

ANNIBALE MOTTANA *, LAURO MORTEN **, ARILD O. BRUNFELT ***

DISTRIBUZIONE DELLE TERRE RARE
NEL MASSICCIO VAL MASINO - VAL BREGAGLIA
(ALPI CENTRALI) ****

RIASSUNTO. — La complessa associazione di litotipi del Massiccio Val Masino - Val Bregaglia nelle Alpi Centrali sulla base di analisi dei componenti maggiori può esser interpretata o come prodotto di una differenziazione magmatica continua, oppure come risultato di anatessi profonda alpina di migmatiti e anfiboliti prealpine omogeneizzate durante la messa in posto, eventualmente con mobilizzazioni in situ. I dati ottenuti sulle terre rare di 10 campioni tipici mettono in evidenza che:

- a) Σ REE cresce in modo regolare da serizzo a ghiandone per poi calare bruscamente nei litotipi minori;
- b) l'andamento della distribuzione è regolarmente decrescente (tipo granito G-2) con modesta anomalia negativa dell'Eu nei tre corpi principali, ma mostra un fortissimo arricchimento nelle HREE nella pegmatite e nel microgranito del Cameraccio;
- c) esiste una evidente reversibilità relativa delle REE nel tempo secondo modalità magmatiche descritte da Balashov (1966) e ben distinguibili da quelle anatettiche descritte da Emmermann et al. (1975).

ABSTRACT. — REE distribution in the Bergell Massif (central Alps). - The complex rock-type association of the Bergell Massif (Val Masino - Val Bregaglia Massif) in the central Italian-Swiss Alps may be alternatively explained on the basis of the major element chemistry either as the result of a continuous calc-alkaline differentiation from a single parent magma (D. Richardson et al., 1976), or by a mechanism of alpine deep anatexis of prealpine migmatites and amphibolites followed by homogenization during the uprise and eventually *in situ* mobilization (H. R. Wenk et al., 1977). The limited trace-element data (B. L. Gulson, 1973) argue against the possibility that the Bergell granodiorite derive from prealpine Tambo rocks, and that the Novate (= San Fedelino) granite with its pegmatites and aplites formed from the Bergell granodiorite by differentiation.

Determinations by RNAA of 8 REE in 10 typical and representative samples indicate the following:

- a) Σ REE increases steadily from diorites (« serizzo ») to granodiorites (« ghiandone ») but strongly decreases both in granites (« San Fedelino ») and in other minor rock-types (pegmatites, « Cameraccio microgranites »);
- b) the trend of REE distribution is the smoothly decreasing Westerley G-2 granite type in the main rock-types, showing only small negative Eu anomalies, but it turns to the V-shaped, HREE-enriched type in the « Cameraccio » granite and in pegmatite, the latter also showing a fairly strong negative Eu anomaly;
- c) there exists an evident reversibility of the LREE vs. HREE relative mobility with time

* Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Bologna (ora all'Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università, Città Universitaria, Roma). ** Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università, Piazza di Porta S. Donato 1, Bologna. *** Mineralogisk-Geologisk Museum, Oslo (Norvegia). **** Lavoro eseguito con contributo C.N.R. n.° CT77.00992.05.

of crystallisation, according to a feature shown by Yu. A. Balashov (1966) to be typical of the behaviour of REE during magmatic processes.

It is therefore concluded on this evidence that:

- a) « serizzo » and « ghiandone » are the products of two following stages of the calc-alkaline differentiation of the same magma, the « Cameraccio » granite probably being the latest stage of this evolution;
- b) the Novate granite and the related pegmatites and aplites also represent two stages of a subalkaline igneous differentiation, and the latter, in particular, are not *in situ* mobilizates;
- c) if Gulson's U/Th data are disregarded, there is no definite geochemical evidence ruling out a genetic relationship between the Novate rocks and the main Bergell igneous association. Therefore, although no positive proof for its igneous origin can be given, the suggested interpretation of the Novate body as the « near-eutectic » result of the anatexis of the surrounding gneisses during the acme of the Lepontine metamorphism should be considered with caution.

Introduzione

In una recente nota petrochimica sul Massiccio Val Masino-Val Bregaglia (D. RICHARDSON et al., 1976), era stata prospettata l'ipotesi che, utilizzando una serie ragionata di analisi chimiche su rocce totali elaborate con metodi geo-matematici, fosse possibile contribuire a risolvere alcuni degli interrogativi sulla genesi ed evoluzione di tale corpo geologico, per il quale ricorrentemente nella letteratura geologica vengono proposte soluzioni del tutto in opposizione. Una valutazione di una serie preliminare di campioni integrata con dati di letteratura aveva portato a suggerire (D. RICHARDSON et al., 1976) che i vari tipi litologici affioranti nel Massiccio derivassero per differenziazione da un magma basico formatosi in condizioni di anatessi profonda nella crosta inferiore (650° – 750° C e 25-30 km, E. CONDLIFFE e A. MOTTANA, 1975, 1976) ed evoluto poi in modo continuo da dioritico (serizzo) a granodioritico (ghiandone) ed infine a granitico (granito di S. Fedelino) per terminare in un corteo di pegmatiti ed apliti.

Il modello petrogenetico così concepito era stato però considerato suscettibile di modifica e di miglioramento qualora si fossero resi disponibili sia dati petrochimici geologicamente meglio distribuiti, sia, e soprattutto, dati geochimici sugli elementi in traccia.

Una recentissima memoria di H. R. WENK et al. (1977) integra estesamente le attuali conoscenze petrochimiche sulle rocce bregagliotte: alle 60 analisi prese in considerazione da D. RICHARDSON et al. (1976) se ne sono aggiunte ben 107 (comprendenti anche delle rocce incassanti), tra cui: 14 di ghiandone, 16 di serizzo, 1 di granito di S. Fedelino e 22 di litotipi plutonici meno diffusi. Questa massa di dati, elaborata sia con i convenzionali diagrammi di variazione sia con il metodo statistico-matematico dell'analisi discriminante, porta H. R. WENK et al. (1977) a conclusioni radicalmente opposte a quelle di D. RICHARDSON et al. (1976): il massiccio deriverebbe da mobilizzazione anatettica a grandi profondità seguita da mescolamento e omogeneizzazione durante la messa in posto, modello già sostenuto su basi prevalentemente tettonico-strutturali da H. R. WENK (1973). In particolare il ghiandone deriverebbe per anatessi senza alcun scambio di elementi dalle migmatiti preal-

pine del Complesso del Gruf, ancora parzialmente esposte ai margini del complesso « intrusivo ». Questa interpretazione è una modifica della precedente affermazione di H. R. WENK (1970, 1973) secondo il quale il ghiandone deriverebbe dall'ortogneiss granitico del Truzzo e di Chiavenna d'età ercinica (radici della falda di Tambò) in ambiente di subduzione. Il serizzo invece deriverebbe dalla omogeneizzazione di una serie gneissico-anfibolitica in parte ancora presente sul margine settentrionale in diretta continuazione delle rocce di tipo tonalitico, o, in alternativa, da assimilazione, da parte delle anfiboliti, di filoni leucocrati emanati dalla massa granitica. Precedentemente però H. R. WENK (1973) aveva proposto per il serizzo una genesi da mobilitazione *in situ* di anfiboliti ad opera del ghiandone e lo interpretava come un « epidote and alkalifeldspar-bearing hornblende-biotite-andesine gneiss ». In tutte e due le versioni di Wenk il ghiandone risulterebbe precedere nel tempo il serizzo. Il corteo filoniano potrebbe essere, almeno in parte, un mobilitato *in situ* durante il processo petrogenetico maggiore (H. R. WENK et al., 1977).

Certi aspetti dei due lavori rappresentano uno sconcertante esempio di come da dati di fatto identici [si vedano ad esempio le curve di variazione di elementi di grande importanza petrochimica: cfr. le figg. 2, 3, 4 di D. RICHARDSON et al. (1976) e la fig. 3 di H. R. WENK et al. (1977)], si possa arrivare a conclusioni drasticamente divergenti. In realtà questa è una situazione non nuova per le Alpi Bregaglio, in cui evidenze di tutti i tipi — geologiche, micropaleontologiche, radiometriche, ecc. — sono state di volta in volta invocate per sostenere punti di vista diversi. Ancora una volta, ci si trova di fronte alla fondamentale controversia che separa i sostenitori di una genesi magmatica e tardo-orogena del Massiccio (H. P. CORNELIUS, 1915; R. STAUB, 1918; A. GANSSER e T. GYR, 1967; P. MOTICKA, 1970; V. TROMMSDORFF e B. W. EVANS, 1972; B. L. GULSON, 1973), dai sostenitori di una sua origine migmatite-metasomatica a spese di rocce pennidiche durante la fase lepontina dell'orogenesi alpina (F. K. DRESCHER e M. STORZ, 1926; F. K. DRESCHER-KADEN, 1940, 1969; E. WENK, 1956, 1962; R. CRESPI e G. SCHIAVINATO, 1966; H. R. WENK, 1970, 1973).

Un aspetto metodologico per l'approfondimento della ricerca sulla petrogenesi del Massiccio Val Masino - Val Bregaglia non ancora affrontato da alcuno è, come indicato da D. RICHARDSON et al. (1976), quello geochimico, consistente nella determinazione degli elementi in traccia. I soli dati esistenti sono quelli di B. L. GULSON (1973) su Rb e Sr, in base ai quali si esclude la possibilità suggerita da H. R. WENK (1970) che il ghiandone possa derivare per ricristallizzazione dell'ortogneiss del Truzzo e di altre rocce della falda Tambò, e su U e Th, con i quali si nega alcuna connessione tra il granito di San Fedelino con il suo corteo aplitico e l'insieme serizzo-ghiandone.

Un gruppo di elementi in traccia, le Terre Rare (REE), la cui rilevanza come traccianti viene sempre più messa in evidenza, è stato preso in considerazione in questo lavoro, mentre parallelamente procedono studi isotopici su alcune fasi mineralogiche tipiche (Y. KURODA et al., in prep.).

Distribuzione delle REE in complessi granitoidi

L'ammontare di informazioni sul tenore e la distribuzione delle REE nei complessi granitoidi è rilevante, anche se relativamente ridotto rispetto al gran numero di determinazioni sparse su rocce granitico-granodioritiche considerate isolate dal loro contesto geologico. È solo dell'ultimo decennio, infatti, la tendenza ad esaminare il comportamento delle REE in associazioni di rocce comagmatiche o, perlomeno, geograficamente e geologicamente associate. Nel loro insieme, i dati disponibili indicano quanto segue (L. A. HASKIN et al., 1968; A. G. HERMANN, 1970; H. NAGASAWA e C. C. SCHNETZLER, 1971; T. KOLJONEN e R. J. ROSENBERG, 1974; R. EMMERMANN et al., 1975; ed altri):

- a) il contenuto totale di REE (Σ REE) cresce regolarmente con il tenore di SiO_2 , passando da una media di circa 99 ppm nei basalti a 196 ppm nelle rocce intermedie a 290 ppm in quelle granitiche;
- b) parallelamente cresce il tenore di terre rare leggere (LREE, La-Eu) rispetto a quello di terre rare pesanti (HREE, Gd-Lu). Questo comporta un fattore di arricchimento ($\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$) passate da 0,8 nei basalti a 2,3 nelle rocce intermedie a 3,5 in quelle granitiche;
- c) nelle rocce granitoidi gli andamenti di distribuzione delle REE, normalizzate rispetto alle condriti, si possono ricondurre a due tipi fondamentali:
 - 1) calo regolare da La a Lu, con tutt'al più una lieve variazione di pendenza (che diventa meno accentuata) a partire dal Dy. Ne è considerato esempio tipico il G-2 (granito di Westerley). In generale questa è la distribuzione presentata dai graniti subalcalini;
 - 2) andamento più o meno costante con una repentina anomalia negativa dello Eu. È tipico di questo il granito di Quincy ed è in genere l'andamento di molti graniti alcalini e peralcalini;
- d) le fasi tardo-magmatiche (leucograniti, pegmatiti ed apliti) sono decisamente più povere in ΣREE delle masse granitiche cui sono associate e, pur presentandone di solito lo stesso andamento di distribuzione, tendono a mostrare arricchimenti in HREE. Ciò è attribuito da alcuni al fatto che minerali-trappola delle HREE quali monazite e titanite cristallizzano di preferenza nella fase pegmatitica, da altri all'influenza di fluidi metasomatici o di volatili.

In generale è considerata una caratteristica tipica della geochimica delle REE durante il processo magmatico il fenomeno della *reversibilità della mobilità relativa* (Yu. A. BALASHOV, 1966): le LREE si concentrano nelle fasi giovani ed intermedie delle intrusioni, le HREE si accumulano invece nelle fasi finali.

Nel corso della rifusione anatettica il comportamento delle REE è differente, come risulta chiaramente da recenti studi di R. EMMERMANN et al. (1975) sui graniti della Foresta Nera.

I primi fusi formatisi, di composizione granitica «quasi-eutettica» e quindi più

ricchi di SiO_2 , sono i più poveri in ΣREE ; poi, dal prosieguo dell'anatessi a temperature via via più alte, risultano fusi di composizione sempre più basica (da granodioritica fino a monzonitica) mentre aumenta la ΣREE per progressiva dissoluzione della biotite e della apatite. Raggiunto il massimo di rifusione, nella Foresta Nera inizia una normale differenziazione magmatica in senso acido che porta a una concomitante diminuzione di ΣREE nel modo descritto precedentemente. L'evoluzione per differenziazione magmatica e quella per anatessi differenziale sono quindi due processi speculari sia per quanto riguarda le REE, sia per SiO_2 , come risulta anche da ricerche condotte in Finlandia. (T. KOLJONEN e R. J. ROSENBERG, 1974) e nella Nuova Inghilterra (G. BUMA et al., 1971).

Metodologia

I 10 campioni analizzati fanno parte della serie scelta (D. RICHARDSON et al., 1976) sulla base di una rappresentatività geologica rispetto alle singole unità da caratterizzare (tipi medi di serizzo — PS 2, PS 3, PS 5 —, ghiandone — PS 11, PS 12, PS 13 — e San Fedelino — PS 8 —; varietà locali a grana fine localizzate

TABELLA 1

Tenore di terre rare nelle rocce del Massiccio Val Masino - Val Bregaglia (ppm)

<u>campioni</u>	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
PS - 2	16.2	39.2	23.2	5.14	1.23	0.83	2.82	0.47
PS - 5	19.9	47.8	27.9	6.17	1.40	0.80	2.20	0.37
PS - 3	42.2	81.3	36.7	6.48	1.42	0.77	2.71	0.46
serizzo \bar{x}	26.1	56.1	29.2	5.93	1.35	0.80	2.58	0.43
PS - 12	50.4	93.0	37.4	6.05	1.23	0.58	1.89	0.30
PS-13	45.7	82.5	33.5	5.33	1.04	0.45	0.74	0.14
PS - 11	48.6	90.6	35.8	5.64	0.96	0.51	1.35	0.22
ghiandone \bar{x}	48.2	88.7	35.6	5.67	1.08	0.51	1.33	0.22
PS - 1	22.2	45.5	21.6	4.05	0.89	0.54	1.85	0.32
PS - 6	7.40	9.74	4.72	0.92	0.24	0.19	1.93	0.38
PS - 8	12.8	23.4	11.6	2.38	0.50	0.28	0.90	0.15
PS - 9	7.92	16.1	7.37	1.86	0.34	0.31	2.33	0.43

in aree chiave di contatto tra le masse principali — PS 6 —; possibili termini estremi della differenziazione — PS 1, PS 9 —).

Le analisi per le REE sono state eseguite in duplicato ed analizzate in replicato secondo la procedura radiochimica in attivazione neutronica messa a punto presso il Mineralogisk-Geologisk Museum di Oslo (A. O. BRUNFELT et al., 1974, 1977) e sono riportate in tab. 1.

Poichè solo 8 elementi delle REE risultano esaminati, oltre alla Σ REE effettivamente misurata è stata anche calcolata una Σ REE* ottenuta assommando ai valori in ppm effettivamente misurati quelli interpolati graficamente sulle curve di normalizzazione per gli elementi non misurati.

La normalizzazione è stata eseguita rispetto alla media di 20 condriti (L. A. HASKIN et al., 1968) e la proiezione dei dati normalizzati è stata eseguita secondo la procedura di Coryell-Masuda. È stato inoltre calcolato tanto l'indice di frazionamento tra LREE (gruppo del Ce) e HREE (gruppo dell'Y) Σ ppm (La-Eu) / Σ ppm (Gd-Lu, Y) secondo Yu. A. BALASHOV e N. V. TURANSKAYA (1960), quanto il fattore di arricchimento (R. EMMERMANN et al., 1975) definito come rapporto La^*/Yb^* normalizzati. Come indice della anomalia dell'Eu è stato infine calcolato il rapporto Eu/Eu^* (G. BUMA et al., 1971).

Risultati sperimentali

Il tenore assoluto delle REE analizzate e la distribuzione delle stesse nel diagramma normalizzato sono riportati in tab. 1 e nelle figg. 1 e 2. Per motivi di chiarezza l'andamento dei due tipi fondamentali del Massiccio, serizzo e ghiandone,

TABELLA 2

Parametri misurati e calcolati atti a spiegare il comportamento delle terre rare nel Massiccio Val Masino - Val Bregaglia

	%SiO ₂	I.L.	(Na+K/Al) mol	Σ REE*	Eu/Eu*	La*/Yb*	$\frac{La-Eu}{Gd-Lu}$
PS - 2	50.09	- 7.21	0.31	110 ppm	0.75	3.2	4.5
PS - 5	54.56	2.41	0.43	128	0.73	5.1	5.7
PS - 3	56.06	2.72	0.48	197	0.74	8.8	9.4
PS - 12	63.35	16.21	0.68	214	0.74	15.1	12.9
PS - 13	64.82	16.14	0.60	187	0.74	35.0	18.7
PS - 11	68.17	20.03	0.76	203	0.70	20.4	15.9
PS - 1	61.36	10.75	0.49	113	0.73	6.8	7.7
PS - 6	65.63	17.63	0.61	32	0.76	2.2	3.0
PS - 8	71.81	24.88	0.65	60	0.72	8.0	7.2
PS - 9	72.16	26.74	0.70	48	0.56	1.9	3.1

è stato tenuto separato da quello dei litotipi meno diffusi. Una serie di parametri esplicativi della geochimica delle REE nei vari campioni è riportata nella tab. 2.

È anzitutto evidente come la regola statisticamente definita da L. A. HASKIN et al. (1968), sul crescere del tenore in REE con il tenore di silice nelle rocce magmatiche, non sia rispettata nel Massiccio di Val Masino - Val Bregaglia. È vero che il serizzo (dioritico) contiene meno Σ REE del ghiandone (granodioritico), ma il gra-

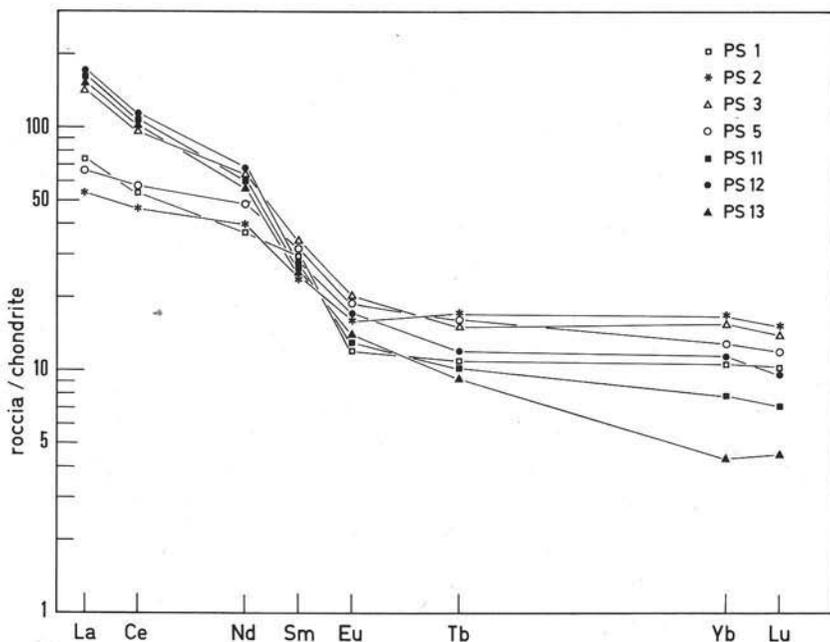


Fig. 1. — Proiezione normalizzata della distribuzione delle terre rare nel serizzo (simboli aperti) e nel ghiandone (simboli chiusi) del Massiccio Val Masino-Bregaglia.

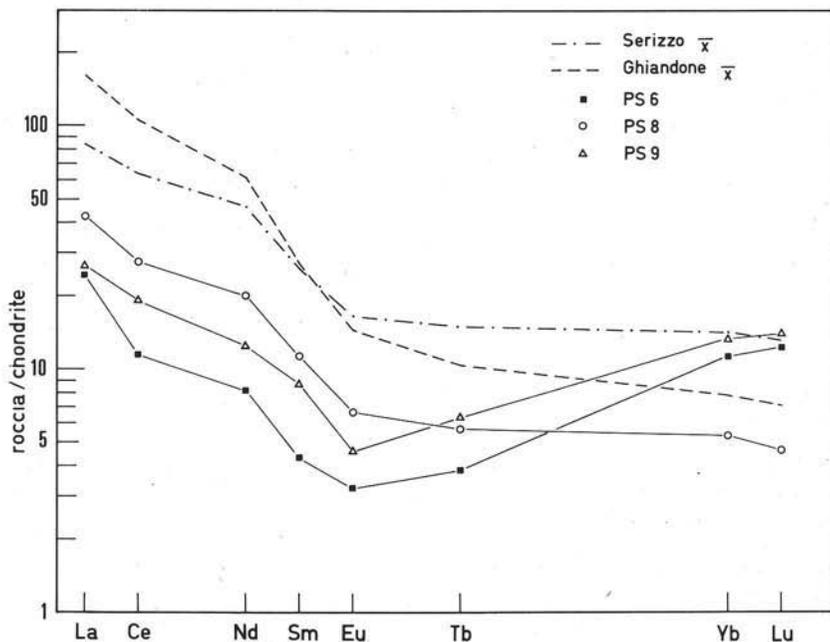


Fig. 2. — Proiezione normalizzata dell'andamento delle terre rare nei litotipi minori del Massiccio Val Masino-Bregaglia: granito di San Fedelino (O), pegmatite (Δ) e «microgranito del Cameraccio» (\blacksquare). Sono inoltre riportati gli andamenti medi del serizzo e del ghiandone.

nito di San Fedelino (trondhjemitaplitico) e le pegmatiti associate sono decisamente impoverite in Σ REE non solo rispetto al ghiandone, ma anche rispetto al serizzo. Importantissimo poi il fatto che il « microgranito del Cameraccio » (PS 6) di composizione granodioritica, intercluso nella « zona di transizione » (P. MORICSKA, 1970), sia il litotipo più povero in assoluto di REE malgrado abbia una composizione chimica globale pressochè identica al campione PS 13, uno dei ghiandoni più tipici e una delle rocce più ricche in REE fra tutti i campioni esaminati. Ciò infatti sta ad indicare che Σ REE non è strettamente ed esclusivamente dipendente dal contenuto in SiO_2 della roccia, ma dipende da vari altri fattori, presumibilmente genetici. La Σ REE di tutte queste rocce si mantiene inoltre decisamente minore di Σ REE per le rocce consimili di altre regioni del globo (cfr. medie calcolate da A. G. HERMANN, 1970).

La regola statistica (b), precedentemente riportata, sulla crescita del fattore di arricchimento (La^*/Yb^*) col crescere del tenore di silicio, non è neppure essa rispettata e nella stessa misura della prima. Se il serizzo è meno arricchito del ghiandone, i litotipi minori, cioè il microgranito del Cameraccio e la pegmatite, lo sono ancora meno del serizzo. Le due eccezioni alle regole finora riportate verrebbero a rientrare qualora venissero prese come prova per confermare la regola statistica (d), cioè che fasi tardo-magmatiche di intrusioni presentano sia Σ REE sia fattori di arricchimento decisamente più bassi delle masse principali. Ciò avrebbe come immediata conseguenza però che la distribuzione delle REE nei litotipi del Massiccio dovrebbe essere compatibile solo col modello di frazionamento magmatico di D. RICHARDSON et al. (1976), escludendo la possibilità di generazione *in situ* (o per fenomeni di metasomatismo) di tutto il corteo acido dell'associazione.

L'esame degli andamenti di distribuzione mette in luce inoltre l'affinità tra i litotipi del Massiccio e granitoidi subalcalini come il G-2. Si osserva infatti un calo regolare da La a Lu per il ghiandone, pur con pendenza meno accentuata per le HREE, e da La a Eu per il serizzo, con valori più o meno costanti per le HREE. È anche da notare che le due unità presentano un aspetto del tutto complementare nei loro rapporti di distribuzione di LREE e HREE: dispersione molto bassa nelle prime per il ghiandone che viceversa ha una considerevole dispersione delle HREE; larga dispersione per LREE nel serizzo e viceversa ristretta per HREE. Una distribuzione analoga al serizzo si osserva nel granito di San Fedelino che quindi rientra decisamente nei graniti subalcalini, in accordo anche con il suo indice agpaítico e malgrado la sua natura di roccia quasi schizolitica. Va però osservato che in tutte queste rocce esiste una lieve anomalia negativa dell'Eu ($\text{Eu}/\text{Eu}^* > 0,70$), fenomeno tanto più strano se si considera che in molti di questi litotipi sono presenti plagioclasti con nuclei fortemente basici (cp. H. R. WENK et al., 1977) nei quali il Ca^{2+} può essere facilmente sostituito da Eu^{2+} . Questo porterebbe a concludere che nel massiccio l'Eu è prevalentemente in valenza 3+ e quindi porrebbe precise delimitazioni sulle condizioni di $\text{P}(\text{O}_2)$ durante il processo petrogenetico.

Notevolmente differenziato rispetto alle masse principali è l'andamento di distribuzione (e quindi tanto il fattore d'arricchimento quanto l'anomalia dell'Eu) presentato dalla pegmatite e dal microgranito del Cameraccio. Dopo un calo abbastanza regolare nelle LREE, queste due rocce presentano un aumento altrettanto regolare nelle HREE, più accentuato nella prima, in cui pertanto l'anomalia negativa dell'Eu risulta la massima riscontrata nell'intero complesso. Per la pegmatite questo andamento corrisponde a quanto prevedibile in base alla regola statistica (*d*) sopra riportata ed è riconducibile, almeno per quanto riguarda l'aumento di HREE, alla presenza di minerali-trappola, quali monazite e soprattutto granato (¹).

Invece per il microgranito non sussistono motivi mineralogici per una così accentuata diversità dalle restanti rocce del Massiccio. Questo tipo litologico poco studiato, messo in evidenza geologica per la prima volta da C. CAMPIGLIO e A. MONTRASIO (F. SONDRIO, 1971) e ripreso da H. R. WENK et al. (1977), ha composizione modale granitica e chimica granodioritica (D. RICHARDSON et al., 1976) risultando quindi affine al ghiandone, dal quale peraltro si differenzia nettamente per grana e tessitura. Si potrebbe forse, in base al tenore piuttosto basso in Σ REE ed al decorso delle LREE, ipotizzare una sua connessione genetica con il granito di San Fedelino, con il quale ha inoltre in comune la caratteristica di attraversare la fogliazione del serizzo e del ghiandone con contatti di tipo intrusivo. Questa possibilità non trova però nessun altro supporto possibile: manca in queste rocce la muscovite, minerale tipico del granito di San Fedelino; il chimismo globale è notevolmente differente, e infine — appunto — anche la geochimica delle REE è del tutto differente. Il suo andamento parallelo a quello della pegmatite della Cava del Pescarino (PS 9), chimicamente e spazialmente connessa col granito di San Fedelino ma in rapporti intrusivi anche rispetto a questo, ne fa prospettare un'origine altrettanto tardiva, confermando quindi l'ipotesi, che si è andata delineando non l'affinamento delle conoscenze geopetrologiche (A. MOTTANA, in prep.), che esistano all'interno del Massiccio zone di cristallizzazione tardiva, o comunque rimobilizzate, posteriori senz'altro all'esaurimento delle componenti tensionali che hanno rese granoblastiche o perfino scistose vaste aree sia nel serizzo sia nel ghiandone.

Discussione e deduzioni petrogenetiche

Dall'esame del contenuto di REE di campioni ben scelti a rappresentare la complessa associazione petrografica del Massiccio Val Masino - Val Bregaglia, emergono una serie di indicazioni atte a contribuire alla discussione sul modo di formazione

(¹) Il serizzo è ricco di titanite, un altro minerale-trappola per le HREE. La presenza di questa non sembra essere sufficiente a fargli modificare l'andamento dal tipo regolarmente decrescente a quello « V-shaped ». Tuttavia è probabilmente proprio a questo minerale che si deve l'apparente incrocio degli andamenti del serizzo e del ghiandone, nel quale la titanite non è presente o è scarsa: la presenza della titanite è infatti sufficiente a rendere piano l'andamento del serizzo da Eu a Lu, mentre nel ghiandone, che ne è privo, l'andamento continua regolarmente a decrescere.

e sul significato geologico di questa massa. Anzitutto per serizzo e ghiandone, di ciascuno dei quali sono stati analizzati tre litotipi medi, appare confermata l'affinità genetica, di tipo magmatico, sostenuta dalla maggior parte degli Autori. Essi mostrano (figg. 1, 2, 3): Σ REE regolarmente crescente col tenore di SiO_2 , e con il grado di differenziazione; andamenti di distribuzione paralleli fra loro e del tipo caratterizzante i granitoidi subalcalini; dispersione complementare degli arricchimenti di LREE nel serizzo e di HREE nel ghiandone rispetto alle condriti. Tutto si lascia ricondurre a un normale processo di frazionamento magmatico in senso calcalcalino, da tipi intermedi a granitici, come sostenuto da D. RICHARDSON et al. (1976), più che a due processi distinti, di rimobilizzazione di ortogneiss granitoidi del basamento per il ghiandone e di omogeneizzazione di una serie mista di anfiboliti e gneiss (o filoni leucocrati) come sostenuto da H. R. WENK et al. (1977).

Per il granito di San Fedelino l'andamento di distribuzione, parallelo a quello del serizzo, gioca a favore di una consanguineità con il resto dell'intrusione (T. KOLJONEN e R. J. ROSENBERG, 1971), mentre la sua bassa Σ REE lo identifica come una delle fasi finali del processo di differenziazione magmatica (T. YAJIMA et al., 1968; H. NAGASAWA e C. C. SCHNETZLER, 1971). Le REE si sarebbero via via arricchite con la differenziazione fino ad un massimo, rappresentato dal ghiandone, e poi sarebbero risultate impoverite nelle fasi ultime a cristallizzare. Le pegmatiti, bassissime in Σ REE e con deciso arricchimento in HREE, rappresenterebbero lo stadio finale dell'intera evoluzione.

In alternativa però il basso tenore di Σ REE nel granito di San Fedelino potrebbe essere spiegato con una sua totale indipendenza dall'insieme serizzo-ghiandone: il suo magma si sarebbe potuto formare indipendentemente da questi per anatessi allo stadio iniziale, come indicato tanto dalla sua composizione « quasi-eutettica » quanto dal basso tenore Σ REE, secondo le modalità descritte nella Foresta Nera da R. EMMERMANN et al. (1975); si sarebbe poi immediatamente evoluto in pegmatiti pure esse molto povere in REE.

Una posizione critica, in questa discussione, è tenuta dal « granito del Cameraccio », identico per composizione globale al ghiandone, ma del tutto diverso da questo per contenuto e distribuzione delle REE. L'accumulo di HREE ed il basso tenore di Σ REE sono del tutto concordi nel farne una fase tardiva dell'intrusione e come tale risulta anche in campagna, dato che costituisce masse discordanti tanto nel serizzo quanto nel ghiandone. Due ipotesi alternative possono essere prospettate:

- a) il granito del Cameraccio è una fase tardiva dell'evoluzione (magmatica) serizzo \rightarrow ghiandone del tutto indipendente dal granito di San Fedelino che risulterebbe una intrusione distinta;
- b) il granito del Cameraccio risulterebbe dalla rimobilizzazione in scala locale di ghiandone, con rifusione selettiva delle REE.

Nel primo caso il Massiccio Val Masino - Val Bregaglia andrebbe scomposto in due intrusioni: una evolventesi da dioriti a granodioriti nella sequenza serizzo \rightarrow \rightarrow ghiandone \rightarrow granito del Cameraccio, secondo lo schema di differenziazione

magmatica prospettato da D. RICHARDSON et al. (1976); una seconda, formatasi per anatessi superficiale ed iniziale ed evolventesi subito dai leucograniti di San Fedelino a pegmatiti e apliti. Come osservato precedentemente l'ipotesi della doppia intrusione resta tutta da dimostrare.

Per ora comunque l'esame geochimico su questi elementi non ha portato nessun argomento che contrasti in modo definitivo con il modello di evoluzione magmatica di D. RICHARDSON et al. (1976). Anche la distribuzione delle REE nelle rocce

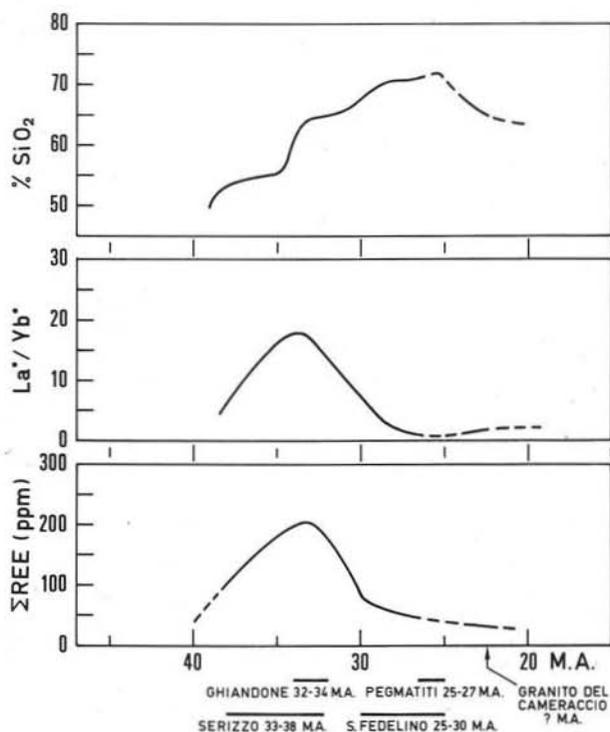


Fig. 3. — Variazione nel tempo della sommatoria delle terre rare, dell'indice di frazionamento e della percentuale di silice delle rocce del Massiccio di Val Masino-Bregaglia. Le datazioni assolute dei singoli tipi litologici sono quelle tradizionali (GULSON, 1973) anche se probabilmente imprecise al lume di determinazioni più recenti (BORSI, com. pers.).

del Massiccio prese in sequenza temporale si accorda con quanto noto sul comportamento delle REE nel processo magmatico.

Dall'esame di fig. 3 risulta infatti che:

- il serizzo, l'unità più antica, ha i più bassi tenori di Σ REE accoppiato a basso La^*/Yb^* ; in particolare PS 2, possibile margine sopraraffreddato dell'intrusione (« tonalitische Randfazies » di T. GYR, 1967), che con 50% SiO_2 risulta anche il campione meno evoluto in senso granitico, ha Σ REE e La^*/Yb^* minimi;
- al crescere della differenziazione nel tempo crescono parallelamente SiO_2 , Σ REE

- e La^*/Yb^* fino a raggiungere i valori massimi per composizioni granodioritiche-leucotonalitiche come indicato da YU. A. BALASHOV (1966) e ribadito da T. KOLJONEN e R. J. ROSENBERG (1974);
- c) le fasi finali, trondhjemitgranitiche e pegmatitiche, pur differenziate fino a 72 % SiO_2 , risultano impoverite in ΣREE mentre si inverte la tendenza di La^*/Yb^* in favore delle HREE e si sviluppa, nella pegmatite, una sensibile anomalia negativa dell'Eu;
- d) tra le fasi finali va incluso il « granito del Cameraccio » che, pur avendo circa 66 % SiO_2 , ha basso ΣREE e manifesta esso pure inversione nella mobilità relativa delle HREE rispetto alle LREE.

In conclusione: un quadro evolutivo identico a quello di sequenze granitoidi calcalkaline ritenute di evoluzione magmatica quali quelle del Tien-shan (YU. A. BALASHOV, 1966), Westerley (G. BUMA et al., 1971) e Finlandia (T. KOLJONEN e R. J. ROSENBERG, 1974) che preclude, a nostro avviso, la possibilità per il Massiccio di Val Masino - Val Bregaglia, di formazione non solo per metasomatosi potassica *in situ* (F. K. DRESCHER-KADEN, 1940, 1969), ma anche per anatessi progressiva più o meno *in situ*, con eventuali omogeneizzazioni a vari livelli nella crosta (E. WENK, 1962; R. CRESPI, e G. SCHIAVINATO, 1966; H. R. WENK et al., 1977). Fenomeni di trasporto di materia in rocce consolidate sono forse concepibili su scala strettamente locale, ma in questo caso non modificano in modo apprezzabile la distribuzione delle REE dal suo assetto magmatico originario.

Ringraziamenti. — Lavoro eseguito nell'ambito del gruppo informale « Plutonismo e Crosta Profonda » del C.N.R. e comunicato inizialmente in questa sede. A C. D'AMICO, R. CRESPI e S. BORSI dobbiamo commenti critici fattivi. L'attivazione neutronica è stata eseguita al Mineralogisk-Geologisk Museum di Oslo, grazie all'ospitalità offerta a L.M. con l'autorizzazione del direttore, Dr. J. DONS. Parte delle spese d'attivazione è stata sostenuta da grant dell'Università di Oslo.

BIBLIOGRAFIA

- BALASHOV YU. A. (1966) - *Differentiation of rare-earth elements during magmatic processes*, in: A. P. VINOGRADOV (ed.), *Chemistry of the Earth Crust*, 372-387.
- BALASHOV YU. A., TURANSKAYA N. V. (1960) - *Pattern of distribution of the rare earths in the rocks of the differentiated complex of the Lovozero alkalic massif and certain problems of the genesis of the Complex*. *Geochem.*, 845-859.
- BRUNFELT A. O., ROELANDTS I., STEINNES E. (1974) - *Determination of rubidium, caesium, barium and eight rare earth elements in ultramafic rocks by neutron activation analysis*. *Analyst*, 99, 277-284.
- BRUNFELT A. O., ROELANDTS I., STEINNES E. (1977) - *Some new methods for the determination of rare-earth elements in geological materials using thermal and epithermal neutron activation analysis*. *Radiochem. Radioanal. Letters*, 28/2, I, 181-187.

- BUMA G., FREY F. A., WONES D. R. (1971) - *New England granites: trace element evidences regarding their origin and differentiation*. Contr. Mineral. Petrol., 31, 300-320.
- CONDLIFFE E., MOTTANA A. (1974) - *Studio sperimentale del « serizzo » a moderate pressioni (Nota preliminare)*. Rend. Soc. Ital. Miner. Petrol., 30, 919-930.
- CONDLIFFE E., MOTTANA A. (1976) - *Esperimenti sul ghiandone del Massiccio Val Masino - Val Bregaglia tra 1 e 3 kb P(H₂O)*. Rend. Soc. Ital. Miner. Petrol., 32, 71-81.
- CORNELIUS H. P. (1915) - *Geologische Beobachtungen in den italienischen Teilen des Albignadisgrazia-Massivs*. Geol. Rundsch., 6, 166-177.
- CRESPI R., SCHIAVINATO G. (1966) - *Osservazioni petrogenetiche sul settore centro-occidentale del massiccio di Val Masino - Val Bregaglia*. Rend. Soc. Miner. Ital., 22, 27-57.
- DRESCHER F. K., STORZ M. (1926) - *Ergebnisse petrographisch-tektonischer Untersuchungen im Bergell Granit (mit tektonischer Karte)*. N. Jb. Miner., B. B., 54, Abt. A, 284-291.
- DRESCHER-KADEN F. K. (1940) - *Beiträge zur Kenntnis der Migmatit- und Assimilationsbildungen sowie der synantetischen Reaktionsformen. I. Über Schollenassimilation und Kristallisationsverlauf im Bergell Granit*. Chem. Erde, 12, 304-417.
- DRESCHER-KADEN F. K. (1969) - *Granitprobleme*. 586 pp.
- EMMERMANN R., DAIEVA L., SCHNEIDER J. (1975) - *Petrologic significance of rare earth distribution in granites*. Contr. Mineral. Petrol., 52, 267-283.
- GANSSEER A., GYR T. (1964) - *Ueber Xenolithschwarme aus dem Bergeller Massiv und Probleme der Intrusion*. Ecl. Geol. Helv., 57, 577-598.
- GYR T. (1967) - *Geologische und Petrographische Untersuchungen am Ostrande des Bergeller Massivs*. Diss. ETH Zuerich, 125 pp.
- GULSON B. L. (1973) - *Age relations in the Bergell region of the South-East Swiss Alps: with some geochemical comparisons*. Ecl. Geol. Helv., 66, 293-313.
- HASKIN L. A., HASKIN M. A., FREY F. A., WILDEMANN T. R. (1968) - *Relative and absolute terrestrial abundances of rare earths; in AHRENS L. H. (Ed.) - Origin and distribution of the elements*. 889-912.
- HERMANN A. G. (1970) - *Yttrium and lanthanides; in: WEDEPOHL K. H. (Ed.) - Handbook of Geochemistry II. 2, 39, 57-71*.
- KOLJONEN T., ROSENBERG R. J. (1974) - *Rare earth elements in granitic rocks*. Lithos, 7, 249-261.
- MOTICSKA P. (1970) - *Petrographie und Strukturanalyse des westlichen Bergeller Massivs und seines Rahmens*. Schw. Miner. Petr. Mitt., 50, 355-399.
- NAGASAWA H., SCHNETZLER C. C. (1971) - *Partitioning of rare earth, alkali and alkaline earth elements between phenocrysts and acidic igneous magma*. Geochim. Cosmochim. Acta, 35, 953-968.
- RICHARDSON D., CONDLIFFE E., MOTTANA A. (1976) - *Caratteri petrochimici del Massiccio Val Masino - Val Bregaglia (Alpi centrali)*. Rend. Soc. Ital. Miner. Petrol., 32, 83-96.
- STAUB R. (1918) - *Geologische Beobachtungen am Bergellermassiv*. Vjschr. Naturf. Gesell. Zuerich, 63, 1-18.
- TROMMSDORFF V., EVANS B. W. (1972) - *Progressive metamorphism of antigorite schists in the Bergell tonalite aureola (Italy)*. Amer. J. Sci., 272, 423-437.
- WENK E. (1956) - *Die Lepontinische Gneisregion und die junge Granite der Valle della Mera*. Ecl. Geol. Helv., 49, 251-265.
- WENK E. (1962) - *Das reaktivierte Grundgebirge der Zentralalpen*. Geol. Rundsch., 52, 754-766.
- WENK H. R. (1970) - *Geologische Beobachtungen im Bergell. I. Gedanken zur Genese des Bergeller Granits. Rueckblick und Ausblick*. Schw. Miner. Petr. Mitt., 50, 321-349.
- WENK H. R. (1973) - *The structure of the Bergell Alps*. Ecl. Geol. Helv., 66, 255-291.
- WENK H. R., HSIAO J., FLOWERS G., WEIBEL M., AYRANCI B., GRUENENFELDER M. (1977) - *A geochemical survey of granitic rocks in the Bergell region*. Schw. Miner. Petr. Mitt., 57.
- YAJIMA T., HIGUCHI H., BANNO S., NAGASAWA H. (1968) - *Differentiation of rocks in Izu-Hakone region: a study of rare earth patterns*. Chikyukagaku, 2, 24-25.