle sorgenti censite.*

Numero del punto d'acqua Denominazione	14 Banzu Mannu	19 Caddas	21 Scala	25 Patargia	28 Berrese	29 Defigu	33 Matta- giana	35 Sos Ulimos	37 Bidda Noa	39 Billelora
Temperatura	42.00	54.00	12.00	16.00	15.00	15.00	22.00	16.00	18.50	16.50
Conducibilità elettrica a 18°C	800.00	1130.00	180.00	690.00	700.00	950.00	1150.00	1100.00	840.00	2350.00
Residuo fisso a 110°C	550.00	680.00	130.00	500.00	520.00	680.00	780.00	660.00	590.00	1890.00
pH	8.60	7.70	6.60	7.30	7.00	7.30	7.10	7.20	7.40	6.80
Ione Calcio	10.45	14.20	7.40	69.00	62.00	106.00	58.00	52.00	95.00	213.00
» Magnesio	0.75	0.80	5.20	20.00	21.00	22.00	36.00	62.00	25.00	61.00
» Sodio	145.00	220.00	23.00	73.00	85.00	91.00	161.00	117.00	71.00	220.00
» Potassio	3.00	2.40	5.20	4.70	5.00	3.00	8.50	8.20	1.20	46.00
» Idrocarbonico	0.00	48.81	54.92	256.27	262.37	402.60	115.20	439.20	335.50	573.40
» Solforico	34.40	39.40	26.50	34.00	24.00	35.00	63.75	45.00	50.00	203.50
» Cloro	225.40	315.95	39.05	110.05	120.70	149.10	330.15	166.85	117.10	408.20
» SiO ₂	26.35	26.80	7.00	8.80	8.60	9.05	7.25	11.30	8.00	14.00
Salinità	445.00	644.40	136.96	448.14	457.69	617.30	722.45	658.60	535.25	1452.70
Ione Calcio	0.29	0.71	0.37	3.44	3.09	5.29	2.89	2.59	4.74	10.63
» Magnesio	0.06	0.06	0.43	1.64	1.73	1.81	2.96	5.10	2.06	5.02
» Sodio	6.31	9.57	1.00	3.17	3.70	3.96	7.00	5.09	3.09	9.57
» Potassio	0.08	0.06	0.03	0.12	0.13	0.10	0.22	0.21	0.03	1.18
Σ Cationi	7.01	10.40	1.83	8.37	8.65	11.16	13.07	12.99	9.92	26.40
Ione Idrocarbonico	0.00	0.80	0.90	4.20	4.30	6.60	1.90	7.20	5.50	9.40
» Solforico	0.72	0.82	0.55	0.71	0.50	0.73	1.33	0.94	1.04	4.24
» Cloro	6.36	8.91	1.10	3.10	3.40	4.20	9.31	4.76	3.30	11.51
Σ Anioni	7.08	10.53	2.55	8.01	8.20	11.53	12.54	12.90	9.84	25.15

Segue Tabella 3

Numero del punto d'acqua Denominazione	42 Bulioni	43 Abba Meiga	50 Castel- doria	56 Oddini	58 Abba Meiga	61 Temo Cuga	62 Madon- nina	63 Mattone	64 Antioco	68 Ford. Terme	73 S. Leo- nardo	
Temperatura	°C	15.50	30.00	69.00	32.00	21.50	32.30	12.00	17.20	14.00	42.00	11.00
Conducibilità elettrica a 18°C	µS	270.00	420.00	7200.00	890.00	1150.00	1150.00	135.00	1140.00	230.00	1110.00	150.00
Residuo fisso a 110°C	mg/l	200.00	370.00	5970.00	570.00	1000.00	730.00	110.00	780.00	160.00	680.00	100.00
pH		6.90	7.40	7.10	8.70	6.90	8.10	6.50	6.90	7.20	7.55	6.50
Ione Calcio	mg/l	10.00	65.50	630.00	12.00	85.75	28.90	4.70	145.00	5.95	14.15	5.75
» Magnesio	»	6.00	18.00	1.75	0.80	59.08	5.80	3.90	3.50	8.00	0.75	4.05
» Sodio	»	37.50	29.00	1140.00	178.00	128.00	220.00	21.00	81.00	33.00	220.00	21.00
» Potassio	»	1.60	2.30	64.00	2.95	7.00	4.00	1.00	3.20	1.60	1.75	1.20
» Idrocarbonico	»	61.00	250.10	30.50	6.10	512.40	103.70	30.50	469.70	61.00	35.00	30.00
» Solforico	»	13.20	8.80	99.00	30.00	46.80	43.25	0.00	43.50	6.00	40.00	8.50
» Cloro	»	60.30	49.70	2864.80	269.80	230.75	330.15	35.50	173.90	49.70	323.05	39.05
» SiO ₂	»	8.15	8.15	21.70	26.35	10.85	25.45	8.35	9.50	8.15	28.20	7.70
Salinità	»	167.50	306.55	4836.75	523.55	824.20	709.35	89.75	726.35	142.50	648.35	105.55
Ione Calcio	meq/l	0.53	3.27	31.44	0.61	4.28	1.44	0.23	7.23	0.30	0.71	0.29
» Magnesio	»	0.49	1.48	0.15	0.06	4.86	0.48	0.32	2.88	0.66	0.06	0.33
» Sodio	»	1.63	1.26	49.59	7.24	5.57	9.57	0.91	3.52	1.43	9.57	0.91
» Potassio	»	0.04	0.06	1.64	0.07	0.18	0.10	0.02	0.08	0.04	0.04	0.03
Σ Cationi	»	2.69	6.07	82.82	8.38	14.89	11.59	1.48	13.71	2.43	10.38	1.56
Ione Idrocarbonico	»	1.00	4.10	0.50	0.10	8.40	1.70	0.50	7.70	1.00	0.70	0.60
» Solforico	»	0.27	0.18	2.06	0.62	0.97	0.90	0.00	0.90	0.12	0.83	0.18
» Cloro	»	1.70	1.40	80.80	7.61	6.51	9.31	1.00	4.90	1.40	9.11	1.10
Σ Anioni	»	2.97	5.68	83.36	8.33	15.88	11.91	1.50	13.50	2.52	10.64	1.88

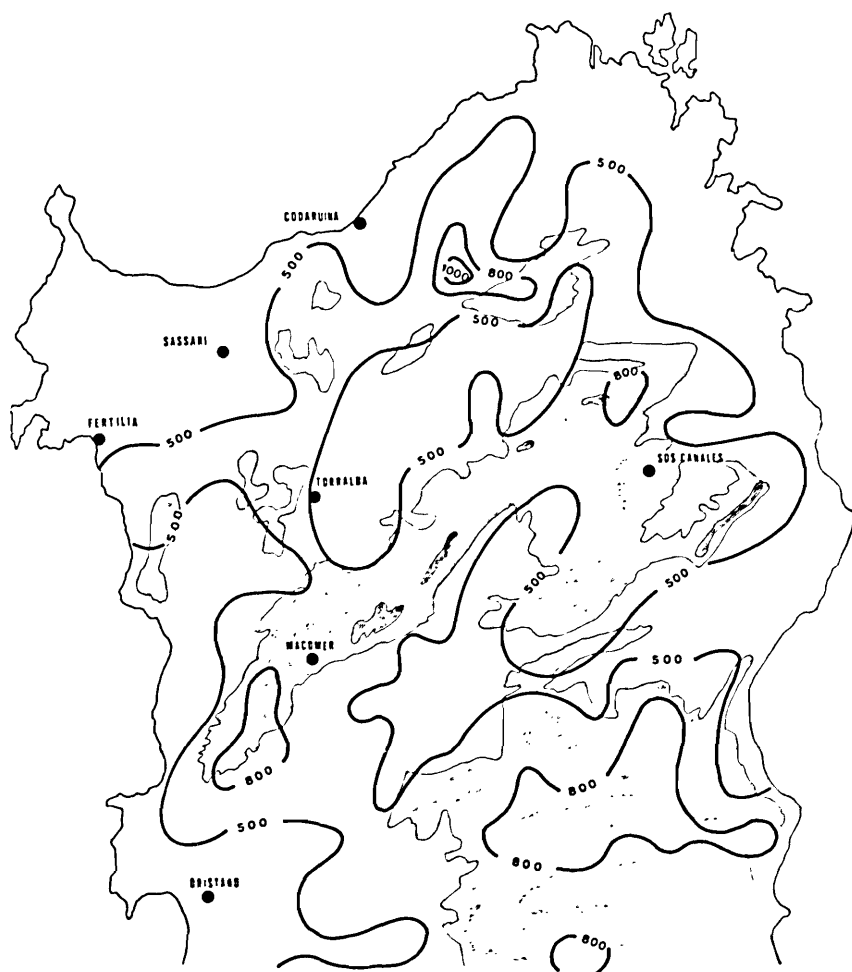


Fig. 4 - Ubicazione delle stazioni pluviometriche considerate ed isoiete della Sardegna centro-settentrionale.

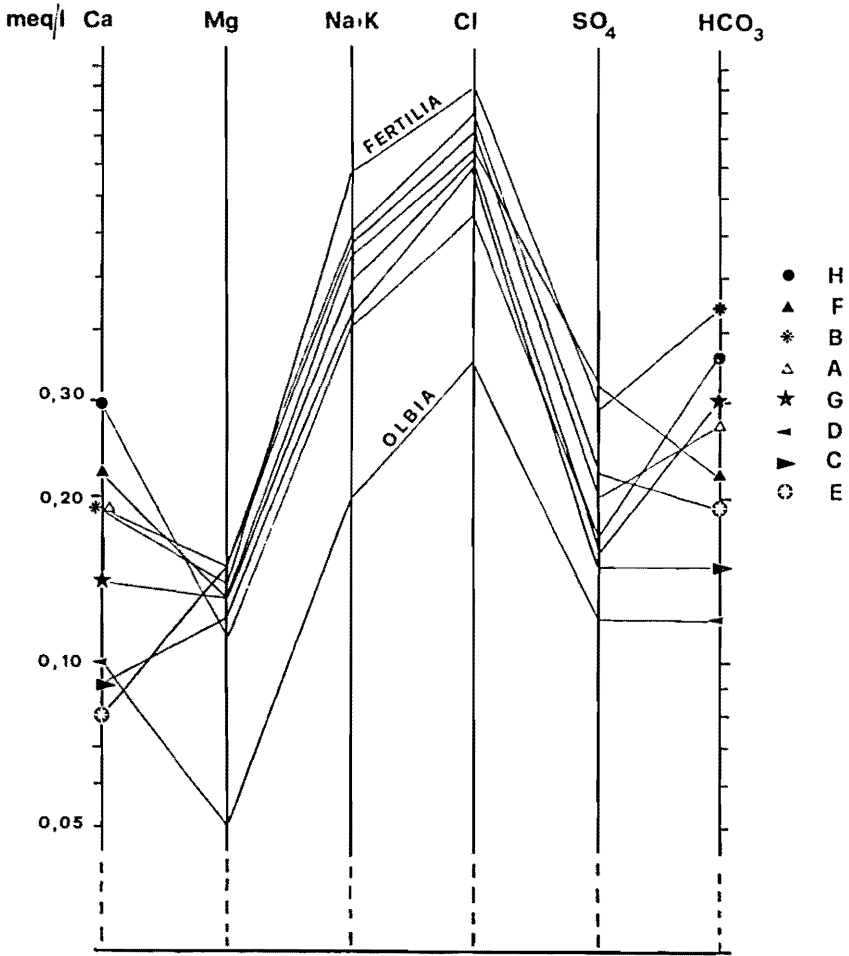


Fig. 5 - Composizione ionica delle acque di precipitazione.

Nella figura 6 sono rappresentate le distribuzioni areali (ottenute per interpolazione) dei contenuti salini e degli ioni considerati, distribuzioni che seguono delle direzioni preferenziali strettamente correlate ai venti dominanti ed in relazione all'andamento degli alti morfologici, con progressiva diminuzione dei valori verso Est.

GEOCHIMICA DELLE ACQUE

Durante la prima campagna conclusasi nel novembre 1977 sono state analizzate le acque di 21 emergenze: le risultanze analitiche sono riportate nella tabella 3.

Dall'esame di questa, si può osservare che alcune sorgenti (21 - 42 - 62 - 64 - 73) sono di tipo oligominerale la cui composizione chimica si avvicina molto a quella delle acque meteoriche. Questa risultanza consente di attribuire loro una circolazione di tipo sub-superficiale scarsamente interessante ai fini della ricerca in atto.

Dal diagramma di PIPER (Fig. 7) si possono mettere in evidenza i seguenti raggruppamenti di acqua:

- 1 - Acque bicarbonato-alcantino-terrose a cui appartengono le sorgenti: 25 - 28 - 29 - 35 - 37 - 43 - 58 - 63.
- 2 - Acque in posizione intermedia per la mancata prevalenza di una coppia anionica o cationica: 39.
- 3 - Acque appartenenti agli acidi forti, è possibile distinguere tre sottogruppi:
 - a. Clorurate sodiche: 14 - 19 - 56 - 61 - 68
 - b. Clorurate bicarbonate alcaline: 31 - 42 - 62 - 64 - 73
 - c. Clorurate alcalino-terrose: 33 - 50.

Dal punto di vista della temperatura e della salinità si hanno i seguenti valori:

Gruppo 1	25°	{	16 ^{oo}	-	28	{	15	-	29	{	15	-	35	{	16	-	37	{	18.5	-
			448 ^{ooo}				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													

° numero del punto d'acqua

^{oo} temperatura in °C

^{ooo} salinità in ppm



Fig. 6 - Distribuzione areale della salinità e degli ioni (Ca+Mg), (Na+K), Cl, SO₄ ed HCO₃ (mg/l) nelle acque di precipitazione.

Come considerazione generale, è importante constatare la variazione del contenuto di Mg nelle acque delle sorgenti termali rispetto a quello dell'acqua piovana: in alcune sorgenti si ha la scomparsa o la sensibile diminuzione dello ione, indice di scambi ed interazioni prolungate tra acqua e roccia.

Nella figura 8 si sono diagrammate le composizioni in meq delle acque termali: questo tipo di rappresentazione mette in evidenza le differenziazioni anche se minime e per contro l'appartenenza ad uno stesso gruppo di acque. In particolare è possibile notare che le acque di Benetutti (14), Oddini (56) e Fordongianus (19 e 68), tenendo conto della situazione geologico strutturale delle loro emergenze, siano alimentate da un unico acquifero impostato lungo il F. Tirso per una estensione di circa 80 km e pertanto non hanno circuiti indipendenti.

Questa interpretazione verrebbe inoltre avvalorata dalla quota delle varie emergenze, decrescenti da Benetutti (260 msm) verso Fordongianus (20 msm), e dall'incremento del carico salino contenuto in queste acque, senza variazioni percentuali dei componenti, in relazione con il progressivo allontanamento dell'area di ricarica.

TENTATIVI DI VALUTAZIONE DELLE TEMPERATURE PROFONDE DEL SERBATOIO

Per poter valutare se il geotermometro basato sui rapporti Na/K/Ca possa essere correttamente applicato, sono stati riportati sui diagrammi di attività di HELGESON (1969) a 60 °C i lg dei rapporti di attività del aK/aH verso il lg dell'attività dell' H_4SiO_4 , i valori relativi ad alcune acque termali. In questo caso (Fig. 9) risultano essere in equilibrio con la fase del microclino le acque 14- 50 - 56 mentre la 19 e la 61 risultano essere nel campo della caolinite, indice questo che lega le acque ultime ad un equilibrio con una roccia che ha subito fenomeni di alterazione.

Analogamente nel diagramma (lg aNa/aH in rapporto al lg di H_4SiO_4) soltanto la 56 (Oddini) risulta essere nel campo di stabilità dell'albite in prossimità del passaggio alla Na-Montmorillonite mentre la maggior parte risulterebbe essere nel campo di stabilità della Na-Montmorillonite.

Ciò fa supporre che la composizione chimica di queste acque non rifletta la situazione di equilibrio raggiunto nel serbatoio profondo in quanto lungo la risalita possono esserci catture di ioni da parte della montmorillonite.

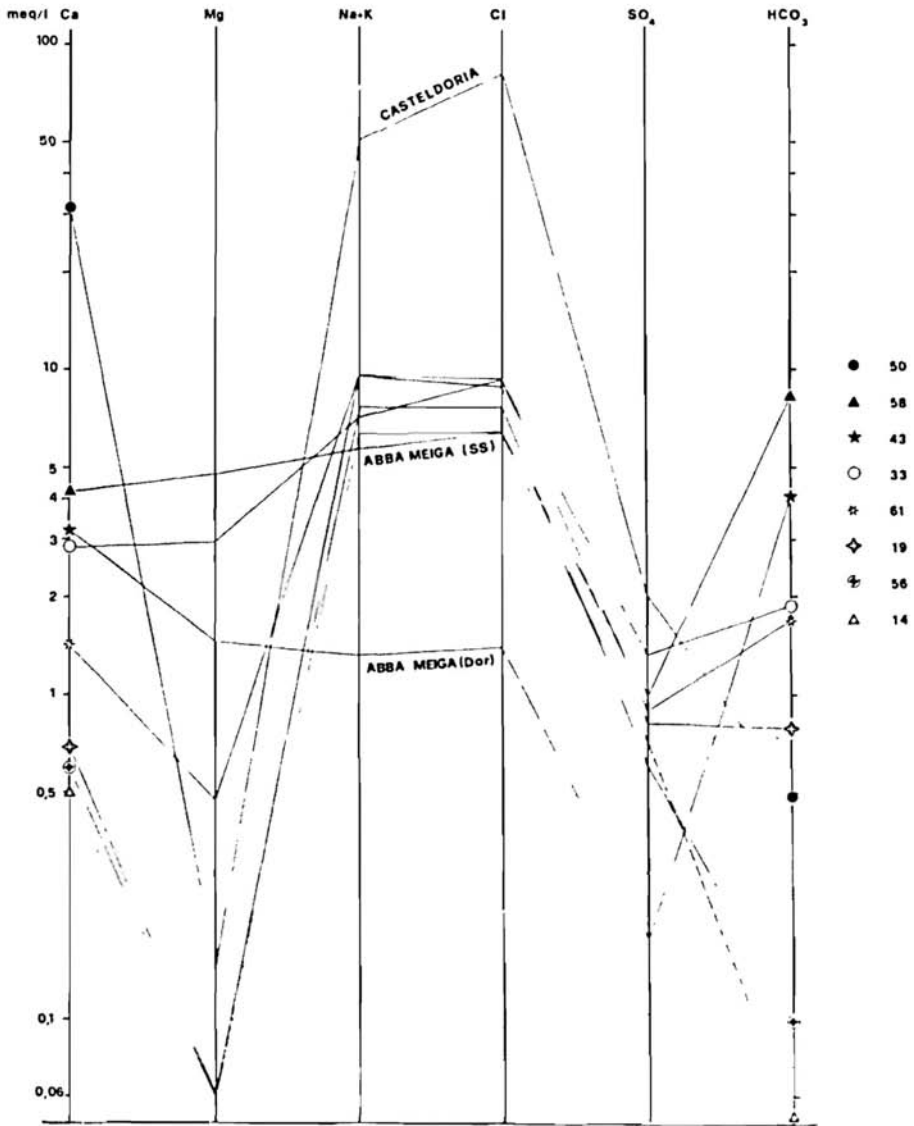


Fig. 8 - Composizione ionica delle acque termali (meq/l).

Nel diagramma costituito da rapporti fra le attività del Na e del K si può osservare che i punti rappresentati si dispongono lungo un allineamento con l'acqua 56, più prossima al campo di stabilità dell'albite, unica pertanto utilizzabile per il geotermometro basato su Na/K/Ca. In questo caso la temperatura dell'acquifero profondo risulterebbe aggirarsi sui 70 °C circa, temperatura questa che può essere ottenuta attraverso un normale gradiente geotermico che per i graniti della Gallura, che rappresentano anche l'area di ricarica, dovrebbe risultare dell'ordine di 1 °C ogni 60-80 metri, mentre nelle aree coperte dalle vulcaniti e sedimenti miocenici dovrebbe aggirarsi intorno ad 1 °C ogni 30 metri.

Con questa considerazione la profondità cui dovrebbe spingersi la circolazione delle acque per raggiungere le temperature indicate dal geotermometro dovrebbe risultare diversa in relazione al diverso grado geotermico della zona.

Tuttavia a scopo indicativo è stata calcolata la temperatura, tramite geotermometro Na/K/Ca, su tutte le sorgenti termali. La termalità più elevata è stata rilevata a Casteldoria (50) superiore a 100 °C mentre la temperatura minima è stata rilevata a Benetutti, Oddini e Fordongianus (14-19-56-68) con 70 °C circa.

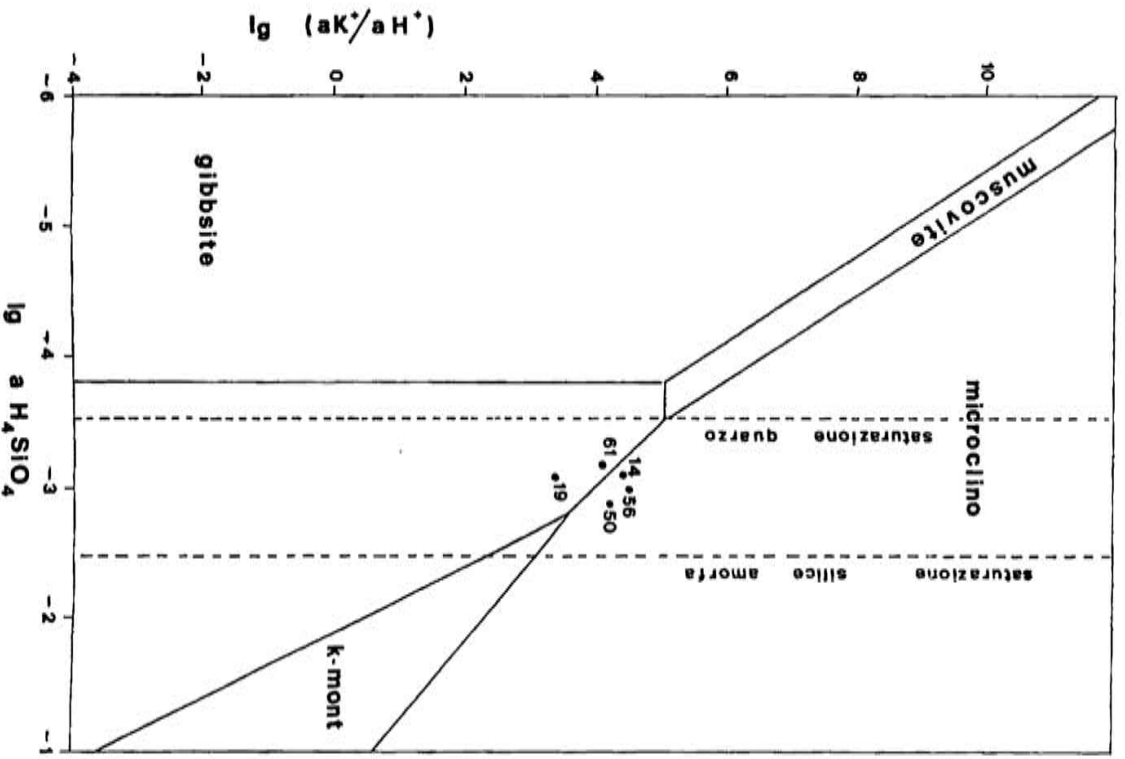
È stato fatto un tentativo di valutazione della temperatura rispetto alla silice, che viene riportato nella figura 10, calcolato sui valori determinati con la campionatura autunnale. Anche in questo caso le temperature si aggirano dai 70 °C ai 100.

Sulla prima campionatura sono state eseguite anche le analisi degli isotopi dell'ossigeno e dell'idrogeno (Tab. 4). La correlazione tra $\delta^{18}\text{O}$ ed il δD mostra che tutte le composizioni di queste acque non si discostano molto da una retta corrispondente all'andamento delle acque meteoriche; ciò significa che le acque analizzate non sono andate soggette a scambi isotopici di entità rilevabile né con le rocce, come succede talora per i fluidi geotermici, né con rilevanti masse di CO_2 .

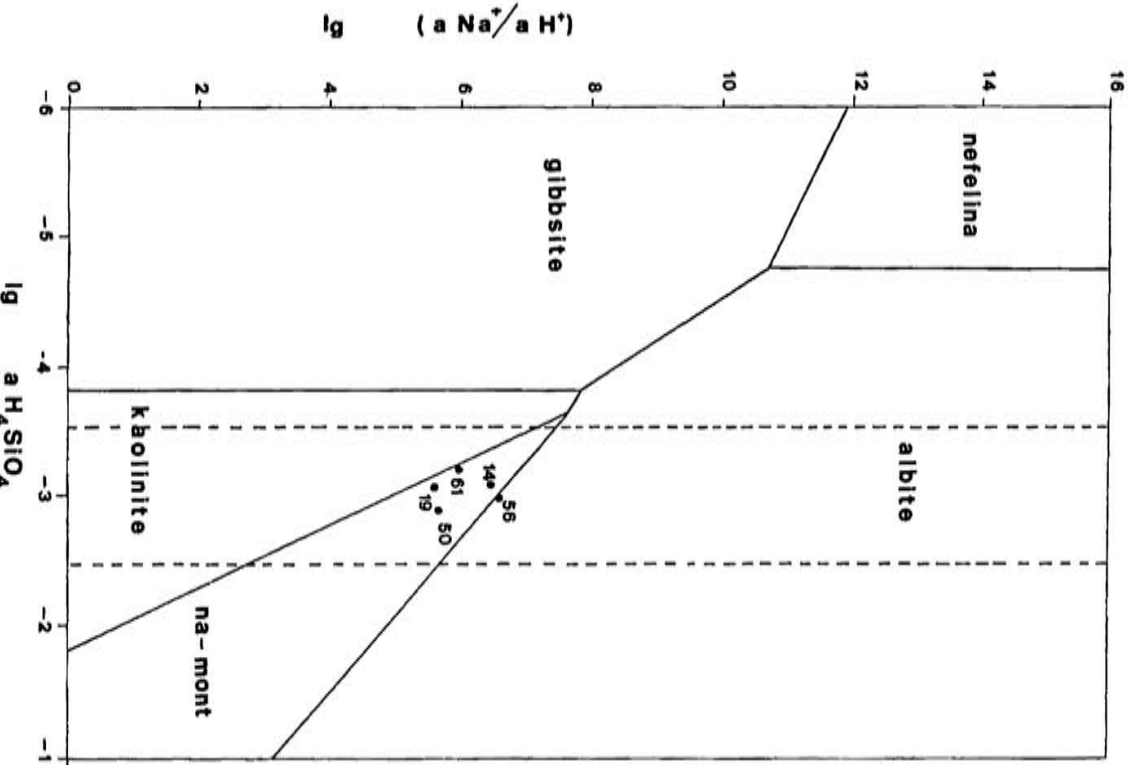
Si può osservare che il deuterium excess, in questa regione, ha il valore 18 che determina quindi un allineamento parallelo alla retta di CRAIG (Fig. 11). Essendo già noto (NUTI et al. 1977) l'effetto altimetrico della regione, questi valori potranno essere utilizzati negli studi particolareggiati dei circuiti idrici per la individuazione delle aree di ricarica.

Sulle sorgenti a maggior termalismo si è anche misurata l'abbondanza dell'isotopo radioattivo dell'idrogeno (tritio) (Tab. 4) che è risultato assente nell'emergenza di Benetutti, Oddini e Fordongianus e minimamente presente

IL SISTEMA HCl-H₂O-Al₂O₃-K₂O-SiO₂ a 60 °C



IL SISTEMA HCl-H₂O-Al₂O₃-Na₂O-SiO₂ a 60°C



IL SISTEMA HCl-H₂O-Al₂O₃-K₂O-Na₂O-SiO₂ a 100 °C
e $\lg a_{H_4SiO_4} = -3.08$

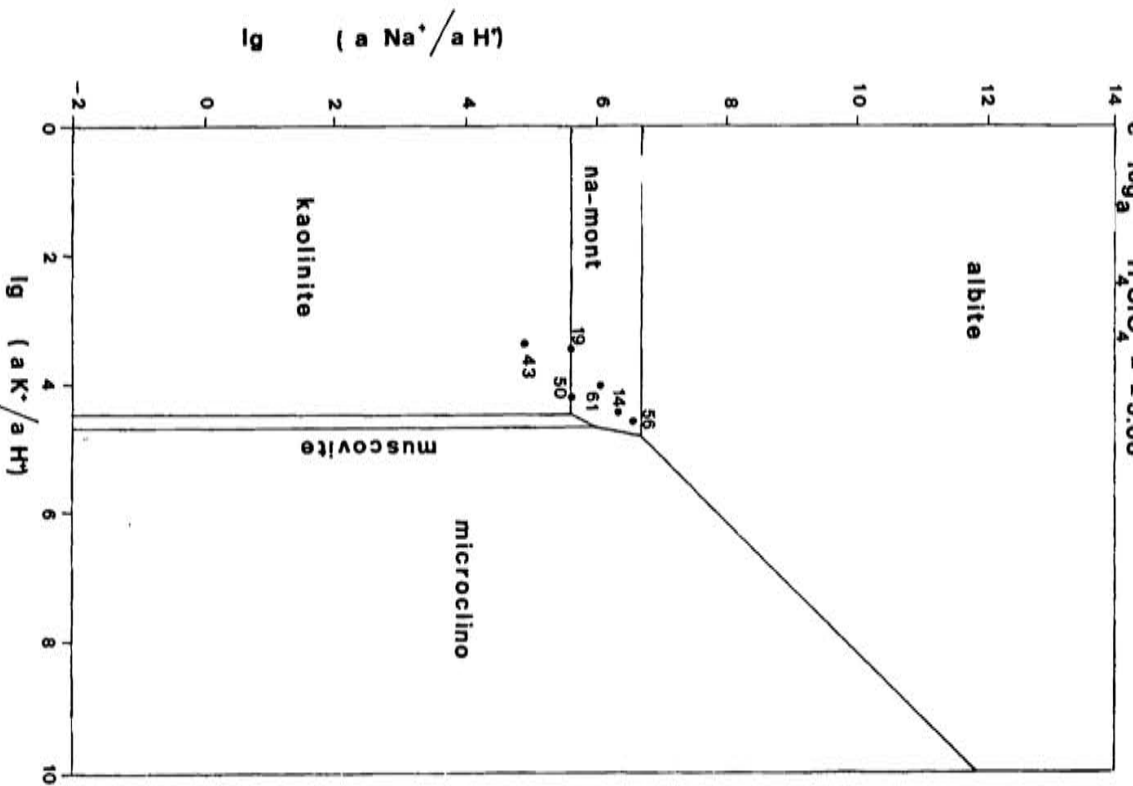


Fig. 9 - Diagrammi di attività di HERGSON (1969) a 60 °C e 100 °C.

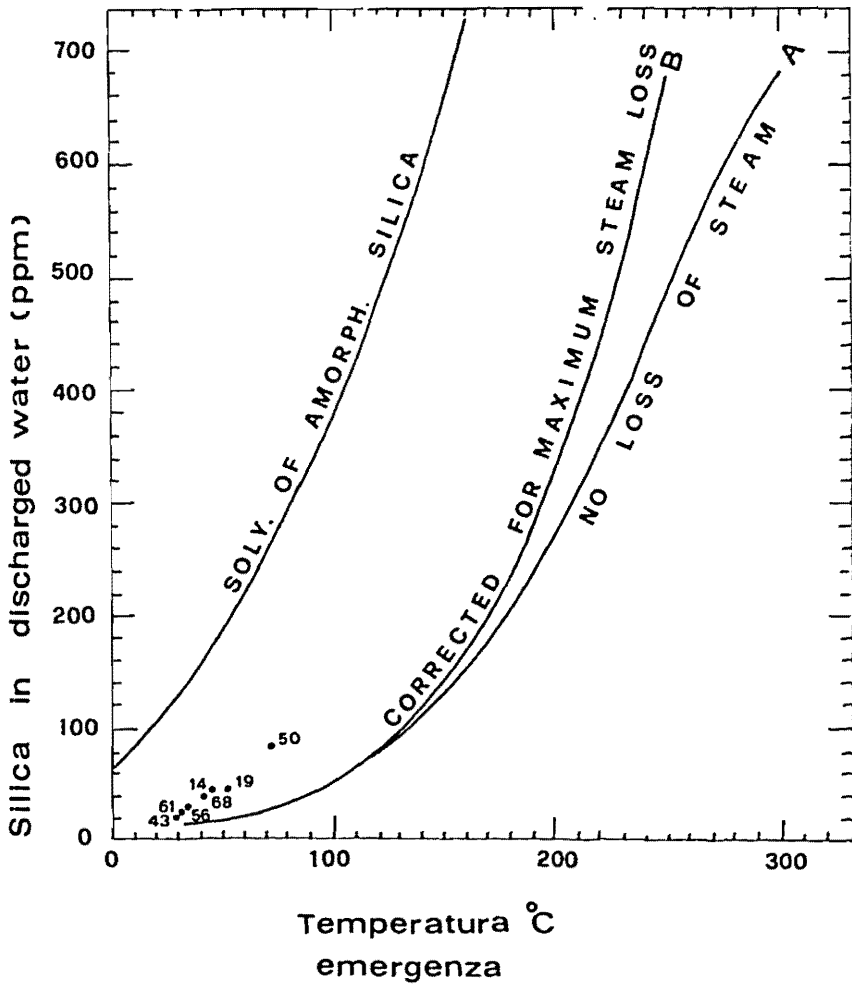


Fig. 10 - Valutazione della temperatura rispetto alla silice.

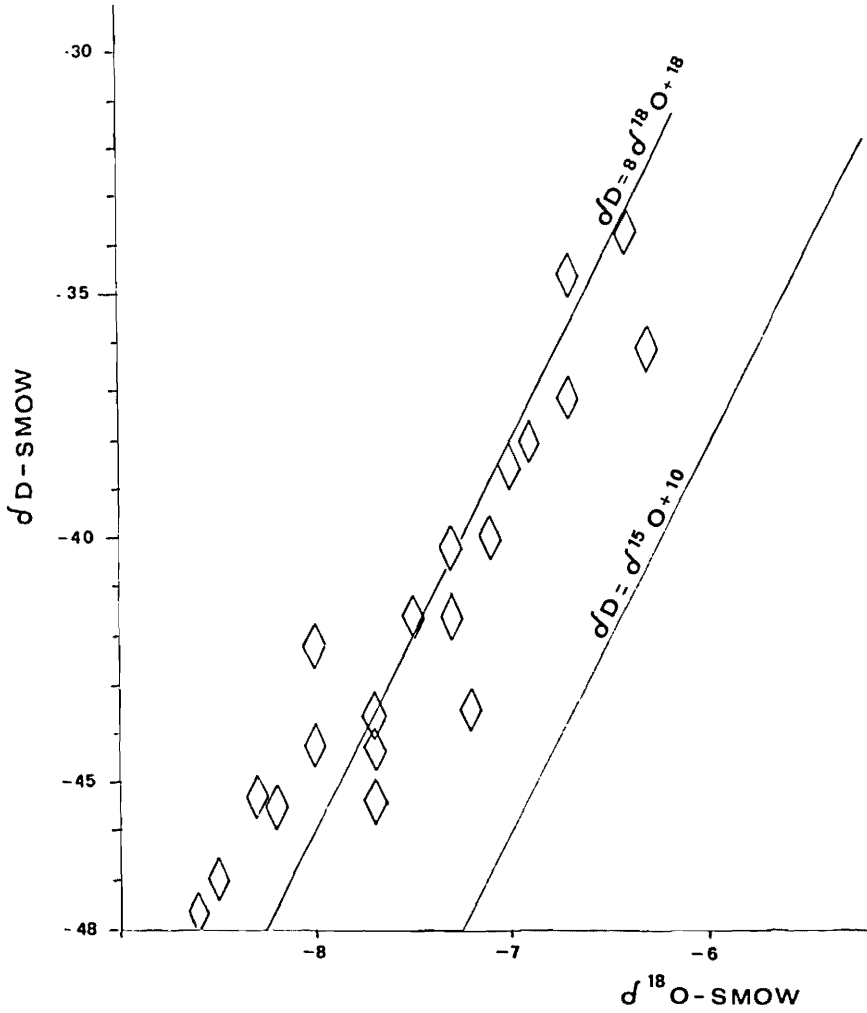


Fig. 11 - Correlazione dei valori isotopici delle sorgenti censite e retta di Craig.

(nell'ordine delle 2 U.T.) nelle emergenze di Casteldoria e della galleria di Putifigari. L'assenza di tritio significa acqua a lungo percorso con tempo di permanenza nel sottosuolo lunghissimo e per le due sorgenti con tracce di tritio può significare anche una leggera contaminazione all'emergenza.

Tabella 4 - Valori isotopici delle sorgenti censite.

N. Campione	$\delta^{18}O$	δD	U.T.
14	- 7.7	- 44.3	0.7 ± 0.6
19	- 7.7	- 45.4	0.5 ± 0.6
21	- 8.5	- 47.0	
25	- 6.3	- 36.1	
28	- 7.5	- 41.6	
29	- 7.3	- 41.6	
33	- 6.7	- 34.6	
35	- 6.9	- 38.0	
37	- 7.0	- 38.5	
39	- 6.7	- 37.1	
42	- 8.6	- 47.7	
43	- 7.2	- 43.5	
50	- 7.7	- 43.6	2.3 ± 0.7
56	- 8.0	- 44.2	0 ± 0.6
58	- 6.4	- 33.7	
61	- 7.3	- 40.2	2.2 ± 0.6
62	- 8.3	- 45.3	
63	- 6.3	- 35.2	
64	- 8.0	- 42.2	
73	- 8.2	- 45.5	

BIBLIOGRAFIA

- CALVINO F. — Manifestazioni termali in galleria presso Putifigari (Sassari). *Boll. Soc. Sarda Sc. Naturali*, IV, 1969.
- COCOZZA T., JACOBACCI A., NARDI R., SALVADORI I., 1974 — Schema stratigrafico-strutturale del Massiccio Sardo Corso e minerogenesi della Sardegna. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 13.
- DETTORI B., PASSINO A. M., 1975 — Il termalismo della provincia di Sassari. Nota I. Le acque termominerali di San Saturnino presso Benetutti (Sassari). 3° Convegno Inter. sulle Acque Sotterranee, Palermo 1-5 Nov. 1975.
- DETTORI B., FANCELLI R., NUTI S., PASSINO A. M., 1975 — Il termalismo della provincia di Sassari. Nota II. Le acque termominerali di San Saturnino presso Benetutti (Sassari). 3° Convegno Internazionale sulle acque sotterranee, Palermo 1-5 Nov. 1975.
- HELGESON H. C., BROWN T. H., LEEPER R. M., 1969 — *Handbook of theoretical activity diagrams depicting chemical equilibria in Geologic Systems involving an aqueous phase at one atm. and 0° to 300°C.* Ed. Freeman Cooper and Company, San Francisco.
- 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.