

GIOVANNANGELA BERTORINO*, RAFAELE CABOI*,
ANNA MARIA CAREDDA*, GIORGIO CONTI-VECCHI*,
LUCA FANFANI*, RANIERO MASSOLI-NOVELLI*, PAOLA ZUDDAS*

CARATTERI IDROGEOCHIMICI DELLE ACQUE NATURALI DELLA SARDEGNA MERIDIONALE

1. LE ACQUE DEL GERREI E DELLA TREXENTA**

RIASSUNTO. — Dallo studio dei caratteri chimici principali di 80 campioni (acque superficiali, sorgenti e pozzi) del Gerrei e della Trexenta (Sardegna Meridionale) si evidenzia una chiara correlazione fra tipo di circolazione delle acque, chimismo delle medesime e formazioni litoidi principali.

Le acque delle formazioni paleozoiche hanno circolazione limitata e superficiale con un chimismo che si evolve da termini estremamente poco salini (NaCl prevalente di origine meteorica), nella serie ordoviciana, a termini con salinità maggiore (a bicarbonato alcalino-terroso), sempre però inferiore a 1 g/l, nella serie silurico-devonica, caratterizzata da relativamente estesi e diffusi livelli calcarei. Le acque dei graniti, porfidi e porfiroidi non si inseriscono in questa linea evolutiva mostrando un chimismo più spostato verso i cloruri, con scarso arricchimento salino.

Nei terreni terziari gli acquiferi acquistano una certa continuità ed il chimismo si evolve da quello corrispondente all'acqua « paleozoica » più matura verso termini a cloruro in corrispondenza della « Formazione di Samassi » (Pliocene) ed a solfato in corrispondenza di un particolare settore della formazione miocenica. La salinità di queste acque arriva fino a 3,5 g/l.

Alcuni campioni prelevati nelle andesiti oligo-mioceniche non differiscono per chimismo da quelli meno evoluti delle formazioni sedimentarie terziarie; uno spostamento verso termini a solfato è osservato in corrispondenza dei giacimenti di caolino presenti nella zona.

ABSTRACT. — Principal chemical characteristics of 80 samples (superficial waters, springs and wells) from Gerrei and Trexenta (Southern Sardinia) were studied. A close relationships is showed among water-circulation type, chemistry and principal lithologic formations in the explored area.

In paleozoic formations waters exhibit restricted and superficial circulation with a chemical composition which evolves from very low salt terms (prevalent content: NaCl from meteoric origin) in the ordovician series, to terms with higher salinity (prevalent content: earth-alkaline bicarbonate), but lower than 1 g/l, in the siluric-devonic series; this series is characterized by relatively extensive and diffuse calcareous horizons. Groundwaters of granites, porphyries and porphyroids are not included in this trend; they show a chemical composition shifted towards chlorides with scarce salt enrichment.

Aquifers become more extensive in tertiary formations and the chemical composition evolves from terms approximately corresponding to the « paleozoic » more developed waters towards terms rich in chloride in « Samassi formation » (Pliocene) and towards terms rich in sulphate in a limited area of Miocene formation. The salinity of these waters is up to 3.5 g/l.

The chemical composition of some samples of water from oligocenic-miocenic andesites is not different from that of less developed terms of tertiary sedimentary formations; a shift towards sulphate terms is observed near to the kaolinite bodies in the area.

* Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università, via Trentino 51, Cagliari. ** Lavoro eseguito col contributo del Ministero P.I..

Introduzione

Con il presente lavoro si intende riferire sui primi risultati conseguiti presso l'Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Cagliari relativamente agli studi intrapresi sul chimismo delle acque naturali della Sardegna Meridionale.

Tali studi rivestono notevole importanza perchè, nel momento in cui si affronta il piano regionale delle acque e diviene operante la legge sulla tutela delle acque dagli inquinamenti, sembra indispensabile approfondire tutte le conoscenze riguardanti le caratteristiche chimiche e chimico-fisiche delle acque della regione. È inoltre da tenere in considerazione il contributo che l'idrogeochimica può dare alla ricerca mineraria in una delle aree metallogeniche più importanti in Italia.

La bibliografia riguardante le caratteristiche chimiche generali delle acque della Sardegna è relativamente scarsa. Numerosi dati chimici sono inseriti in ricerche di carattere geo-idrologico condotte nella Sardegna Settentrionale da parte dell'Istituto di Mineralogia e Geologia dell'Università di Sassari. Le ricerche nella Sardegna Meridionale riguardano situazioni particolari (sorgenti minerali, termominerali o locali). L'unico studio idrogeochimico sistematico a grande scala riguarda le acque dei bacini sedimentari terziari dell'isola ed è finalizzato alla prospezione dell'uranio (CARRARA C., GHIARA E., GRAGNANI R., 1974).

Nella presente nota, riferita ad una prima campagna svoltasi nel giugno-luglio 1977, limitatamente ad una zona corrispondente al Gerrei, Trexenta meridionale e ad un lembo del Campidano orientale, si cerca: *a*) di evidenziare le caratteristiche chimiche principali delle acque comprese nell'area; *b*) di mettere in relazione i tipi di acque rinvenuti con le strutture geologiche in grande scala e con i vari tipi litoidi presenti; *c*) di contribuire sulla base del chimismo delle acque a meglio definire le caratteristiche geoidrologiche del territorio investigato.

Limiti territoriali e caratteri morfologici

Per la realizzazione di una prima campagna la scelta della zona non è caduta nè su un territorio geologicamente abbastanza omogeneo e tale quindi da permettere uno studio dettagliato dell'interazione acqua-roccia per uno o pochi tipi litoidi, nè su un territorio geograficamente limitato ad un unico bacino, come potrebbe apparire più logico, ma su una regione con situazioni geologiche molto diverse (presenza di formazioni paleozoiche, terziarie e quaternarie) in modo da permettere una valutazione, anche approssimata, del comportamento delle acque al contatto con terreni diversi.

La zona prescelta è approssimativamente limitata da un perimetro che tocca gli abitati di Muravera, Ballao, Siurgus Donigala, Furtei, Decimomannu e Dolianova, e comprende alcuni bacini idrografici degli affluenti di destra del basso Flumendosa e degli affluenti di sinistra del Flumini Mannu. La zona ha un'estensione di circa 1.000 km² ed interessa i Comprensori di Cagliari, Muravera, Senorbì, Seramanna e Villasor.

Morfologicamente sono distinguibili tre zone: una montagnosa, in corrispondenza dell'esteso affioramento delle formazioni paleozoiche nel settore orientale, caratterizzata da rilievi aspri con altitudini massime intorno ai 1.000 metri; la seconda, più ad ovest, in corrispondenza dei terreni terziari, distinta da forme collinali assai dolci ad altitudine inferiore a 300 metri, interrotte ai bordi del Campidano dagli affioramenti cupoliformi del vulcanico; le zone pianeggianti, caratterizzate da terreni alluvionali più o meno recenti, occupano gli estremi orientali ed occidentali dell'area studiata e si identificano rispettivamente con la piana di Muravera e con quella del Campidano.

Caratteri geologici

Come si è già detto il territorio studiato include un gran numero di tipi litoidi differenti, di età diverse, che vanno dal Paleozoico al Quaternario, con esclusione del solo Mesozoico.

La serie paleozoica del Sarrabus-Gerrei si presenta con una notevole varietà di rocce, spesso d'incerta datazione e con rapporti reciproci ancora non completamente evidenziati. Tale serie paleozoica inizia con la «Formazione di San Vito» (CALVINO F., 1967; SCHNEIDER H., 1972), ossia con una potente serie di arenarie, arcose, grovacche con intercalazione di argilloscisti. La serie, dello spessore complessivo di circa 800 metri, si presenta debolmente metamorfica con locali laminazioni e risulta del tutto sterile. In conseguenza di ciò la datazione di tale complesso terrigeno è tuttora in discussione, anche se la maggior parte degli Autori concorda per una deposizione nell'Ordoviciano inferiore (COCOZZA T. et al., 1974; CARMIGNANI L. et al., 1978). Le «Arenarie di San Vito» affiorano estesamente nell'area in esame, a sud della grande faglia E-W di Villasalto, elemento tettonico di maggior rilievo della regione.

Proseguendo, nella stratigrafia locale affiora, soprattutto a N della faglia di Villasalto, una potente serie di argilloscisti con frequenti livelli calcarei e arenacei, notevolmente tettonizzata, con intercalazioni di vulcaniti acide («porfiroidi») di incerta datazione. Un livello caratteristico è dato da una piccola serie, potente circa 100 metri, di scisti neri che sembra costituire un orizzonte guida per le note mineralizzazioni a Sb-W e Pb-Zn-Ag del Sarrabus-Gerrei (SCHNEIDER H., 1972).

Al di sopra di questa potente serie, che tutta o in parte si fa risalire al Siluriano (Gothlandiano Auct.), stanno i calcari devoniani affioranti tra Villasalto e M. Lora.

Il Carbonifero è rappresentato da esili banchi calcarei e non ha rilevanza sotto il profilo idrogeologico.

Dopo questa fase sedimentaria l'esplicarsi del ciclo orogenetico ercinico avrebbe portato ad un'emersione generale, testimoniata da un lungo «jatus» di sedimentazione, che si protrae in questa zona sino al Terziario. Contemporaneamente agli eventi plicativi ercinici si avevano le grandi intrusioni granitiche, cui fecero immediatamente seguito le abbondanti correlate manifestazioni dei porfidi.

L'Eocene, in facies clastica epicontinentale, riprende il ciclo sedimentario prevalentemente nel settore ovest e presenta una successione di arenarie di base e di calcari con uno spessore massimo che non supera i 250-300 metri.

Maggiore estensione areale, limitatamente comunque al settore W, assumono le formazioni oligoceniche di facies continentale. Esse comprendono: la formazione arenacea del Cixerri a letto, le vulcaniti andesitoidi interposte, e, a tetto, la formazione continentale fluvio-lacustre di Ussana.

Il vulcanico oligo-miocenico si manifesta sotto forma di lave andesitoidi, spesso brecciate, alternate a tufi cineritici. Le potenze massime delle vulcaniti si aggirano intorno al migliaio di metri e le effusioni si trovano allineate NW-SE lungo il bordo orientale della fossa del Campidano.

Il Miocene è caratterizzato da un'alternanza di marne ed arenarie, diffusa in tutta la Trexenta e solo localmente (a Villagrecia e Samatzai) da formazioni calcaree di scogliera. La massima potenza delle alternanze mioceniche raggiunge 800 m.

Di età medio-pliocenica è la « Formazione di Samassi », che ha un ambiente deposizionale fluvio-deltizio e presenta tipi litoidi marnoso-arenacei e conglomeratici, formati a spese delle formazioni mioceniche. Lo spessore complessivo raggiunge 500 m e luoghi tipici di affioramento si trovano vicino a Samassi e a Serrenti (Pecorini G., Cherchi A., 1969; Cherchi A. et al., 1979).

Chiudono la serie le alluvioni del Quaternario, costituite generalmente da terreni incoerenti, sabbiosi, ciottolosi, talvolta argillosi, che si trovano distribuiti nel Campidano e nella piana di Muravera. Le potenze risultano generalmente modeste.

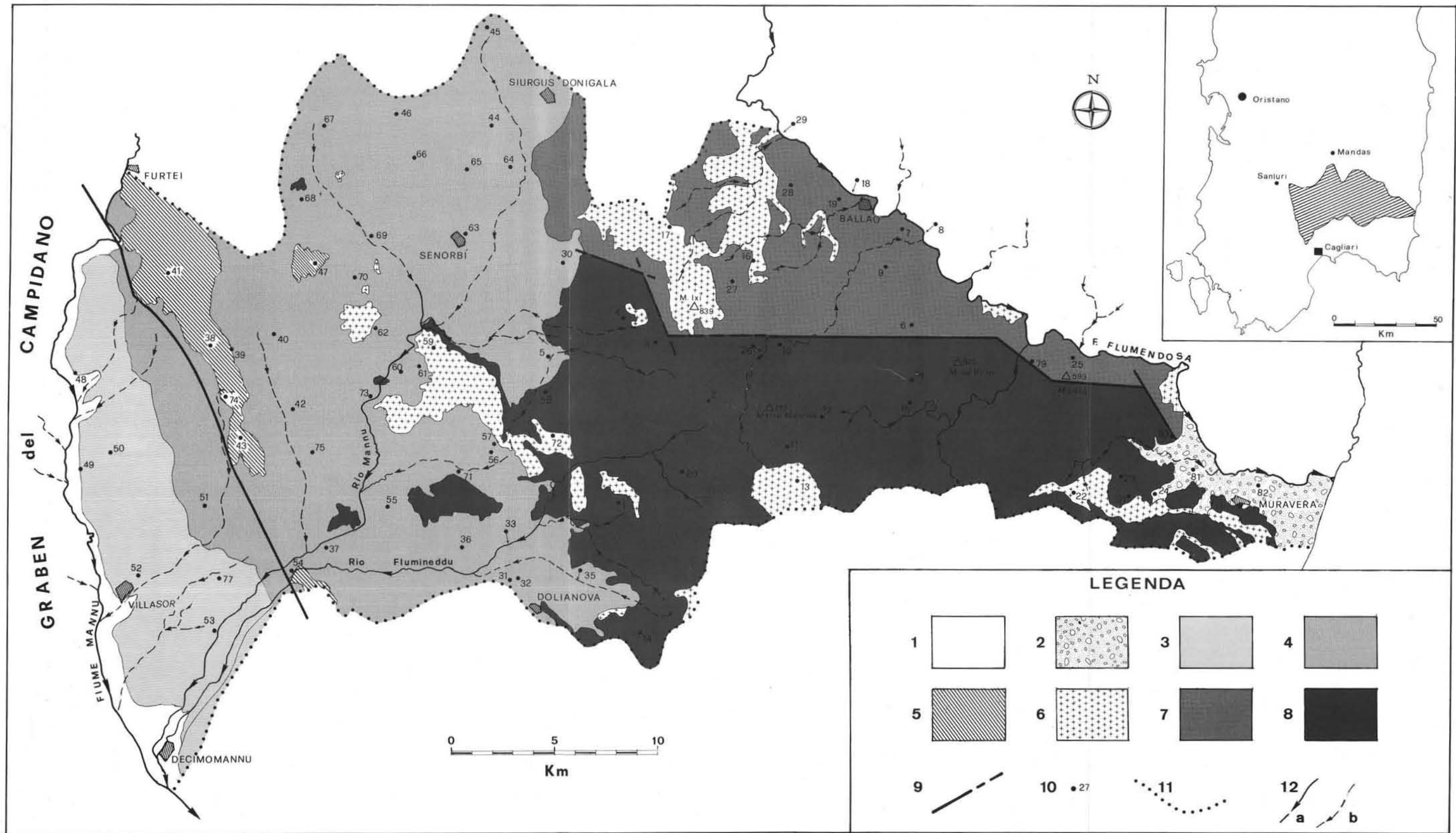
In fig. 1 è rappresentata una cartina schematica delle caratteristiche geologiche principali dell'area in studio.

Caratteri climatici e idrogeologici

Nella zona considerata la temperatura media diurna varia da 11° a 18° C, l'inso-lazione è notevole con solo 100 giorni circa all'anno di cielo coperto, i venti generalmente forti con componenti da ovest a nord-ovest predominanti. Le precipitazioni sono correlate strettamente al rilievo con medie annue anche inferiori a 500 mm nel Campidano, fra 500 e 600 mm nella zona collinare, fino a 1.000 mm nella zona montuosa per tornare a valori di 600-700 mm nella piana di Muravera. Le precipitazioni, quasi assenti nei mesi estivi, sono intense nelle altre stagioni ma, spesso e specialmente in autunno, concentrate in breve tempo.

Fig. 1. — Cartina geologica schematica del Gerrei e della Trexenta.

Legenda: 1 = Alluvioni del Rio Mannu. 2 = Alluvioni del Flumendosa. 3 = Formazioni di Samassi (Pliocene). 4 = Sedimenti miocenici ed oligocenici. 5 = Vulcaniti oligo-mioceniche. 6 = Graniti, porfidi, « porfiroidi ». 7 = Complesso filladico-arenaceo-calcareo del Siluriano, sovrastato localmente da bancate calcaree del Devoniano. 8 = Arenarie ed argilloscisti della Formazione di S. Vito (Ordoviciano). 9 = Linee strutturali principali. 10 = Punti d'acqua studiati. 11 = Spartiacque superficiale. 12 a = Corso d'acqua perenne. 12 b = Corso d'acqua stagionale.



Il tipo di precipitazioni, considerato unitamente alle altre caratteristiche climatiche (insolazione alta, venti tesi e frequenti), alla scarsità di copertura vegetale ed alle ripide pendenze, limita notevolmente l'infiltrazione delle acque atmosferiche nei terreni montuosi. D'altra parte il complesso scistoso cristallino paleozoico, se si escludono i livelli calcarei, è costituito da formazioni pressochè impermeabili, che possono essere sede solo di una circolazione molto limitata e superficiale prevalentemente per fessurazione ed alterazione e questo rende ancora più marcato il «run-off». L'infiltrazione delle acque delle precipitazioni locali e di quelle derivanti dal ruscellamento avviene in misura molto maggiore nella zona collinare, soprattutto al limite con il massiccio paleozoico e lungo l'alveo dei torrenti; le formazioni mioceniche della zona (il complesso arenaceo-marnoso-argilloso ed i modesti affioramenti di calcari) con permeabilità variabile diventano sede di una circolazione sotterranea più estesa e più continua. Nelle zone pianeggianti, la permeabilità delle alluvioni antiche e recenti origina falde più consistenti. L'idrografia risultante è caratterizzata in montagna da numerose sorgenti che si originano in corrispondenza di discontinuità litoidi, di portata estremamente esigua e molto variabile (una buona parte sono stagionali) e che risentono quindi immediatamente delle piogge nella loro portata; pochissime superano un litro/sec. Le acque delle sorgenti originano piccoli corsi d'acqua anch'essi stagionali; anche i più grandi scompaiono d'estate, laddove la morfologia si addolcisce ed i terreni acquistano un certo grado di permeabilità. Le sorgenti nella zona collinare e pianeggiante sono molto rare e le falde vengono sfruttate mediante pozzi più o meno profondi. Il reticolo idrografico è caratterizzato da torrenti asciutti d'estate e limitato ad est dal Flumendosa e ad ovest dal Flumini Mannu. Nella piana del Campidano è estesa una rete di canali d'irrigazione alimentata dal Flumendosa tramite una condotta sotterranea che taglia lo spartiacque.

Impostazione della campagna

Considerato il carattere stagionale di alcuni corsi d'acqua e sorgenti, per il campionamento è stato prescelto il mese di giugno cioè un periodo che precede immediatamente la stagione secca, in cui sorgenti e corsi d'acqua mostrano una certa portata ma l'influenza delle acque meteoriche è minima.

Sono stati raccolti 11 campioni di acque superficiali, tutti nel massiccio paleozoico od alla sua base. Il Flumendosa, che riceve apporti in massima parte da un'area esterna a quella in studio è stato campionato tre volte immediatamente a monte delle confluenze principali.

Nella piana del Campidano i pochissimi corsi d'acqua perenni mostrano segni chiari d'alterazione delle loro caratteristiche, ricollegabili a miscelamenti fognari e con acque d'irrigazione, e sono stati volutamente omessi nel campionamento.

Per le acque sotterranee il campionamento è stato condizionato dall'assenza di punti d'acqua in alcune zone, dalle difficoltà di accesso in altre, dalla condizione impostaci di una corrispondenza tra superficie affiorante di un certo tipo litoide e

numero di campioni prelevati. Ne è risultata una maglia abbastanza omogenea con 71 campioni di acque sotterranee. I pozzi prevalgono nelle formazioni sedimentarie; nel complesso paleozoico sono state campionate solo sorgenti.

I punti di campionamento sono rappresentati in fig. 1.

Analisi di campagna e di laboratorio

Oltre le comuni misure fisiche e chimico-fisiche quali temperatura, conducibilità e pH, sono stati analizzati sul luogo del campionamento anche HCO_3 , Ca e Ca+Mg, sia come controllo analitico sia per evidenziare eventuali variazioni sull'equilibrio dei carbonati durante il trasporto al laboratorio. Lo ione idrocarbonico è stato misurato per alcalimetria, Ca e Ca+Mg per complessometria. I controlli di laboratorio, oltre ovviamente che per la temperatura, hanno mostrato una variazione solo per il pH (qualche decimo di unità). Le ulteriori analisi hanno riguardato cloruri (volumetria al $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$), solfati (turbidimetria), sodio e potassio (emissione di fiamma).

Discussione dei dati analitici

I risultati analitici sono riportati in tabella 1. In questa tabella i campioni sono divisi in tre gruppi: il primo riguardante le acque superficiali (11 campioni), il secondo le acque sotterranee della formazione paleozoica e delle alluvioni recenti ed attuali della piana del Flumendosa, originatesi a spese dei litotipi del complesso paleozoico (32 campioni), il terzo gruppo le acque delle formazioni sedimentarie e vulcaniche post-mesozoiche (37 campioni). Nella trattazione sono stati esclusi due campioni perchè miscelati certamente con acque d'irrigazione.

In tabella sono riportati: il numero del campione, il tipo di punto d'acqua, la portata per le sorgenti e le acque superficiali, talora valutata con approssimazione, la temperatura in °C, la conducibilità in mS/cm riportata a 25° C, la concentrazione idrogenionica espressa come pH, quella dei cationi e degli anioni in meq/l; infine la salinità totale come somma dei cationi e degli anioni dosati (sempre in meq/l).

L'accuratezza delle analisi è confermata dal basso valore:
$$\left| \frac{\Sigma \text{cat} - \Sigma \text{an}}{\frac{1}{2} (\Sigma \text{cat} + \Sigma \text{an})} \right|$$

superiore a 0,1 solo in tre casi (campioni n. 52, 56, 76).

Da uno sguardo immediato della tabella si evidenzia la bassa salinità delle acque del primo e del secondo gruppo ed il relativamente alto valore per quelle del terzo.

Si è ritenuto opportuno discutere separatamente i risultati per i tre gruppi di acque e procedere infine ad una sintesi dei dati.

Per tutti i campioni sono stati calcolati i valori di reazione secondo CHEBOTAREV (1955). Tali valori di reazione sono riportati nei diagrammi di Piper. Nei triangoli

TABELLA 1
Dati fisici e chimici dei campioni di acqua studiati

Camp. n°	tipo acqua	portata l/s	temp. °C	cond. mS/cm	pH	Ca meq/l	Mg meq/l	Na meq/l	K meq/l	HCO ₃ meq/l	SO ₄ meq/l	Cl meq/l	sal.tot. meq/l
7	sup.	40	25	0.62	7.7	3.5	1.0	1.8	0.04	3.8	0.8	1.6	12.5
8	sup.	200	20	0.39	8.1	2.0	1.7	0.8	0.03	3.2	0.7	0.8	9.2
18	sup.	200	21	0.54	8.0	2.2	1.6	1.3	0.04	2.9	0.9	1.3	10.2
19	sup.	10	20	0.82	8.0	4.7	1.3	1.6	0.06	4.5	1.7	1.5	15.4
20	sup.	1	18	0.17	7.6	0.8	0.5	1.0	0.04	1.2	0.3	0.8	4.6
26	sup.	30	19	0.14	7.4	0.7	0.5	1.2	0.03	0.9	0.2	1.1	4.6
29	sup.	160	24	0.47	8.1	2.0	1.7	1.2	0.03	2.9	0.8	1.2	9.8
33	sup.	5	21	0.49	7.7	1.4	1.2	1.9	0.04	1.6	0.6	2.2	8.9
35	sup.	5	19	0.86	8.1	3.3	2.1	2.6	0.04	3.9	1.1	2.8	15.8
58	sup.	1	19	0.73	7.2	4.0	1.5	2.0	0.03	4.4	0.9	1.9	14.7
79	sup.	10	22	0.27	7.2	1.0	0.8	1.4	0.04	1.6	0.4	1.1	6.3
1	sorg.	0.10	16	0.52	7.0	1.6	1.5	2.1	0.04	2.2	0.8	2.3	10.5
2	sorg.	0.05	14	0.19	6.5	0.5	0.6	1.1	0.02	1.0	0.3	0.9	4.4
3	sorg.	0.05	15	0.19	7.9	1.1	0.5	1.0	0.03	1.0	0.9	0.9	5.4
4	sorg.	0.10	15	0.25	7.1	1.0	0.7	1.4	0.03	1.4	0.4	1.3	6.2
5	sorg.	0.20	16	0.56	6.8	3.3	1.2	1.8	0.03	3.7	0.9	1.9	12.8
6	sorg.	0.10	17	0.19	7.9	1.0	0.8	0.7	0.03	1.5	0.4	0.7	5.1
9	sorg.	0.20	15	0.89	7.2	6.0	0.8	1.4	0.05	5.1	1.3	1.6	16.2
10	sorg.	0.15	16	0.76	7.0	4.9	0.8	1.8	0.03	4.8	0.9	1.7	14.9
11	sorg.	<0.05	14	0.14	6.7	0.4	0.7	0.9	0.02	0.9	0.1	0.9	3.9
12	sorg.	<0.05	16	0.18	6.7	0.8	0.8	1.0	0.02	1.5	0.1	1.0	5.2
13	sorg.	<0.05	14	0.32	6.7	1.1	0.6	1.9	0.02	1.7	0.1	1.5	6.9
14	sorg.	<0.05	15	0.14	6.5	0.5	0.5	0.9	0.02	0.9	0.1	0.9	3.8
15	sorg.	<0.05	15	0.19	7.9	0.6	0.7	1.1	0.02	1.1	0.3	1.0	4.8
16	sorg.	<0.05	16	0.88	8.0	5.3	1.6	1.4	0.02	4.7	1.9	1.7	16.6
17	sorg.	0.05	15	0.30	6.5	1.5	0.7	1.3	0.01	1.6	0.2	1.5	6.8
21	sorg.	<0.05	17	0.17	6.8	0.5	0.6	1.1	0.03	0.9	0.4	0.9	4.4
22	sorg.	0.05	16	0.18	7.4	0.8	0.5	1.0	0.03	1.0	0.4	1.0	4.7
23	sorg.	<0.05	15	0.22	6.9	1.5	0.5	0.8	0.02	1.7	0.2	0.7	5.4
24	sorg.	<0.05	16	0.38	7.1	1.5	1.0	1.6	0.05	2.2	0.2	1.7	8.2
25	sorg.	0.05	17	0.54	7.8	2.6	1.4	1.7	0.04	3.4	1.1	1.3	11.5
27	sorg.	0.20	15	0.60	7.2	5.0	0.5	0.7	<0.01	4.5	0.5	0.9	12.1
28	sorg.	<0.05	13	0.77	7.2	4.1	2.0	1.5	0.03	4.8	0.9	1.5	14.8
34	sorg.	1.00	13	0.72	7.0	3.5	1.3	2.0	0.04	4.3	0.3	2.2	13.6
57	sorg.	0.05	18	0.53	6.7	1.6	1.0	2.4	0.05	1.6	0.7	2.3	9.6
59	sorg.	<0.05	18	0.65	7.1	1.8	1.0	3.2	0.06	2.0	0.5	3.0	11.6
61	pozzo	--	18	0.69	7.7	2.6	1.0	3.0	0.05	2.9	1.0	2.1	12.6
62	sorg.	<0.05	18	0.28	7.0	0.8	0.4	1.9	0.03	1.2	0.6	1.3	6.2
70	sorg.	<0.05	18	0.50	7.2	2.6	0.9	1.9	0.05	2.2	1.0	1.9	10.5
72	sorg.	0.10	17	0.57	7.2	1.7	1.2	3.0	0.06	2.1	0.8	3.2	12.1
80	pozzo	--	18	0.53	6.8	1.0	1.5	2.4	0.04	1.9	0.5	2.2	9.5
81	pozzo	--	16	0.60	7.3	2.4	1.8	1.5	0.08	3.4	0.6	1.5	11.3
82	pozzo	--	17	0.90	7.8	2.8	2.3	3.3	0.07	4.7	1.7	2.3	17.2
30	sorg.	0.05	15	1.4	7.0	8.4	1.5	2.1	0.09	7.6	1.5	2.4	23.6
31	pozzo	--	15	7.5	7.0	13.1	6.0	10.8	0.16	8.1	8.7	11.8	58.7
32	pozzo	--	16	4.5	6.9	8.6	5.0	9.0	0.28	7.5	6.2	8.0	44.6
36	pozzo	--	20	0.9	7.7	1.3	1.2	5.9	0.07	4.7	1.3	2.4	16.9
37	pozzo	--	16	2.6	7.1	6.3	2.8	5.7	0.33	6.8	3.6	4.6	30.1
38	pozzo	--	19	1.7	6.9	4.1	3.1	6.6	0.29	5.9	2.2	6.1	28.3
39	sorg.	0.50	16	1.6	7.1	6.3	3.2	4.3	0.02	6.3	4.3	3.4	27.8
40	pozzo	--	15	1.0	7.6	4.1	2.5	1.8	0.10	5.5	1.3	1.9	17.2
41	sorg.	0.50	18	2.8	7.7	3.6	3.9	11.5	0.08	6.9	6.8	5.3	38.1
42	pozzo	--	15	1.9	7.1	4.3	2.4	6.7	0.10	7.0	1.7	4.5	26.7
43	pozzo	--	16	2.1	7.0	3.0	4.2	6.6	0.72	6.9	2.6	4.7	28.7
44	sorg.	<0.05	16	1.6	9.2	0.2	0.3	13.0	0.05	8.4	2.0	3.0	27.0
45	sorg.	0.25	13	1.6	7.4	8.2	2.9	2.5	0.03	7.4	2.9	2.5	26.4
46	sorg.	0.20	15	3.7	8.4	6.6	3.3	8.0	0.04	5.8	8.4	4.0	36.1
47	sorg.	<0.05	14	1.4	7.6	4.3	2.3	4.0	0.03	6.1	1.0	3.0	20.7
48	pozzo	--	16	15.0	7.3	8.5	10.7	20.0	0.58	9.2	2.9	25.6	77.5
49	pozzo	--	19	7.8	7.9	2.8	1.2	20.5	0.09	3.3	9.6	13.6	51.1
50	pozzo	--	14	15.0	7.4	14.3	11.0	19.7	0.60	7.0	3.1	32.3	88.0
51	sorg.	<0.05	15	6.6	8.0	4.4	3.2	12.6	0.09	6.3	5.8	6.9	39.3
52	pozzo	--	15	15.0	7.4	8.1	5.9	22.0	0.17	6.3	4.8	21.0	68.3
53	pozzo	--	17	2.5	7.3	6.3	3.7	5.9	0.24	6.8	5.4	3.8	32.1
54	pozzo	--	16	1.2	7.3	4.1	2.7	4.3	0.09	4.1	3.6	3.0	21.9
55	pozzo	--	17	1.2	7.5	4.4	1.9	5.4	0.05	5.2	3.0	2.9	22.8
56	pozzo	--	18	1.1	7.3	3.5	2.4	4.2	0.09	3.5	0.8	4.8	19.3
60	pozzo	--	17	2.5	7.4	6.8	3.1	8.8	0.22	7.3	6.0	5.1	37.3
63	pozzo	--	17	2.0	7.4	7.5	2.9	7.3	0.19	6.0	9.5	3.4	36.8
64	pozzo	--	17	1.5	9.3	0.1	0.1	12.9	0.04	8.8	2.3	2.9	27.1
65	pozzo	--	17	17.0	7.3	16.8	11.2	24.3	0.42	9.4	33.0	10.3	105.4
66	pozzo	--	18	3.3	7.4	11.3	5.4	11.7	0.04	7.2	16.0	8.9	60.5
67	pozzo	--	20	3.4	7.8	12.0	9.0	13.3	0.92	7.0	20.6	7.1	69.9
68	pozzo	--	20	1.6	8.0	6.1	2.5	6.5	0.08	5.4	6.8	3.2	30.6
69	pozzo	--	18	1.3	8.4	2.2	2.7	7.7	0.03	6.4	1.9	3.5	24.4
71	pozzo	--	17	0.8	7.2	3.2	2.1	3.0	0.06	3.3	1.4	3.5	16.6
73	pozzo	--	17	1.4	8.3	7.4	2.8	4.6	0.06	4.2	7.4	3.1	29.6
74	pozzo	--	20	1.0	7.7	3.1	1.7	4.7	0.39	5.1	1.6	2.4	19.0
75	sorg.	0.20	18	4.1	7.5	5.7	4.3	11.0	0.27	4.8	3.2	12.9	42.2
77	pozzo	--	19	6.0	7.7	5.6	4.1	12.0	0.46	6.9	6.4	8.9	44.4

in basso, a sinistra sono riportati i valori di reazione in cinquantiesimi dei cationi (Ca, Mg, Na+K), a destra quelli degli anioni (HCO_3 , SO_4 e Cl). I due triangoli forniscono quindi separatamente informazioni sulle composizioni cationiche ed anioniche dei vari campioni. Nel rombo centrale i quattro vertici rappresentano Ca+Mg, Na+K, SO_4 +Cl e HCO_3 ; il punto rappresentativo del chimismo di un campione è dato dall'intersezione delle due rette tracciate parallelamente ai lati del rombo a partire dai due punti rappresentanti la composizione cationica ed anionica. Campioni aventi uguali rapporti percentuali fra gli elementi o gruppi chimici ma con salinità diversa appaiono sovrapposti in questi diagrammi. Per evidenziare la variazione di salinità i campioni sono rappresentati da cerchi crescenti al crescere di questa grandezza.

Le acque superficiali

Il diagramma di Piper delle acque superficiali è riportato in figura 2. Le acque sono caratterizzate da valori di salinità molto bassa (da 4,6 a 15,4 meq/l di cationi

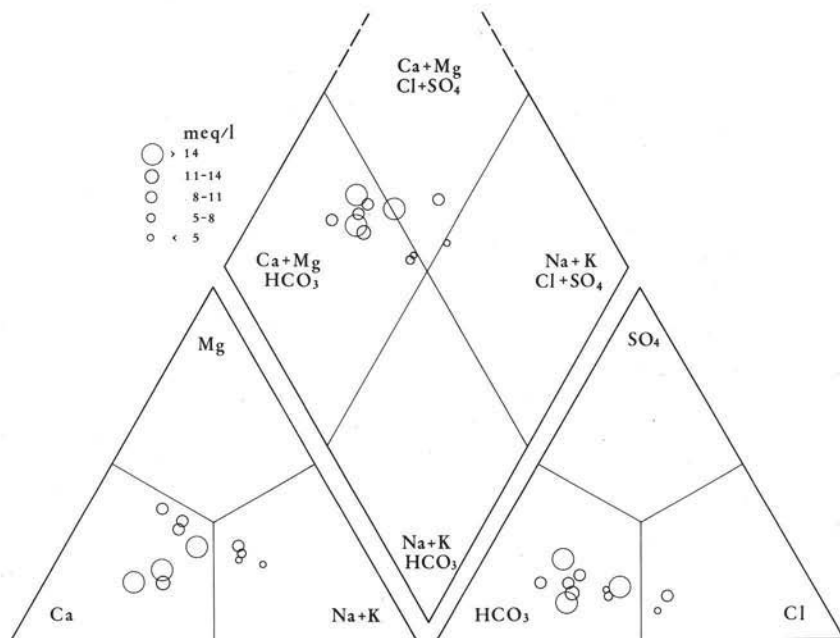


Fig. 2. — Diagramma di PIPER delle acque superficiali.

ed anioni disciolti corrispondenti per quelle composizioni approssimativamente a 150-550 mg/l). Dal grafico si può vedere come all'aumentare della salinità queste acque si evolvono verso termini decisamente a bicarbonati alcalino-terrosi con rapporto Ca/Mg variabile ma sempre maggiore di 1. Il contenuto in solfati è sempre modesto ma crescente regolarmente e tale che bicarbonati e solfati siano bilanciati da Ca e Mg. Ne consegue che anche Na e Cl sono in rapporto rigorosamente stecchio-

metrico. Percentualmente, però, il loro contributo, rilevante nelle acque meno saline, diviene sempre meno importante per quelle più mature. Nel grafico della figura 3 sono riportate le rette di regressione ed i coefficienti di correlazione lineare per gli anioni considerati separatamente rispetto al contributo anionico totale. Quanto precedentemente esposto permette di interpretare l'evoluzione del chimismo delle acque superficiali nella regione montuosa secondo il seguente schema: la salinità delle acque meno mature è dovuta in gran parte al contenuto di cloruro sodico presente nell'acqua meteorica; i valori sono in accordo con quelli osservati per le

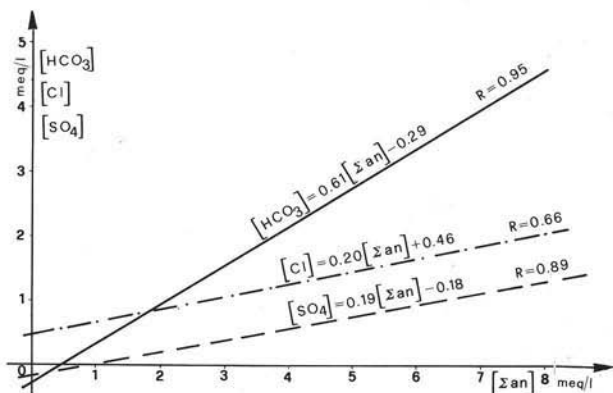


Fig. 3. — Rette di regressione delle concentrazioni anioniche rispetto alla somma degli anioni per le acque superficiali. I coefficienti di correlazione lineare e le equazioni sono indicati a fianco di ogni retta.

precipitazioni meteoriche in Sardegna (fino a 1,2 meq/l in Cl: DETTORI B., comunicazione personale) e sono collegabili con l'insularità della regione e le caratteristiche climatiche di essa. Il successivo arricchimento salino è sempre modesto e dovuto prevalentemente al bicarbonato calcico.

Le acque delle formazioni paleozoiche

In questo gruppo, come detto in precedenza, sono considerati anche due campioni (81 e 82) d'acqua delle alluvioni recenti ed attuali del Flumendosa.

I campioni sono stati prelevati in maggioranza nel settore orientale dell'area in studio. Il diagramma di Piper per queste acque è riportato in figura 4. In prima approssimazione non si è ritenuto opportuno distinguere le acque a seconda dei tipi litoidi del complesso paleozoico e ciò per due ordini di considerazioni: 1) la difficoltà di attribuzione ad un certo tipo litoide, dal momento che tutte o quasi tutte le acque, con l'esclusione dei campioni prelevati nelle alluvioni del Flumendosa, risultano da una circolazione molto modesta ed abbastanza superficiale con alimentazione, circolazione ed emergenza legate a situazioni geologiche diverse da caso a caso, solo alcune volte facilmente individuabili, più spesso ipotizzabili con difficoltà; 2) la scarsa utilità dell'attribuzione dal momento che risultati analitici simili sono riscontrabili per campioni sicuramente riferibili a tipi litoidi diversi.

linea evolutiva verso i termini a bicarbonato alcalino-terroso si discostano in genere le acque la cui circolazione è ricollegabile ai graniti, porfidi e porfiroidi. Queste acque sono fra quelle meno saline e con tenori in cloruro, anche se di poco, percentualmente più elevati rispetto al chimismo dell'acqua di partenza della linea evolutiva. Tale linea è ancora una volta ben evidenziata nel grafico di figura 5 che mostra l'andamento delle concentrazioni anioniche rispetto al contributo anionico totale.

Le acque delle formazioni sedimentarie terziarie e delle vulcaniti oligo-mioceniche

Il diagramma di Piper di queste acque (fig. 6) mostra una grande dispersione del chimismo. Si può osservare nel diagramma centrale che gran parte dei campioni e tutti quelli più salini cadono nel campo a cloruro-solfato a differenza di quanto si verificava per gli altri due gruppi di acque discussi prima. Per quanto riguarda i cationi si osserva per la maggior parte dei campioni un addensamento nel settore $\text{Na} + \text{K}$ in un campo abbastanza ristretto; quando gli anioni si considerano separatamente si osserva che i campioni meno salini si trovano nel campo HCO_3 , quelli più salini nel campo SO_4 o in quello Cl ; molti campioni a salinità intermedia occupano la parte centrale del triangolo. I campioni 44 e 64 caratterizzati da chimismo a bicarbonato-carbonato di sodio con pH maggiore di 9 occupano nel diagramma di Piper posizioni ben distinte.

L'andamento delle concentrazioni anioniche in funzione della salinità è riportato in figura 7. Rispetto agli altri due gruppi di acque, si osserva il contributo determinante di cloruri e solfati nella maturazione delle acque delle formazioni sedimentarie post-mesozoiche. Anche al fine di evidenziare se la varietà composizionale delle acque poteva essere posta in relazione con le diverse formazioni della zona, si è ritenuto opportuno effettuare un tentativo di raggruppamento dei campioni mediante analisi di «clustering» usando come variabili le concentrazioni normalizzate dei cationi e degli anioni ed escludendo il K per il suo basso contributo.

Si è seguita una procedura di raggruppamento basata sulla funzione di distanza $D_{1,2} = \sqrt{[\sum_{i=1}^M (x_{i1} - x_{i2})^2 / M]}$ dove x sono i valori delle variabili normalizzate ed M il loro numero. Per i calcoli è stata eseguita la procedura di «clustering» indicata da G. COCCO ed F. SANTORO (1979). Questo tipo di analisi mostra un grosso inconveniente dovuto al fatto che le concentrazioni di qualsiasi elemento o gruppo chimico disciolto sono correlate positivamente con la salinità e quindi fra loro. Un'analisi di questo tipo ha condotto ad un raggruppamento dei campioni in funzione della salinità rivelandosi inefficace per la classificazione delle acque. Migliori risultati sono stati ottenuti considerando come variabili i valori di reazione e la salinità normalizzata. In questo tipo di analisi si dava più importanza alla composizione chimica pur tenendo in debito conto la salinità; tutte le variabili composizionali (valori di reazione) erano considerate indipendenti e questo, pur non essendo rigorosamente valido, poteva rappresentare una buona

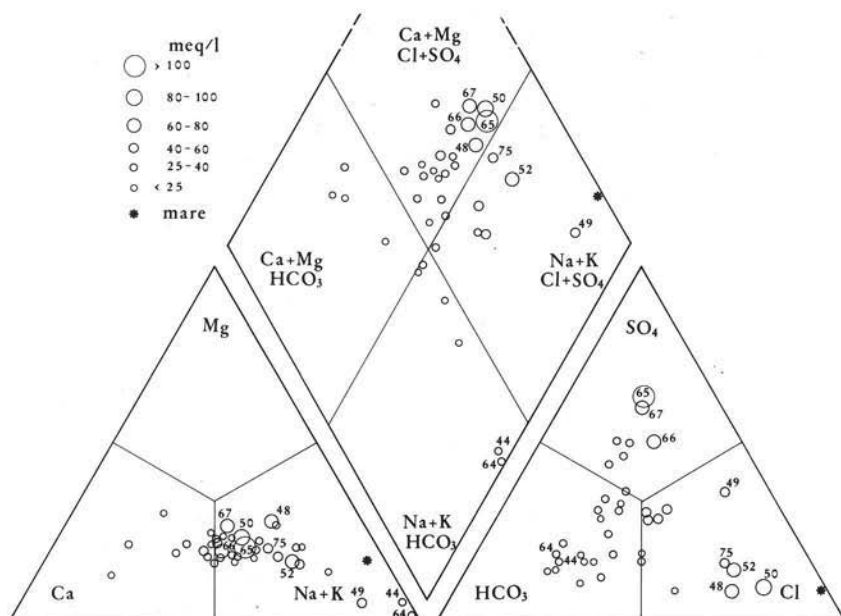


Fig. 6. — Diagramma di PIPER delle acque delle formazioni sedimentarie terziarie e delle vulcaniti oligo-mioceniche.

approssimazione per queste acque a differenza di quanto si osserva per quelle della formazione paleozoica.

Il risultato dell'analisi di «clustering» condotta in questo modo è stato inte-

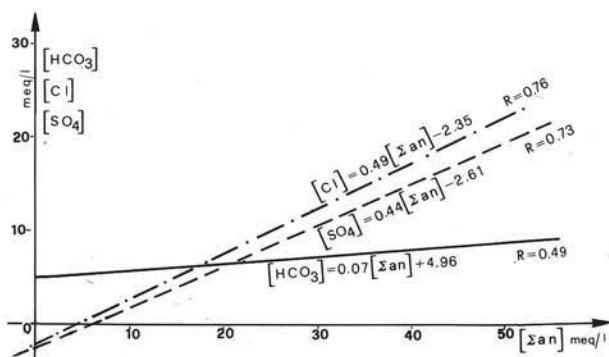


Fig. 7. — Rette di regressione delle concentrazioni anioniche rispetto alla somma degli anioni per le acque delle formazioni sedimentarie terziarie e delle vulcaniti oligo-mioceniche. I coefficienti di correlazione lineare e le equazioni sono indicate a fianco di ogni retta.

ressante dal momento che i campioni risultano raggruppati in un modo che rispetta fedelmente la loro posizione nel grafico triangolare degli anioni, una volta che si tenga conto anche della salinità (fatta eccezione per i campioni 44 e 64);

viene così confermata l'osservazione di CHEBOTAREV (1955) che classificazione ed evoluzione delle acque sono evidenziabili mediante le composizioni anioniche.

Se si interrompe il processo di «clustering» quando questo è in uno stadio avanzato ed il successivo passo porta ad un aggruppamento, ad una distanza quasi doppia di quella presa in esame precedentemente, si osservano quattro gruppi ed un campione isolato.

Il gruppo più numeroso comprende 27 campioni (tutti quelli che nella figura 6 non sono contraddistinti da un numero); il secondo gruppo comprende i campioni 75, 52, 48, 50, a cloruri; il terzo i campioni 66, 67, 65, a solfati; il quarto gruppo i campioni 44, 64, a bicarbonato-carbonato sodico, caratterizzati da valori molto alti di pH; il campione 49 con un chimismo intermedio tra il secondo e il terzo gruppo rimane isolato. All'interno del primo gruppo sono distinguibili nel «clustering» altri sottogruppi correlabili con le variazioni delle composizioni anioniche nel corrispondente diagramma triangolare. In questo grafico si può osservare che le acque meno saline corrispondono all'evoluzione finale delle acque «paleozoiche» (a bicarbonato calcico prevalente con salinità attorno a 20 meq/l ovvero circa 650 mg/l). L'evoluzione chimica di queste acque avviene nelle formazioni terziarie e quaternarie della zona secondo due direttrici: una che porta alle acque ricche di solfati con salinità massima superiore a 100 meq/l (circa 3.500 mg/l), l'altra alle acque ricche in cloruri con salinità appena inferiore alle precedenti e con un chimismo tendente a quello dell'acqua marina. Queste due linee evolutive hanno probabilmente a comune la maturazione iniziale come dimostrerebbe l'addensarsi al centro del triangolo di campioni a salinità intermedia.

Le acque a cloruri sono localizzate nella parte più occidentale della zona in studio in corrispondenza della «Formazione di Samassi»; ciò non sorprende dal momento che indagini geo-elettriche indicano per questa formazione, impermeabile in grande, un'elevata conducibilità da mettere in relazione con un'elevata salinità; infatti, sebbene la formazione sia d'origine continentale, essa si è costituita a spese prevalentemente della formazione miocenica precedente.

Le acque a solfati sono localizzate nella parte più settentrionale della zona campionata. La loro presenza è generalmente da mettere in relazione con rocce evaporitiche contenenti solfato di calcio, oppure con l'alterazione di mineralizzazioni a solfuri; tutte e due le possibilità sono state prese in considerazione per la zona in oggetto. Sebbene essa non sia dettagliatamente studiata, è noto che le marne mioceniche della zona contengono pirite in abbondanza, mentre livelli gessosi evaporitici non risultano segnalati; pertanto si è pensato che il chimismo delle acque sia da mettere in relazione con l'ossidazione della pirite piuttosto che con ipotetici livelli evaporitici.

Le acque a bicarbonato-carbonato sodico con pH maggiore di 9, localizzate ad est di quelle caratteristiche a solfati, non trovano altra spiegazione se non ammettendo un'interazione per cui il calcio contenuto nelle acque meno evolute della formazione sedimentaria viene ad essere scambiato con il sodio. Infatti si può osser-

vare come nel triangolo anionico queste acque siano posizionate all'inizio della linea evolutiva.

Interessante sembra essere il dato osservazionale ricavato per alcuni campioni prelevati nelle andesiti oligo-mioceniche; questi mostrano un chimismo analogo a quello del gruppo di acque della formazione sedimentaria terziaria meno evolute. Un solo campione (41) prelevato abbastanza vicino al giacimento caolinifero mostra una chiara evoluzione verso i termini a solfati. Con ciò viene confermata la presenza di acque a solfati (ROSSETTI V., 1963; URAS I., 1971) ricollegabile certamente con l'ossidazione di pirite associata all'alterazione caolinica delle vulcaniti; sembra, invece, da escludere che le acque a solfati siano una caratteristica generale del tipo litoide nel suo insieme.

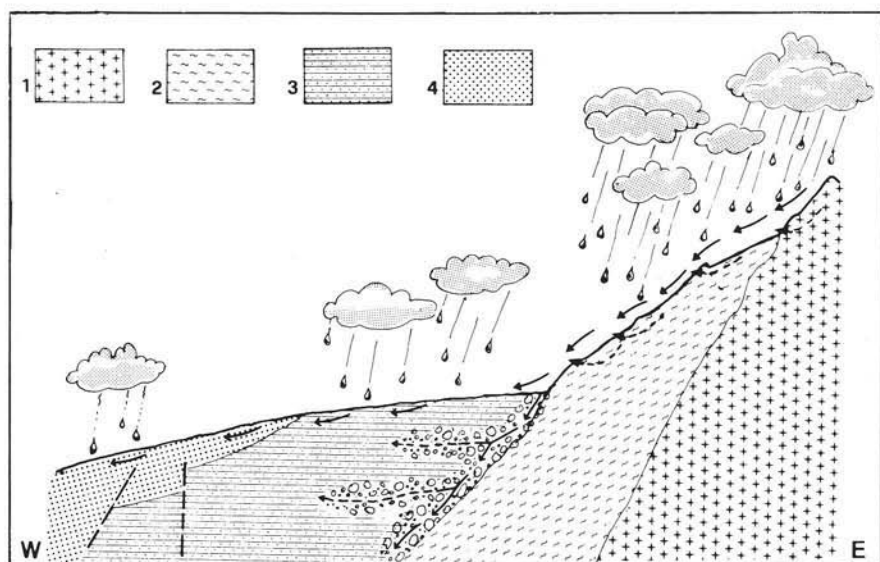


Fig. 8. — Schema della circolazione e dell'evoluzione chimica delle acque nella zona in studio.

LEGENDA: 1 = Graniti, porfidi e « porfiroidi » (magmatismo ercinico e pre-ercinico). Infiltrazione trascurabile, pochissime sorgenti con portate minime; ruscelli stagionali. Acque molto poco mineralizzate con NaCl prevalente. - 2 = Serie ordoviciano-silurico-devonica. Scarsa infiltrazione, numerose sorgenti con portate esigue; torrenti stagionali. Acque poco mineralizzate con evoluzione verso termini a $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ prevalente. - 3 = Serie miocenica. Falda freatica raramente emergente alimentata in massima parte dai corsi d'acqua quasi tutti stagionali provenienti dal complesso paleozoico. Acque inizialmente a bicarbonato che si maturano verso termini a solfato. 4 = « Formazione di Samassi » (pliocene). Falda freatica alimentata da corsi d'acqua quasi tutti stagionali. Acque a cloruro abbastanza mature.

Conclusioni

Sulla base dei dati analitici, litologici e idrogeochimici, circolazione ed evoluzione delle acque nella zona compresa nello studio possono essere riassunte schematicamente mediante il grafico di figura 8 e le annesse didascalie relative ad ogni

tipo o insieme di tipi litoidi. Il grafico rappresenta idealmente una sezione W-E limitata al solo bacino di sinistra del Flumini Mannu.

Ringraziamenti. — Gli Autori intendono ringraziare i Proff. PALA e PECORINI dell'Istituto di Geologia dell'Università di Cagliari per gli utili suggerimenti forniti ed i Proff. COCCO, GIACQUINTO e ZANZARI dell'Università di Perugia per le facilitazioni di calcolo offerte e per la proficua discussione sui dati elaborati.

BIBLIOGRAFIA

- CALVINO F. (1967) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, F.º 227: « Muravera »*. Soc. Coop. Tipogr., Padova.
- CARMIGNANI L., COCOZZA T., MINZONI N., PERTUSATI P.C. (1978) - *Falde di ricoprimento erciniche nella Sardegna a NE del Campidano*. Boll. Soc. Geol. It. (in corso di stampa).
- CARRARA C., GHIARA E., GRAGNANI R. (1974) - *Distribuzione dell'Uranio in alcuni bacini della Sardegna*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 30, 1175-1191.
- CHEBOTAREV I. I. (1955) - *Metamorphism of natural waters in the crust of weathering. Part 1*. Geoch. et Cosmoch. Acta, 8, 22-48.
- CHERCHI A., MARINI A., MURRU M., ULZEGA A. (1979) - *Movimenti neotettonici nella Sardegna meridionale (Nota preliminare)*. Boll. Soc. Geol. It. (in corso di stampa).
- COCCO G., SANTORO F. (1979) - *Cluster Analysis applicata a problemi idrogeochimici*. Accademia Gioenia (in corso di stampa).
- COCOZZA T., JACOBACCI A., NARDI R., SALVADORI I. (1974) - *Schema stratigrafico-strutturale del Massiccio Sardo-Corso e minerogenesi della Sardegna*. Mem. Soc. Geol. It., 13, 85-186.
- PECORINI G., CHERCHI A. (1969) - *Ricerche geologiche e biostratigrafiche sul Campidano meridionale (Sardegna)*. Mem. Soc. Geol. It., 7, 421-451.
- ROSSETTI V. (1963) - *Il Caolino di Serrenti-Furtei (Cagliari)*. Rend. Sem. Fac. Sc. Cagliari, 32, 1-15.
- SCHNEIDER H. (1972) - *Schichtgebundene NE-Metal- und F-Ba-Lagerstätten in Sarrabus-Gerrei-Gebiet, SE Sardinien*. N. Jb. Miner. Mh., 12, 529-541.
- URAS I. (1971) - *Giacimenti di Caolino in Sardegna - Contributo al problema della genesi*. Atti 1º Congresso AIPEA, 111-126.