

# STUDIO GEOGIACIMENTOLOGICO E CARATTERISTICHE MINERALOGICO-PETROGRAFICHE DEL CAOLINO DELL'AREA DI TRESNURAGHES (SARDEGNA CENTRO-OCCIDENTALE)

BRUNO CARBONI

Ingegnere Minerario, via Einstein, Cagliari

CARLO GARBARINO, GIORGIO PADALINO, IVO URAS

Istituto di Giacimenti Minerari, Fac. di Ingegneria dell'Università, piazza d'Armi, 09100 Cagliari

MARCELLA PALOMBA

Centro Studi Geominerari e Mineralurgici del C.N.R.,

c/o Ist. di Giacimenti Minerari, Fac. di Ingegneria dell'Università, piazza d'Armi, 09100 Cagliari

**RIASSUNTO.** — Questa ricerca ha per oggetto la prospezione geomineraria di alcuni adunamenti di caolino situati in area di Tresnuraghes (Sardegna centro-occidentale). A tale scopo è stato effettuato un rilevamento geologico alla scala 1:5.000, una campionatura sistematica a maglia quadrata dell'area prospettata e una campionatura di dettaglio in una cava di caolino, scelta come area mineralizzata campione, sita in località Patalza.

Tutti i campioni sono stati sottoposti ad analisi spettrometrica per fluorescenza X, analisi microscopica, diffrattometrica e termodifferenziale.

Sulla base dei dati ottenuti è stato possibile:

- classificare le rocce vulcaniche acide e distinguerle in due facies: rioliti e rioliti anautiliche (tardive rispetto alle prime);
- stabilire la variazione dei tenori in caolinite normativa dei campioni di caolino prelevati in cava Patalza;
- individuare le correlazioni tra vulcanismo acido e mineralizzazioni nonché delle guide per la prospezione degli adunamenti caolinici insediati in rocce di analoga origine e composizione;
- costruire un modello genetico dei giacimenti di caolino nell'area investigata.

**ABSTRACT.** — The main purpose of this study is the prospecting of some kaolin deposits in Tresnuraghes area (middle-western Sardinia). A detailed geological surveying (scale 1:5,000), a systematic sampling by a square grid of the prospected area and a detailed sampling in a quarry of kaolin in Patalza area, has been carried out.

All samples have been analysed by XRF, microscope, diffractometer and DTA.

This research allows to achieve the following results:

- to class pre-miocenic volcanic rocks and to distinguish them in two facies: rhyolites and anauxite-rhyolites;
- to define the variations of percentage in normative kaolinite of kaolin samples taken in Patalza quarry;
- to identify the correlations between volcanism and mineralizations and some guides for prospecting of kaolin deposits placed in the same types of rocks;
- to deal a genetic model for the kaolin deposits of the searched area.

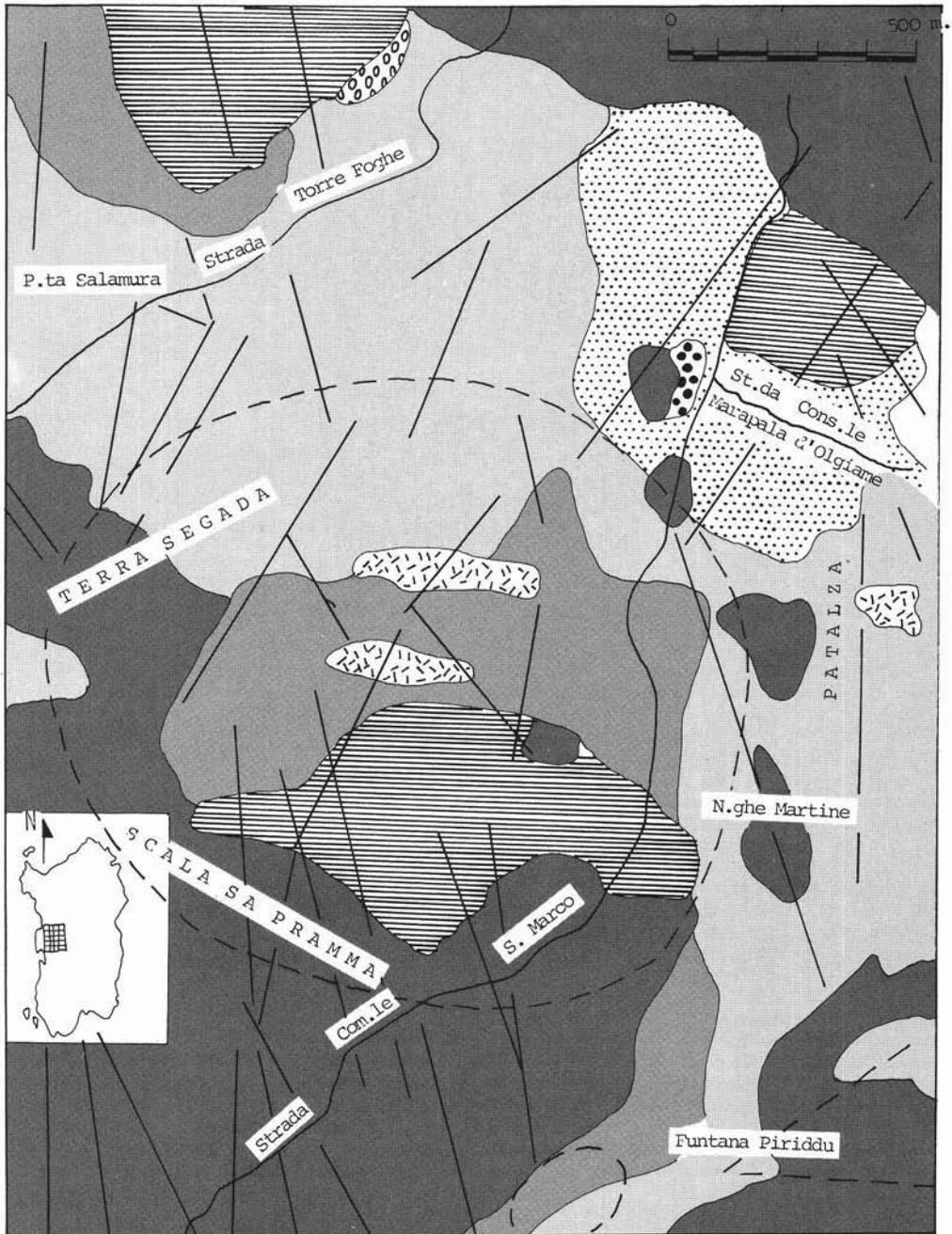
## 1. Introduzione

Il presente lavoro rientra nel quadro di una ricerca che ha per oggetto la prospezione geomineraria degli adunamenti di caolino della zona di Patalza in area di Tresnuraghes (Sardegna centro-occidentale). Essi sono già noti in letteratura per alcuni lavori scientifici, a prevalente carattere minero-petrografico, che li hanno interessati (DERIU, 1953).

## 2. Geologia della regione

### 2.1. Stratigrafia

È stato eseguito un rilevamento geologico e fotogeologico dell'area a Sud di Tresnuraghes (fig. 1). Le formazioni rilevate sono costituite, dal basso verso l'alto, da vulcaniti acide premioceniche (ROSSETTI, 1951) con



- |   |   |   |   |    |
|---|---|---|---|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5  |
| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|   |   |   |   | 11 |

Fig. 1. — Schema geologico. - *Legenda*: 1) Rioliti; 2) Breccie associate al vulcanismo riolitico; 3) Rioliti anauxitiche; 4) Caolino; 5) Miocene in facies prevalentemente arenacea; 6) Miocene in facies calcareo-marnosa; 7) Breccie pre-basalti; 8) Basalti plio-quadernari; 9) Principali direzioni di fratture e tagli; 10) Faglie e fratture probabili; 11) Probabili centri di emissione delle vulcaniti acide.

brecce associate e da sedimenti marini del Langhiano-Elveziano (POMESANO, 1970) in due diverse facies: nella prima, l'inferiore, prevale la facies conglomeratica poligenica a cemento carbonatico e resti fossili, per lo più, di grosse ostree. Nella seconda, stratigraficamente più alta, si ha alla base la prevalenza di arenarie e marne arenacee che sfumano, verso l'alto, a calcari organogeni grigi a litotamni, echinidi e molluschi.

Un nuovo ciclo plio-pleistocenico di manifestazioni vulcaniche segue le formazioni carbonatiche.

Il preludio a questa ripresa del vulcanismo (come è visibile all'incrocio tra la strada comunale S. Marco e la consorziale Marapala d'Olgiate) è dato dalla presenza di brecce per lo più costituite da elementi riolitici grosolani inglobati in una matrice tufacea, poco coerente.

La serie si chiude dunque con i basalti plio-quadernari, che costituiscono gli « alti » stratigrafici e morfologici della regione.

## 2.2. Tettonica

La situazione strutturale della zona, sia dalle osservazioni di campagna che da quelle dedotte da uno studio fotogeologico, è risultata piuttosto tormentata. Si riscontra tutta una serie di faglie e fratture che, interessando i terreni cenozoici, sono da riferire alla tettonica distensiva terziaria e, probabilmente, anche plio-quadernaria.

Alle faglie è imputabile il sollevamento relativo, a modesti rigetti, e il basculamento dei blocchi vulcanici, gli uni rispetto agli altri. Sembra inoltre di riconoscere, fondamentalmente sulla base dello studio fotogeologico, strutture che potrebbero essere riferite ad un antico centro di emissione del raggio di circa 700 m, con manifestazioni periferiche di tipo breccioide (fig. 1).

Un altro probabile centro di emissione è stato individuato a SE dell'area in studio, in località Funtana Piriddu, dove si possono osservare una serie di faglie ad andamento radiale, talora accompagnate da brecce di esplosione.

È probabile che l'attività tettonica abbia anche influito sull'impostazione del reticolo idrografico, poichè alcuni dei corsi d'acqua scorrono su linee di faglia e/o di frattura. Le direzioni di deflusso principali sono

WNW-ESE (Rio Giunis, Rio Suelzu, Canale S'Umbra) e NE-SW (Rio Mulineddu).

## 3. Caratteristiche delle vulcaniti e loro inquadramento petrografico

Sulla base delle caratteristiche macroscopiche, è stato possibile suddividere in due membri la serie vulcanica acida terziaria; successivi studi microscopici hanno poi confermato l'esattezza di queste osservazioni e fornito ulteriori elementi utili per la caratterizzazione delle due facies. Il membro inferiore è costituito da rocce per lo più rosa con evidenti listature più chiare, tendenti al bianco, a causa della più spinta alterazione caolinica. Esse sono raramente sane, perchè interessate da numerose fratture e da fenomeni di alterazione. Spesso si riscontrano vacuoli di varie dimensioni dovuti, probabilmente, sia all'alterazione meccanica con asporto di alcuni frammenti, sia a quella chimica dei minerali feldspatici.

Talora si nota la presenza di evidenti fenocristalli, altre volte la roccia risulta essere di tipo granulare microcristallino.

Questa facies è quasi sempre interessata da fenomeni di caolinizzazione che vanno da alterazioni puramente superficiali fino a vere e proprie aree più intensamente caolinizzate, con fenomeni che si spingono in profondità, come è avvenuto in località Patalza. Al microscopio sono caratterizzate da una tessitura pseudo-fluidale con matrice sempre più o meno caolinizzata. La pasta di fondo, in alcuni campioni, è risultata essere vetrosa; sono spesso osservabili, inoltre, evidenti fenomeni di devetrificazione che la interessano. I plagioclasii sono tra i pochi fenocristalli riconoscibili e quasi sempre sono geminati albite; rari sono i geminati albite-carlsbad. La loro composizione varia da  $Ab_{70}An_{30}$  a  $Ab_{60}An_{40}$ ; si tratta quindi, praticamente, di andesina.

Il membro superiore della serie vulcanica terziaria è risultato essere, all'analisi microscopica, prevalentemente di tipo anauxitico. Macroscopicamente si presenta di colore per lo più da grigio a verde chiaro, anche se non mancano zone in cui la roccia è rosa-biancastra. Nella matrice si notano spesso i piromeridi di anauxite, peraltro già segnalati da ROSSETTI (1951) e DERIU (1953) per la stessa area.

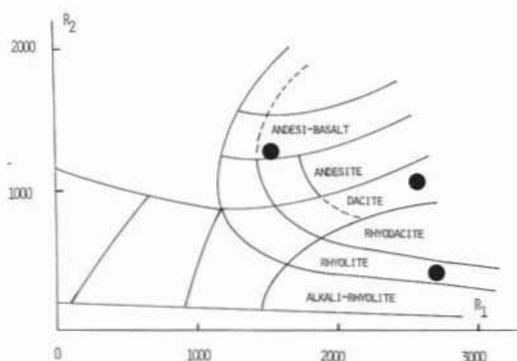


Fig. 2. — Diagramma  $R_2$ - $R_1$  (DE LA ROCHE et alii, 1980) per le rocce effusive.

Concordemente a quanto sostenuto dal ROSSETTI (op. cit.) per le stesse rocce, in sezione sottile esse mostrano una serie di sferule la cui formazione è « strettamente legata ai valori del sovraraffreddamento della massa fusa ».

Secondo lo stesso Autore « l'accrescimento dei piromeridi è radiale, capillare attorno ad un nucleo germinale, di feldspato, di silice cristallizzata nella fase tridimite o femico. Le sferuliti hanno dimensioni medie di 2 mm anche se, in casi eccezionali, superano i 5 mm. È anche ben osservabile il nucleo centrale singolo o plurimo, spesso idiomorfo, circondato da una sostanza che, isotropa verso il centro, presenta centrifugamente polarizzazione d'aggregato. La struttura raggiata del piromeride dà, in luce parallela a nicols incrociati, una croce nera, molto evidente verso la periferia. L'estinzione è parallela all'allungamento degli elementi filiformi che costituiscono gli infiniti raggi dello sferoide ». La natura degli sferuliti è cristobalitico-anauxitica, come affermato sempre dal ROSSETTI (op. cit.) per studi su altre zone vicinali.

I sedimenti marini miocenici che ricoprono le lave acide sopraddescritte ed i basalti plio-quadernari non vengono qui presi in considerazione dal punto di vista di una descrizione strutturale e tessiturale, in quanto queste rocce sono risultate essere influenti per le manifestazioni caolinifere che costituiscono l'interesse ultimo di questa ricerca.

La classificazione delle rocce vulcaniche è stata fatta, sulla base delle analisi chimiche

degli elementi maggiori, utilizzando lo schema proposto da DE LA ROCHE (1980) e riportando sul diagramma la media composizionale per ogni famiglia di rocce. La maggior parte delle vulcaniti è compresa nel campo delle rioliti ma alcuni campioni compaiono in quello delle daciti. Le rocce basaltiche plio-quadernarie ricadono nel campo degli andesit-basalti (fig. 2).

#### 4. La mineralizzazione

Le manifestazioni caoliniche più evidenti interessano prevalentemente le rioliti inferiori (che di seguito chiameremo semplicemente « rioliti »), anche se fenomeni di minore importanza sono stati localizzati nelle rioliti anauxitiche (Auct.). Il passaggio dalle vulcaniti fresche alla roccia caolinizzata è sfumato, tanto che nella zona di transizione sono ancora individuabili i relitti di tessitura ascrivibili alle rioliti.

Quasi sempre il caolino ha un aspetto terroso, ruvido, colore da bianco a rosato, a seconda delle impurezze, frattura concoide.

Queste osservazioni sembrano confermate sia se riferite alla cava di Patalza che a quella di Salamura, immediatamente ad Ovest della zona prospettata.

Il fatto che esista una correlazione più stretta in senso genetico tra le manifestazioni caoliniche e le rioliti rispetto alle rioliti anauxitiche, sembra doversi imputare alla differente struttura e tessitura di queste due rocce. Le prime mostrano, infatti, una maggiore porosità, tessitura pseudo-fluidale ed una maggior quantità di vetro nella pasta di fondo, e risultano dunque più aggredibili da eventuali agenti di alterazione. Questi ultimi potrebbero essere costituiti da convogli idrotermali o da acque superficiali. Tra le due ipotesi sembra più verosimile la prima, tenuto conto del fatto che esiste una precisa correlazione tra le fratture e gli adunamenti principali. Inoltre sono rinvenibili, sulla superficie delle vulcaniti, croste silicee ma non paleosuoli e/o orizzonti clastici, che provino l'esistenza di un'alterazione esogena.

I campioni di caolino, sia quelli provenienti dalla cava di Patalza che altri provenienti dalla campionatura dell'area, sono stati studiati in sezione sottile al microscopio. Da queste analisi è riconoscibile quasi sempre la

struttura pseudo-fluidale della roccia originaria che si oblitera nei campioni ad aspetto terroso, dove la caolinizzazione è molto spinta. Sono presenti, talora, relitti di plagioclasti, pressochè totalmente caolinizzati e solo molto raramente qualche cristallo di quarzo.

## 5. Campionatura

È stata fatta una campionatura sistematica al fine di definire la distribuzione della mineralizzazione caolinica nell'area studiata.

Sono stati prelevati una serie di campioni di roccia in posto del peso intorno ad 1-2 kg, secondo un reticolo regolare a maglia quadrata su tutta l'area e rettangolare nella cava di caolino di Patalza. Il lato della maglia quadrata è stato fissato in 250 m, cui corrisponde una densità di campionatura di 25 campioni per km<sup>2</sup>, mentre per quella in cava i rettangoli della maglia hanno dimensioni di 6 m per il lato maggiore e 3 m per altezza. Sul fronte cava la maglia è stata infittita prelevando i campioni ogni 3 m per meglio conoscere le variazioni minero-petrografiche del caolino di Patalza.

Nelle zone pedogeneticamente alterate, ove non è possibile raggiungere la roccia in posto, il campione non è stato prelevato.

## 6. Dati sperimentali

Tutti i campioni sono stati sottoposti ad una serie di analisi strumentali, in particolare quella diffrattometrica, termodifferenziale e spettrometrica a fluorescenza X.

Le prime due sono state utilizzate prevalentemente per caratterizzare le fasi mineralogiche dei campioni di caolino, mentre il terzo tipo di analisi è servito come base per lo studio geochimico di tutti i campioni prelevati in cava e nell'area.

### 6.1. Analisi diffrattometrica

La composizione mineralogica dei campioni di caolino provenienti dalla cava di Patalza è stata determinata mediante diffrattometro Jeol JSDX-100 S4 impiegando la radiazione K<sub>α</sub>1.2 di un tubo a Cu operante a 30 KV e 30 mA.

Lo studio dei diffrattogrammi (tab. 1, 2 e 3) ha messo in evidenza nei campioni prelevati in cava la presenza di caolinite e cristobalite con subordinati quarzo, feldspati e

TABELLA 1  
Caolinite della cava di Patalza a confronto con la Caolinite JCPDS (5-0143)

hkl	d <sup>Å</sup> ASTM (5-0143)	I/I <sub>0</sub>	d <sup>Å</sup> campione	I/I <sub>0</sub>
001	7.15	100	7.143	100
020	4.45	50	4.466	27
110	4.35	60	4.359	29
111	4.17	60	4.175	34
111	4.12	30	4.049 <sup>x</sup>	-
021	3.84	40	3.847	17
021	3.73	20	3.741	13
002	3.57	100	3.578	82
111	3.37	40	3.380	11
112	3.14	20	3.143 <sup>x</sup>	-
112	3.09	20	-----	-
022	2.75	20	2.752	5
130, 201, 130	2.55	70	2.565	17
131, 112	2.52	40	2.534	14
131, 200, 112	2.486	80	2.494 <sup>x</sup>	-
003	2.374	70	2.384	13
202, 131	2.331	90	2.339	28
113, 131	2.284	80	2.295	19
132, 040	2.243	5	2.246	5
201, 132, 220	2.182	30	2.189	5
023, 041	2.127	20	2.123 <sup>x</sup>	-
023, 222	2.057	5	-----	-
203, 132	1.985	70	1.993	9
221, 132	1.935	40	1.934 <sup>x</sup>	-
113, 133	1.892	20	1.892 <sup>x</sup>	-
042	1.865	5	1.875 <sup>x</sup>	-
133, 202, 223	1.835	40	1.835	5
114, 223	1.805	5	1.790	5
004	1.778	60	-----	-
222	1.704	5	-----	-
150, 241, 311,				
311, 222	1.682	10	1.697	-
240, 204, 151,				
133	1.659	80	1.661	11

x = riflesso coincidente con la Cristobalite Alfa.

montmorillonite. L'identificazione di tali fasi mineralogiche è stata effettuata per confronto con schede JCPDS. La caolinite presente nei campioni è risultata essere del tipo « ordinata ». È importante sottolineare, inoltre, che dall'analisi dei diffrattogrammi eseguiti su alcuni campioni di vulcaniti acide, risulta che la silice libera è presente sempre come cristobalite e solo sporadicamente compare il quarzo.

TABELLA 2

*Cristobalite Alfa della cava di Patalza a confronto con la Cristobalite Alfa-JCPDS (11-695)*

hkl	dÅ ASTM (11-695)	I/I <sub>0</sub>	dÅ campione	I/I <sub>0</sub>
101	4.05	100	4.049	100
110	3.53	3	-----	-
111	3.135	11	3.143	-
102	2.841	13	2.849	10
200	2.485	20	2.494 <sup>x</sup>	-
112	2.465	5	-----	-
201	2.340	1	2.339 <sup>x</sup>	-
211	2.118	5	2.123	-
202	2.019	3	2.026	3
113	1.929	5	1.934 <sup>x</sup>	-
212	1.870	7	1.875 <sup>x</sup>	-
220	1.757	1	1.760	1
004	1.730	1	1.732	1
203	1.690	3	1.697	2
104	1.634	1	1.638	1
301	1.612	5	1.616	4

x = riflesso coincidente con la Caolinite.

### 6.2. Analisi termodifferenziale

Questa analisi è stata applicata solo ad alcuni campioni di caolino, sempre provenienti dalla cava di Patalza, scelti in modo da testare il fronte di cava, anche se a maglia larga.

Le curve termodifferenziali mettono in evidenza la presenza di caolinite, caratterizzata da picchi endotermici intorno ai 600° C e da picchi esotermici che compaiono intorno ai 1000° C. Le caratteristiche delle curve (picchi endotermici intorno ai 600° C, leggera risalita nell'intervallo tra il picco endotermico e quello esotermico) confermano che si tratta di caolinite ben cristallizzata (fig. 3) (MAC KENZIE, 1972).

### 6.3. Analisi spettrometrica

Al fine di determinare la composizione chimica di tutti i campioni raccolti, è stata

TABELLA 3

*Montmorillonite della cava di Patalza a confronto con la Montmorillonite JCPDS (13-135)*

hkl	dÅ ASTM (13-135)	I/I <sub>0</sub>	dÅ campione	I/I <sub>0</sub>
001	15.0	100	15.19	100
003	5.01	60	5.08	12
110,020	4.50	80	4.45	17
004	3.77	20	-----	-
	3.50	10	-----	-
	3.30	10	-----	-
005	3.02	60	3.045	15
200	2.58		2.561	8
006	2.50	40		

eseguita l'analisi per fluorescenza X per gli elementi maggiori e per alcuni elementi minori. La perdita di peso è stata determinata per calcinazione. Il metodo impiegato per valutare gli effetti di matrice sugli elementi determinati è stato quello degli « alpha factors », dedotti dal programma NRLXRF (CRISS, 1977), su campioni reali di riferimento e successivamente raffinati mediante aggiunta di campioni teorici. I risultati delle analisi chimiche per i soli elementi maggiori, sono stati riportati nelle tab. 4 e 5 che si

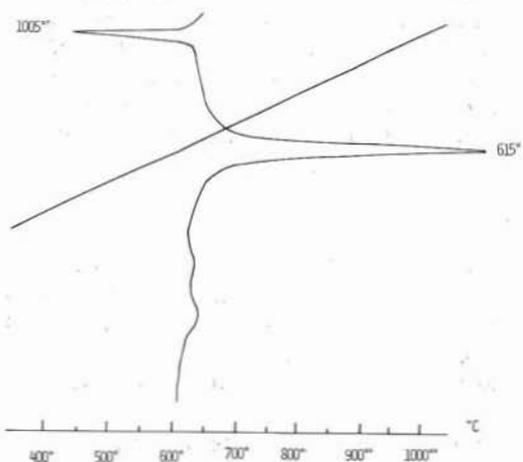


Fig. 3. — Analisi termodifferenziale di un campione « tipo » di caolino, prelevato in cava Patalza.

TABELLA 4  
 Analisi chimiche, relative agli elementi maggiori, effettuate sui campioni  
 di caolino prelevati in cava Patatza

Campione		SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	F <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P. E.
AD2	75.58	0.06	13.25	1.20	0.03	0.27	0.33	2.49	5.19	0.00	1.49	1.49
AD3	75.17	0.08	17.02	0.37	0.01	0.10	0.06	0.39	0.35	0.03	6.42	6.42
AD5	74.01	0.07	15.14	0.75	0.01	0.92	0.23	0.53	1.81	0.05	6.48	6.48
AD7	72.36	0.13	16.89	0.90	0.01	0.08	0.16	1.52	4.83	0.03	3.10	3.10
AD9	70.80	0.16	17.65	1.36	0.16	0.17	0.15	1.46	4.19	0.04	3.87	3.87
AF1	74.81	0.15	15.33	1.79	0.01	0.10	0.16	0.76	2.00	0.03	4.87	4.87
AF2	72.62	0.17	17.90	0.64	0.01	0.17	0.09	0.44	0.40	0.02	7.54	7.54
AF6	71.00	0.18	18.52	1.20	0.01	0.05	0.12	1.08	2.53	0.02	5.28	5.28
AF7	71.57	0.14	17.23	0.95	0.01	0.08	0.17	1.67	4.74	0.03	3.41	3.41
AF8	67.07	0.19	21.27	0.64	0.01	0.12	0.09	1.08	4.36	0.05	5.12	5.12
AS1	68.72	0.17	21.66	0.83	0.01	0.17	0.11	0.54	0.09	0.03	7.69	7.69
AS2	75.34	0.14	16.09	0.95	0.02	0.30	0.13	0.42	0.42	0.01	6.19	6.19
AS3	75.24	0.12	15.65	0.58	0.01	0.28	0.09	0.89	2.62	0.03	4.49	4.49
BD2	74.88	0.07	13.93	1.42	0.04	0.39	0.42	2.32	5.18	0.01	1.35	1.35
BD6	76.13	0.06	13.17	0.91	0.01	0.02	0.28	2.64	5.62	0.01	1.16	1.16
BD9	75.45	0.06	13.86	0.76	0.01	0.07	0.21	1.75	6.17	0.02	1.64	1.64
BF1	76.66	0.08	13.64	1.02	0.01	0.11	0.20	1.43	3.77	0.02	3.06	3.06
BF2	79.26	0.10	12.88	0.70	0.08	0.33	0.21	0.43	0.33	0.02	5.71	5.71
BF3	79.17	0.08	12.69	1.00	0.02	0.32	0.23	0.32	0.13	0.01	6.02	6.02
BF4	69.34	0.21	19.66	1.12	0.02	0.41	0.21	0.38	0.29	0.05	8.31	8.31
BF5	76.39	0.16	14.44	0.36	0.00	0.29	0.11	0.61	0.39	0.03	7.22	7.22
BF6	72.23	0.21	18.91	0.41	0.01	0.05	0.06	0.48	0.09	0.06	7.49	7.49
BF7	70.10	0.21	20.77	0.59	0.01	0.06	0.07	0.26	0.08	0.04	7.81	7.81
BR8	70.30	0.15	18.71	0.60	0.01	0.34	0.12	0.99	3.77	0.03	4.98	4.98
BS1	72.88	0.09	17.91	1.18	0.01	0.12	0.12	0.44	0.73	0.02	6.50	6.50
BS2	76.32	0.07	14.43	0.56	0.01	0.04	0.18	1.45	4.46	0.02	2.46	2.46
BS3	73.03	0.11	16.99	0.48	0.01	0.07	0.18	1.58	4.77	0.03	2.75	2.75
CD6	75.21	0.07	14.52	0.59	0.01	0.12	0.24	1.86	5.33	0.01	1.93	1.93
CD7	76.77	0.06	12.48	0.50	0.01	0.06	0.29	2.46	7.01	0.01	0.36	0.36
CD8	75.21	0.07	13.69	0.77	0.01	0.11	0.26	1.97	6.66	0.00	1.25	1.25
CD9	75.23	0.08	15.21	1.03	0.01	0.62	0.25	0.41	0.72	0.01	6.43	6.43
CF1	76.30	0.07	15.75	0.51	0.00	0.26	0.13	0.45	0.26	0.02	6.25	6.25
CF2	76.36	0.06	13.23	1.55	0.03	0.00	0.25	2.06	5.09	0.01	1.37	1.37
CF3	75.67	0.07	14.96	1.11	0.03	0.16	0.24	1.05	2.96	0.02	3.72	3.72
CF4	75.55	0.07	15.86	0.83	0.01	0.18	0.16	0.53	0.41	0.01	6.39	6.39
CF5	73.98	0.07	17.29	0.43	0.00	0.24	0.13	0.34	0.24	0.01	7.27	7.27
CF6	74.09	0.08	15.34	0.54	0.01	0.04	0.22	1.97	5.51	0.01	2.19	2.19
CF7	79.62	0.11	13.40	0.47	0.01	0.14	0.09	0.43	0.35	0.03	5.35	5.35
CF8	74.53	0.07	15.65	0.57	0.01	0.09	0.17	1.64	4.20	0.01	3.05	3.05
DF1	76.03	0.07	15.67	0.73	0.01	0.34	0.20	0.45	0.65	0.01	5.86	5.86
DF2	76.19	0.06	15.20	0.48	0.01	0.09	0.19	0.78	2.17	0.01	4.83	4.83
DF3	77.84	0.09	15.51	0.40	0.01	0.19	0.20	0.49	0.95	0.04	4.29	4.29
DF4	76.01	0.06	14.00	1.23	0.02	0.06	0.24	1.77	4.69	0.00	1.91	1.91
DF5	74.10	0.08	16.84	0.50	0.01	0.26	0.16	0.27	0.32	0.01	7.46	7.46
DF6	74.81	0.07	14.98	0.43	0.01	0.03	0.29	2.01	5.95	0.01	1.41	1.41

TABELLA 5

*Analisi chimiche, relative agli elementi maggiori, effettuate sui campioni di rioliti e di rioliti anauxitiche, prelevati sull'area rilevata*

Campione	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P. f.
R 31 (R)	75.39	0.06	12.91	0.75	0.02	0.35	0.36	2.21	5.94	0.02	1.98
R 45 "	72.83	0.13	13.94	2.16	0.03	0.31	1.08	3.50	4.27	0.03	1.73
R 46 "	71.76	0.14	13.97	2.09	0.06	0.67	1.26	3.24	4.02	0.03	2.76
R 62 "	72.93	0.13	13.98	2.25	0.02	0.48	0.83	2.90	4.86	0.02	1.59
R 65 "	74.99	0.06	12.93	1.52	0.02	0.25	0.59	2.60	5.21	0.01	1.82
R 79 "	73.75	0.15	13.39	1.97	0.03	0.27	0.96	3.28	4.87	0.04	1.28
R 80 "	72.41	0.13	13.86	2.50	0.02	0.51	0.81	2.75	4.59	0.02	2.39
R 81 "	72.62	0.13	14.02	2.71	0.03	0.43	0.90	3.09	4.35	0.02	1.71
R 10 "	75.80	0.11	11.64	1.80	0.02	0.22	0.89	3.05	3.44	0.03	2.99
R102 "	73.88	0.08	13.08	1.53	0.03	0.70	0.41	2.11	5.43	0.04	2.71
R118 "	74.12	0.06	13.46	2.05	0.04	0.42	0.37	2.26	5.43	0.02	1.77
R119 "	75.62	0.06	12.93	1.20	0.01	0.24	0.37	2.20	5.85	0.01	1.51
R136 "	75.99	0.05	12.75	1.50	0.03	0.29	0.40	2.43	5.23	0.01	1.33
R152 "	76.14	0.07	12.88	1.40	0.03	0.21	0.63	3.38	4.42	0.01	0.82
R 63 "	72.32	0.14	14.21	2.33	0.08	0.59	0.95	2.93	4.53	0.03	1.94
R 94 "	72.59	0.12	14.60	2.27	0.02	0.41	0.35	1.60	5.07	0.02	2.94
R 82 (RA)	71.15	0.15	13.41	2.14	0.07	0.52	1.17	3.03	4.10	0.02	4.24
R 97 "	73.38	0.13	13.52	2.30	0.04	0.55	0.88	2.91	4.64	0.02	1.63
R 98 "	72.92	0.16	14.63	2.09	0.03	0.34	0.87	3.01	4.26	0.03	1.66
R 99 "	73.77	0.12	13.83	2.06	0.02	0.33	0.99	3.42	4.43	0.07	0.98
R114 "	73.67	0.12	13.56	2.45	0.03	0.44	0.93	3.06	4.45	0.02	1.26
R117 "	73.77	0.13	13.75	2.08	0.03	0.34	0.92	3.32	4.42	0.01	1.21
R151 "	74.96	0.06	13.01	1.24	0.03	0.36	0.77	3.27	4.18	0.01	2.10

(R) = Rioliti. (RA) = Rioliti anauxitiche.

riferiscono, rispettivamente, ai campioni di caolino e alle vulcaniti acide.

Nelle tab. 6, 7 e 8 compaiono le composizioni chimiche medie (anche per alcuni elementi minori) delle due facies vulcaniche e dei caolini prelevati in cava Patalza.

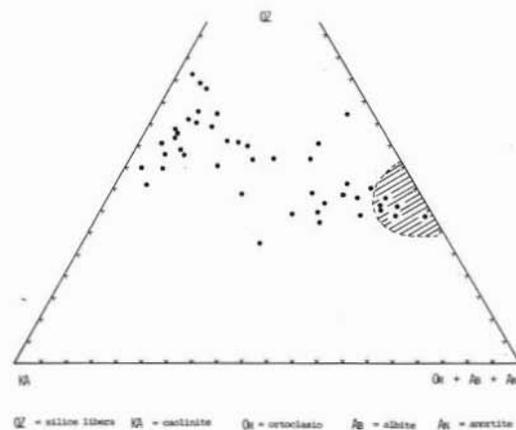


Fig. 4. — Diagramma Qz - Or + Ab + An - Ka delle vulcaniti acide e dei caolini. ● = campioni di caolino. L'area tratteggiata rappresenta il campo delle rocce effusive acide.

## 7. Interpretazione dei dati analitici

### 7.1. Le analisi chimiche

Sulla base dei risultati ottenuti dalle analisi chimiche è stato possibile ottenere una precisa collocazione petrografica delle vulcaniti e, inoltre, seguire le variazioni degli elementi particolarmente utili per caratterizzare sia i depositi di caolino, sia le rocce in via di alterazione caolinica onde avere una possibile guida litologica nella prospezione di questo tipo di giacimenti.

I dati delle composizioni chimiche medie riferiti ai campioni di caolino di cava Patalza ed al membro inferiore della serie vulcanica acida, poichè esso è quello prevalentemente interessato dai fenomeni di caolinizzazione, sono stati elaborati secondo il metodo proposto da GOLDICH (1938). Si ottengono in tal modo i guadagni e le perdite relative agli ossidi degli elementi maggiori della roccia alterata rispetto a quella sana (tab. 9).

Confrontando i valori della colonna « X » con le percentuali della roccia originaria si ha per ogni ossido la misura del guadagno

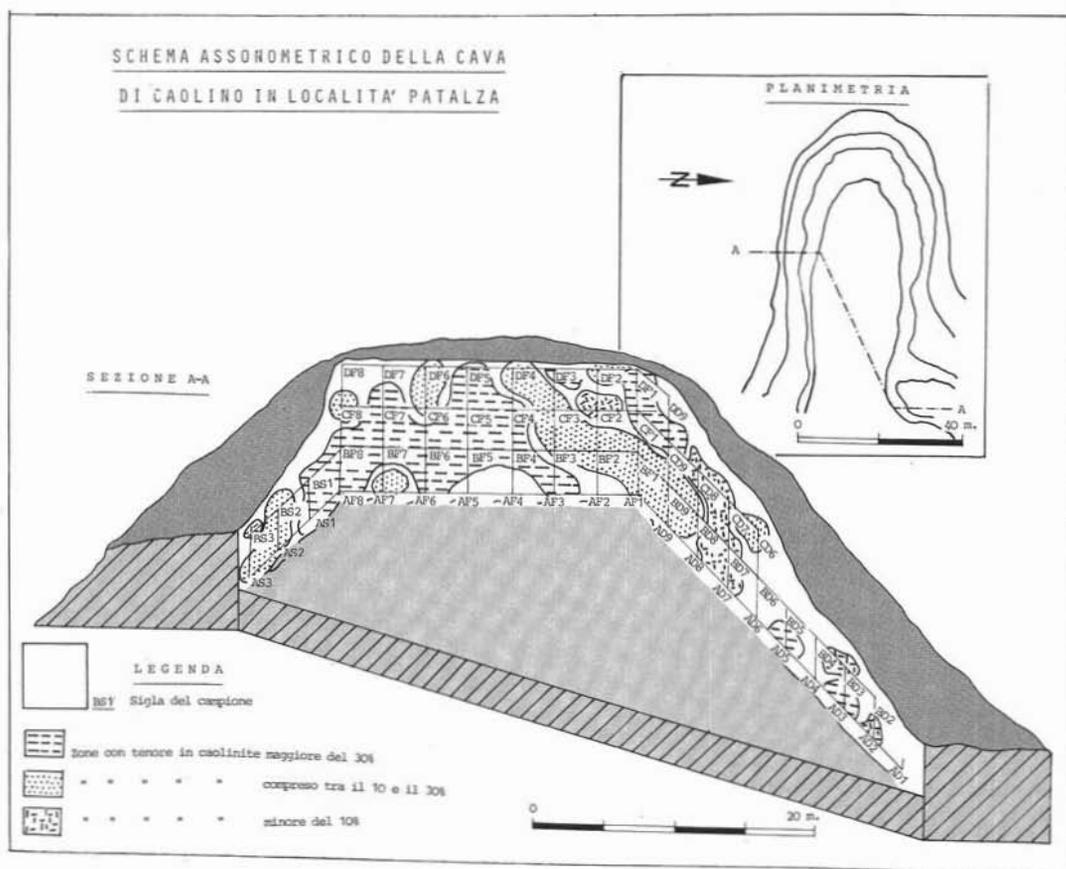


Fig. 5. — Schema assonometrico della cava di Patalza. Sono rappresentati lo schema di campionatura ed i tenori medi in caolinite normativa.

o della perdita relativamente alla  $Al_2O_3$ .

Dalla tab. 9 si evince:

- una diminuzione della silice nel caolino a causa del dilavamento nella roccia e una contemporanea perdita dei metalli alcalini ed alcalino-terrosi;
- un leggero arricchimento in  $Al_2O_3$  nei caolini, con aumento del rapporto  $Al_2O_3/SiO_2$  nelle rocce liscivate;
- gli ossidi di Fe e Ti sono in percentuali minori nel caolino rispetto alle rocce non alterate.

Dal confronto delle tab. 6 e 8 è possibile, invece, fare le seguenti considerazioni per alcuni elementi minori:

- il Rb, affine al K, segue la sua stessa sorte e risulta fortemente dilavato nelle rocce molto caolinizzate;
- lo Sr, affine al Ca, rimane costante;
- il Pb si riduce di circa 1/2 nei caolini;

— lo Zn si riduce in proporzioni maggiori del Pb, essendo più mobile.

### 7.2. I valori normativi

Una stima della percentuale di caolinite nei campioni è stata ottenuta mediante l'elaborazione delle analisi chimiche, calcolando i minerali normativi prima e la variante caolinica successivamente.

Dai dati ottenuti, risulta che tutte le vulcaniti acide presentano un eccesso di  $Al_2O_3$  rispetto al contenuto delle basi presenti ( $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ), da imputarsi probabilmente ad una incipiente lisciviazione di queste ultime, visto che le rocce di tipo riolitico non rientrano nel campo di quelle iperaluminose. Inoltre il contenuto di  $Al_2O_3$  è leggermente più elevato e con dispersione maggiore nei campioni di caolino, mentre le basi

TABELLA 6

*Analisi chimica media, relativa agli elementi maggiori (%) ed a quelli in tracce (ppm), delle rioliti*

	$\bar{X}$ (%)	n	$\sigma_{(n-1)}$	c.v.
SiO <sub>2</sub>	73.94	16	1.51	2.04
TiO <sub>2</sub>	0.10	"	0.04	40.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.40	"	0.74	5.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.88	"	0.52	27.65
MnO	0.03	"	0.01	33.33
MgO	0.40	"	0.16	40.00
CaO	0.70	"	0.30	42.85
Na <sub>2</sub> O	2.72	"	0.54	19.85
K <sub>2</sub> O	4.84	"	0.67	13.84
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	"	0.01	50.00
p.f.	1.95	"	0.64	32.82

	$\bar{X}$ (ppm)	n	$\sigma_{(n-1)}$	c.v.
Zn	34	16	8.46	25.16
Ce	76	"	20.36	26.63
Ba	525	"	138.22	26.32
La	39	"	10.94	28.28
Zr	176	"	53.69	30.47
Sr	95	"	46.15	48.42
Rb	180	"	25.06	13.90
Pb	36	"	4.98	13.83

$\bar{x}$  = media;  $n$  = numero dei campioni analizzati;  $\sigma_{(n-1)}$  = deviazione standard;  $c.v.$  = coefficiente di varianza.

hanno un contenuto medio più basso e con dispersione più elevata negli stessi campioni. Lo stesso dicasi per l'acqua, che nei campioni di cava mostra tendenza ad elevarsi con grande dispersione. Tali dispersioni si possono evincere anche dal diagramma triangolare dei minerali normativi (fig. 4) che mostra variazioni notevoli di caolinite rispetto ad albite + ortoclasio + anortite e solo una leggera variazione nel contenuto in quarzo normativo.

La stessa figura mostra inoltre che non tutti i campioni sono ben caolinizzati, poiché taluni presentano una percentuale di caolinite così bassa da differenziarsi assai poco dalle rocce sane. Inoltre utilizzando lo stesso diagramma triangolare, i campioni di vulcanite prelevati nell'area mostrano caratteristiche mineralogico-petrografiche costanti, proprie di un'unica famiglia di rocce.

La fig. 5 rappresenta l'andamento della va-

TABELLA 7

*Analisi chimica media, relativa agli elementi maggiori (%) ed a quelli in tracce (ppm), delle rioliti anauxitiche*

	$\bar{X}$ (%)	n	$\sigma_{(n-1)}$	c.v.
SiO <sub>2</sub>	73.37	7	1.16	1.58
TiO <sub>2</sub>	0.12	"	0.03	25.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.67	"	0.50	3.66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.05	"	0.38	18.54
MnO	0.03	"	0.02	66.66
MgO	0.41	"	0.09	21.95
CaO	0.93	"	0.12	12.90
Na <sub>2</sub> O	3.14	"	0.19	6.05
K <sub>2</sub> O	4.35	"	0.18	4.13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	"	0.02	100.00
p.f.	1.86	"	1.11	59.67

	$\bar{X}$ (ppm)	n	$\sigma_{(n-1)}$	c.v.
Zn	37	7	6.07	16.28
Ce	80	"	7.29	9.09
Ba	622	"	35.87	5.76
La	44	"	5.76	13.18
Zr	208	"	36.61	17.56
Sr	125	"	32.22	25.86
Rb	176	"	6.94	3.94
Pb	42	"	17.04	40.73

$\bar{x}$  = media;  $n$  = numero dei campioni analizzati;  $\sigma_{(n-1)}$  = deviazione standard;  $c.v.$  = coefficiente di varianza.

riazione del tenore in caolinite, secondo una raffigurazione assonometrica della cava di Patalza.

## 8. Conclusioni

Sulla base delle osservazioni di campagna, delle analisi chimiche e minero-petrografiche e della successiva elaborazione dei dati chimici e geochimici, si è tentato di trarre delle conclusioni generali sulla genesi degli adunamenti caoliniferi della zona di Tresnuraghes e sulle possibili guide nella prospezione di giacimenti di questo tipo.

Come già osservato, le manifestazioni caolinifere principali di quest'area sono legate preferenzialmente alle rioliti piuttosto che alle rioliti anauxitiche. Questo fatto è avvalorato anche dalle osservazioni effettuate in aree limitrofe a quella prospettata, in accordo a quanto già detto, a causa della diffe-

TABELLA 8

Analisi chimica media, relativa agli elementi maggiori (%) ed a quelli in tracce (ppm), dei caolini di cava Patalza

	$\bar{x}$ (%)	n	$\sigma_{(n-1)}$	c.v.
SiO <sub>2</sub>	74.44	45	2.73	3.66
TiO <sub>2</sub>	0.11	"	0.05	45.45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.89	"	2.31	14.53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.80	"	0.35	43.75
MnO	0.02	"	0.02	100.00
MgO	0.19	"	0.17	89.47
CaO	0.18	"	0.08	44.44
Na <sub>2</sub> O	1.09	"	0.72	66.05
K <sub>2</sub> O	2.73	"	2.30	84.24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	"	0.01	50.00
p.f.	4.53	"	2.28	50.33

	$\bar{x}$ (ppm)	n	$\sigma_{(n-1)}$	c.v.
Zn	15	15	5.61	37.57
Ce	52	"	16.57	32.11
Ba	217	"	102.79	47.39
La	34	"	13.61	39.79
Zr	179	"	58.93	32.98
Sr	111	"	41.18	37.09
Rb	90	"	68.62	76.13
Pb	22	"	3.48	15.81

$\bar{x}$  = media;  $n$  = numero dei campioni analizzati;  $\sigma_{(n-1)}$  = deviazione standard; c.v. = coefficiente di varianza.

rente struttura e tessitura delle due facies vulcaniche.

La trasformazione delle vulcaniti in caolino si esplica soprattutto attraverso un dilavamento di Ca<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> ed una sostituzione degli stessi con acqua. Gli agenti alteranti, che agiscono sia sui fenocristalli feldspatici sia sulla pasta di fondo, potrebbero essere costituiti, come già detto, da convogli idrotermali veri e propri e/o da acque superficiali.

La già evidenziata correlazione tra fratture e adunamenti principali farebbe propendere per una ipotesi idrotermale, piuttosto che per un'alterazione superficiale. La prima di queste ipotesi sembra essere anche suffragata dalla presenza di esili croste silicee rinvenibili sulla superficie delle vulcaniti, senza che peraltro si sia potuta constatare l'esistenza di alterazione esogena che si sarebbe dovuta manifestare con il ritrovamento di paleosuoli e/o

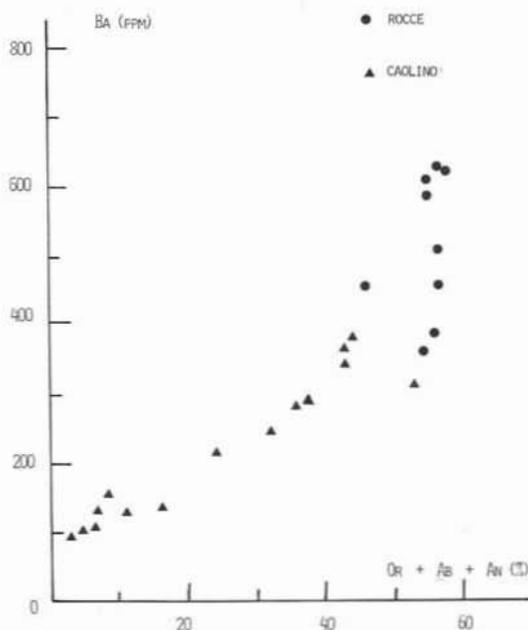


Fig. 6. — Diagramma di correlazione del Ba con Or + Ab + An normativi. - OR = ortoclasio; AB = albite; AN = anortite.

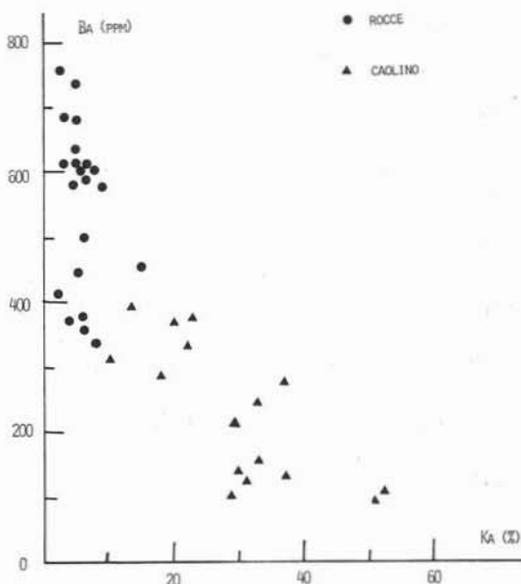


Fig. 7. — Diagramma di correlazione del Ba con Ka normativa. - KA = caolinite.

TABELLA 9

*Analisi comparate delle rioliti e dei caolini, secondo il metodo di GOLDICH (1938)*

	Media Rocce (%)	Media Caolino (%)	x <sup>(1)</sup>	Guadagno <sup>(2)</sup>
SiO <sub>2</sub>	73.94	74.44	62.77	-11.17
TiO <sub>2</sub>	0.10	0.11	0.09	- 0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.40	15.89	13.40	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.88	0.80	0.67	- 1.21
MgO	0.40	0.19	0.16	- 0.24
CaO	0.70	0.18	0.15	- 0.55
Na <sub>2</sub> O	2.72	1.09	0.91	- 1.81
K <sub>2</sub> O	4.84	2.73	2.30	- 2.54
p. f.	1.95	4.53	3.82	+ 1.87

$$x(1) = \frac{\% \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ roccia originaria}}{\% \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ roccia alterata}} \cdot \% \text{ ossido roccia alterata} =$$

= g di ogni costituente presente in 84,27 g (13,40/15,89·100) di materiale lisciviato derivante da 102 g di roccia sana, considerando l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> costante. (2) = variazione in g di ogni costituente (segno - = perdita; segno + = guadagno).

di orizzonti clastici comprovanti lo smantellamento delle formazioni sedimentarie post-vulcaniche.

Un secondo argomento favorevole all'ipotesi di una genesi idrotermale è fornito dall'analisi del comportamento del Ba. Questo elemento ha tendenza ad impoverirsi al crescere della percentuale di caolinite nella roccia (figg. 6 e 7) e questo potrebbe essere spiegato con il fatto che esso è legato al K-feldspato e quindi viene spostato insieme alle basi metalliche di quest'ultimo. Poichè, come noto, il Ba si mobilita in ambienti bicarbonato-clorurati, tali soluzioni possono ritenersi di origine sia idrotermale che superficiale, ma l'imponenza del fenomeno di lisciviazione rende la seconda ipotesi piuttosto improbabile.

Inoltre, se si fosse trattato di acque ma-

rine, sarebbe difficile spiegare la limitatezza dei fenomeni di caolinizzazione a certe zone legate a fratture e non all'intera superficie a contatto con le acque. Mentre un fenomeno di questo tipo, come già rimarcato, è stato osservato nel caso delle croste silicee. Oltre al fatto che, in tali ambienti, le rocce argillose formatesi avrebbero avuto una diversa composizione mineralogica.

La prima ipotesi, cioè che si sia trattato di soluzioni idrotermali risalenti dal basso secondo vie preferenziali, sembra spiegare bene sia la solubilizzazione del Ba, sia la limitatezza dell'alterazione caolinica manifestatasi con l'esiguità dei corpi caolinizzati e con l'ubicazione degli stessi lungo fratture. Inoltre, questa fenomenologia potrebbe spiegare la presenza delle piccole croste silicee che si sarebbero formate all'interfaccia vulcaniti-acque marine.

Il tipo di maglia di campionatura e la limitatezza dell'area considerata in questo studio non permettono, per il momento, una generalizzazione del modello genetico proposto per l'area studiata, così come non consentono di estrapolare l'andamento in dettaglio del fenomeno caolinizzante e, di conseguenza, le variazioni delle caratteristiche della roccia caolinica. Per una migliore definizione del secondo aspetto sarebbe necessario infittire la maglia di campionatura sulle rioliti anauxitiche che, seppur meno favorevoli per motivi strutturali e tessiturali a dare adunamenti caolinici, hanno tuttavia una composizione chimica favorevole a questo tipo di mineralizzazione. L'infittimento della maglia dovrebbe avvenire soprattutto lungo le direttrici strutturali prevalenti della regione, dato che è stato stabilito lo stretto rapporto tra mineralizzazioni e geologia strutturale.

Per il primo aspetto, ossia la generalizzazione del modello genetico, occorrerebbe invece prendere in esame zone più vaste o addirittura zone multiple.

Lavoro eseguito nell'ambito dell'Istituto di Giacimenti Minerari, Geofisica e Scienze Geologiche della Facoltà di Ingegneria di Cagliari, e del Centro Studi Geominerari e Mineralurgici del C.N.R. presso la Facoltà di Ingegneria, con supporto finanziario del C.N.R. e M.P.I. (60 %).

## BIBLIOGRAFIA

- ALLEN V.T. (1928) - *Anauxite from the Ione Formation of California*. Amer. Miner., 13, 145.
- BECCALUVA L., DERIU M., MACCIOTTA G. (1980) - *Riflessioni sul significato del vulcanismo oligomiocenico della Sardegna nell'ambito dell'evoluzione geodinamica del Mediterraneo occidentale*. Vol. ded. a S. Venzo, STEP ed., Parma.
- BURRI C. (1964) - *Petrochemical calculation*. Publ. by the Israel Program for scientific translation.
- CARCANGIU G. (1982) - *Prospezione geofisica di giacimenti di caolino nell'area di Tresnuraghes (Sardegna centro-occidentale)*. Tesi inedita, Istituto di Giacimenti Minerari, Fac. di Ingegneria, Cagliari.
- CORDERA G. (1973) - *La roccia caolinica del Sasso (Cerveteri - Roma)*. Report of Soc. Naz. del Caolino, Milano.
- CRISS J.W. (1977) - *NRLXRF, A Fortran Program for X-ray fluorescence analysis*. Naval Research Laboratory, Washington D.C.
- DE LA ROCHE H., LATERRIER J., GRANCLAUDE P., MARCHAL M. (1980) - *A classification of volcanic and plutonic rocks using  $R_1$ - $R_2$  diagram and major-element analyses - Its relationship with current nomenclature*. Chemical Geology, Vol. 29, London, June 1980.
- DERIU M. (1951) - *Sulla giacitura dei basalti analitici del Montiferro e brevi notizie preliminari sul rilevamento geo-petrografico della Sardegna centro- e nord-occidentale*. Rend. Soc. Min. It., Anno VII, Pavia.
- DERIU M. (1953) - *Il caolino di P.ta Salamura (Tresnuraghes, Sardegna centro-occidentale) e le rocce che lo accompagnano*. Per. di Min., Anno XXII, n. 1.
- DERIU M. (1955) - *Le rocce vulcaniche della regione di Bosa*. Per. di Min., Anno XXIV, n. 1.
- DERIU M. (1959) - *Le andesiti di Capo Marargiu (Sardegna centro-occidentale)*. Boll. Serv. Geol. d'It., Vol. LXXX.
- FOSHAG W., ROSSE S. (1909) - *Anauxite, a mineral species, based on material from Bilin, Czekoslovakia*. Amer. Min., 13, 153.
- GOLDICH S.S. (1938) - *A study in rock-weathering*. Jour. Geol., Vol. 46, pp. 17-58.
- GRIM R.E. (1953) - *Clay mineralogy*. Mc Graw Hill, New York.
- GRUNER J.W. (1937) - *Densities and structural relationship of kaolinities and anauxites*. Amer. Miner., 22, 855.
- KELLER W.D., GALAN E., MATTIAS P. (1977) - *Scan electron micrographs of clays from field-trips localities of the VIII International Kaolin Symposium, Spain and Italy, 1977*. Proc. 8th Int. Kaol. Symp. and Meeting on Alunite, 10 p.
- LAURO C., DERIU M. (1957) - *Il vulcanismo cenozoico in Sardegna: le manifestazioni oligoceniche*. Congresso Geologico Internazionale, Mexico, pp. 469-486.
- LOMBARDI G., SHEPPARD S.M.F. (1975) - *Petrographic and isotopic studies of the altered acid volcanics of the Tolfa-Cerite area, Italy: the genesis of the clays*. Clay Mineralogy, 12, 147-162.
- LOMBARDI G., MATTIAS P. (1979) - *Petrology and mineralogy of the kaolin and alunite mineralizations of Latium*. Geol. Rom., 18, 157-214.
- MATTIAS P. (1977) - *Kaolin in Italy. Deposits and genesis*. Proc. 8th Int. Kaol. Symp. and Meet. on Alunite, 24 p.
- MATTIAS P., CANEVA C. (1979) - *Mineralogia del giacimento di caolino di M.te Sughereto - Salita Severa - Roma*. Rend. Soc. It. Miner. Petr., 35, 721-753.
- MCKENZIE R.C. (1972) - *Differential thermal analysis*. Academic Press London and New York.
- POMESANO CHERCHI A. (1970) - *Microfauna planctonica di alcune serie mioceniche del Logudoro (Sardegna)*. Proceed. of the Planktonic Cong., Roma.
- ROSSETTI V. (1951) - *Riolite anauxitica di Salamura (Tresnuraghes, Sardegna centro-occidentale)*. Per. di Miner., Anno XX, n. 1-2.
- STRUNZ H. (1941) - *Mineralogische Tabellen*, Leipzig.
- URAS I. (1971) - *Giacimenti di caolino in Sardegna*. Atti del 1° Congresso Naz. A.I.P.E.A., Venezia-Faenza, 16-19 maggio 1971.
- URAS I. (1974) - *Notizie sui caolini e le argille della Sardegna*. Riv. « La Ceramica ».
- VINCI C. (1982) - *Sulla prospezione di giacimenti di caolino. Applicazione di metodi geofisici magnetico ed elettromagnetico a V.L.F.* Tesi inedita, Ist. di Giacimenti Minerari, Fac. di Ingegneria, Cagliari.