

GIULIO OTTONELLO*, GIUSEPPE RANIERI**

EFFETTI DEL CONTROLLO PETROGENETICO SULLA DISTRIBUZIONE DEL BARIO NEL PROCESSO DI ANATESSI CRUSTALE

RIASSUNTO. — Mediante l'utilizzazione di un modello di distribuzione di elementi in tracce, applicabile a processi di fusione con produzione di liquidi a composizione variabile, e che prevede variazioni dei coefficienti di ripartizione dell'elemento in tracce studiato, vengono valutati gli effetti del controllo petrogenetico sulla distribuzione del bario nel processo di anatessi crustale. I risultati indicano che una valutazione realistica della distribuzione di tale elemento non può essere ottenuta prescindendo da una buona conoscenza del solido iniziale e del suo processo di fusione. L'estrapolazione ad altri elementi in tracce suggerisce, allo stato attuale delle conoscenze, cautela nell'attribuzione di ruolo guida ai dati geochimici per lo studio di processi di fusione localizzati nella crosta continentale.

ABSTRACT. — Barium distribution during crustal anatexis has been evaluated by mean of a trace distribution model which takes into account variations of partition coefficients and fusion rates between the various crystalline phases undergoing melting. Results indicate that Ba distribution is strongly dependent from the petrogenetic control. An extension to other trace elements suggests caution in the utilization of geochemical data as a main guide in the investigation of partial melting processes localized in the continental crust.

Introduzione

Negli ultimi anni il concetto di « coefficiente di ripartizione » è stato largamente applicato allo studio geochimico di vari processi magmatici (fusione all'equilibrio, fusione frazionata, cristallizzazione frazionata).

La termodinamica della ripartizione di elementi in tracce è stata illustrata da McINTIRE (1963) che valutò gli effetti di temperatura, pressione e composizione delle fasi sui valori di ripartizione. Più recentemente tali effetti sono stati misurati sperimentalmente da diversi autori (CULLERS et al., 1973; SHIMIZU, 1974; SUN et al., 1974).

L'effetto del disequilibrio cinetico è stato studiato da ALBAREDE e BOTTINGA (1972), che dimostrarono l'importanza della velocità di diffusione nel processo di distillazione di Rayleigh.

Nel presente lavoro viene valutato l'effetto della variazione dei rapporti di fusione tra fasi solide coesistenti (definito da qui in avanti « controllo petrogenetico ») sulla distribuzione di elementi in tracce nel processo di fusione frazionata. A tal fine viene utilizzato un modello di distribuzione proposto da OTTONELLO e RANIERI (in stampa), consistente in una modifica dei precedenti modelli di GAST (1968) e

* Istituto Internazionale di Vulcanologia, Catania. ** Dipartimento di Chimica dell'Università della Calabria, Arcavacata di Rende (Cosenza).

SHAW (1970). L'applicazione al processo di anatessi crustale suggerisce che, per elementi in tracce differentemente ripartiti tra le fasi solide della roccia che subisce il processo di fusione ed il liquido prodotto, la valutazione dei trends di distribuzione non può prescindere da una esatta conoscenza dell'evoluzione composizionale (in termini di elementi maggiori) dei liquidi istantanei prodotti durante tutto il processo.

Modello di distribuzione

Per combinare le leggi che governano la distribuzione di un elemento in tracce durante la fusione frazionata ⁽¹⁾ di un solido multifase con l'evoluzione delle porzioni di fusione (composizione del liquido istantaneo) durante lo stesso processo, utilizziamo il metodo proposto da OTTONELLO e RANIERI (in stampa), consistente in una modificazione del sistema iterativo di GAST (1968) a cui viene inoltre applicata la definizione del «coefficiente di distribuzione globale solido-liquido» secondo SHAW (1970).

Tale metodo consente la valutazione dei trends di distribuzione di elementi in tracce anche per processi di fusione in cui le composizioni dei liquidi istantanei evolvono in maniera non lineare e/o discontinua. Possono inoltre essere introdotte variazioni concomitanti dei coefficienti di ripartizione tra fasi solide e liquido ⁽²⁾.

$$\frac{mC^T}{oC^T} = \prod_{i=1}^m \frac{1 - (iD^{1/T} + i - 1) \Delta F}{1 - F} \quad (1)$$

$$mD^{T/1} = \frac{m_{-1}D^{T/1} - m_{-1}P\Delta F}{1 - \Delta F} \quad (2)$$

$$\frac{mC^1}{oC^T} = mD^{1/T} \frac{m_{-1}C^T}{oC^T} \quad (3)$$

$$\frac{m\bar{C}^1}{oC^T} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{iC^1}{oC^T} \quad (4)$$

$$P = \bar{\epsilon}(F) \quad (5)$$

$$K^{1/\alpha, \beta, \gamma, \dots} = f(F) \quad (6)$$

(1) Si intende per fusione frazionata un processo di fusione con sottrazione continua del liquido istantaneo prodotto che non è così in grado di reagire con il solido residuale dei successivi incrementi di fusione (PRESNALL, 1969).

(2) Il modello proposto recentemente da HERTOGENH e GIJBELS (1976) non consente né la valutazione di variazioni non lineari delle composizioni dei liquidi istantanei, né l'applicazione contemporanea di coefficienti di ripartizione variabili.

Le concentrazioni relative di elementi in tracce durante il processo di fusione frazionata vengono calcolate risolvendo il sistema di equazioni riportato a pag. 742. dove:

mC^T = concentrazione dell'elemento in tracce nel residuo di fusione dopo la rimozione dell'emmesimo incremento di liquido;

oC^T = concentrazione nel solido iniziale;

mC^1 = concentrazione nell'emmesimo incremento di liquido;

$m\bar{C}^1$ = concentrazione media per « m » incrementi di liquido accumulati;

F = grado di fusione parziale, definito come rapporto tra massa di liquido e massa di solido iniziale;

ΔF = incremento di fusione;

$D^{T/1} = \frac{1}{D^{1/T}}$ = coefficiente di distribuzione globale:

$$D^{T/1} = \frac{X\alpha}{K^{1/\alpha}} + \frac{X\beta}{K^{1/\beta}} + \frac{X\gamma}{K^{1/\gamma}} + \dots \text{dove } X\alpha, \beta, \gamma \text{ sono le propor-}$$

zioni relative delle fasi solide α, β, γ e $K^{1/\alpha, \beta, \gamma}$ sono i coefficienti di ripartizione dell'elemento in tracce tra liquido e fasi α, β, γ ;

$$P = \frac{P\alpha}{K^{1/\alpha}} + \frac{P\beta}{K^{1/\beta}} + \frac{P\gamma}{K^{1/\gamma}} + \dots \text{dove } P\alpha, \beta, \gamma \text{ sono i contributi}$$

delle varie fasi alla produzione dei liquidi istantanei (proporzioni di fusione).

Utilizzando il modello proposto vengono calcolate sia le concentrazioni relative dei liquidi istantanei che le concentrazioni dei liquidi frazionalmente accumulati.

Il processo di fusione all'equilibrio non viene preso in considerazione dal modello proposto in quanto, durante tale processo, non è necessario conoscere l'evoluzione del sistema, essendo sufficiente la conoscenza dello stato finale per valutare rigorosamente il trend di distribuzione dell'elemento in esame (vedi anche CONSOLMAGNO and DRAKE, 1976).

Esaminiamo in maggior dettaglio le equazioni che ci permettono di introdurre nel modello di distribuzione le variazioni di composizione dei liquidi istantanei in funzione del grado di fusione parziale, fornendo un esempio pratico di come possono essere formulate (equazione numero 5 a pag. 742).

Valutazione di $P = \vec{c}(F)$; esempio della fusione frazionata nel sistema diopside (Di), albite (Ab), anortite (An)

Come è stato recentemente dimostrato da MORSE (1976), l'evoluzione della composizione dei liquidi istantanei e dei liquidi frazionalmente accumulati durante il processo di fusione frazionata in sistemi sperimentali multifase, può essere facilmente seguita applicando la regola della leva. Consideriamo il sistema Di-Ab-An (fig. 1). La fusione frazionata della composizione di partenza BC (la stessa studiata da MORSE, 1976) produce liquidi istantanei evolventi sulla curva ILC (1), e sulla curva ILC (2) quando tutto il diopside del solido residuo è stato consumato. Le evoluzioni dei liquidi istantanei durante la fusione possono essere descritte da due sistemi

di equazioni: $P = \vec{c}'(F)$ e $P = \vec{c}''(F)$ in due differenti intervalli di fusione: per $0 \leq F \leq 0,51$ (evoluzione sulla boundary line ILC) (1):

$$\vec{c}'(F) \equiv \left\{ \begin{array}{l} P_{\alpha} = P_{Ab} = \frac{13 - \sqrt{9 + 40F}}{20} \\ P_{\beta} = P_{An} = \frac{1 - P_{\alpha}}{2,17} \\ P_{\gamma} = P_{Di} = 1,17P_{\beta} \end{array} \right.$$

per $0,52 \leq F \leq 1$ (evoluzione lungo ILC) (2):

$$\vec{c}''(F) \equiv \left\{ \begin{array}{l} P_{\alpha} = P_{Ab} = 1,32 - 1,32F \\ P_{\beta} = P_{An} = 1 - P_{\alpha} \\ P_{\gamma} = P_{Di} = 0 \end{array} \right.$$

Le equazioni sopra riportate sono state determinate graficamente utilizzando pochi punti sulle due curve ILC di fig. 1, e ci permettono di valutare i trends di distribuzione di qualsiasi elemento in tracce durante la fusione della composizione di partenza BC. A titolo di esempio sono riportati in fig. 2 i trends di distribuzione dello stronzio per liquidi istantanei (curve 1F e 2F) e liquidi frazionalmente accumulati (curve 1FA e 2FA). Le curve 1 e 2 sono state ottenute utilizzando due sets di coefficienti di ripartizione dello Sr tra liquido e fasi solide selezionati in base alla letteratura esistente (BERLIN and HENDERSON, 1968; ONUMA et al., 1968; PHILPOTTS and SCHNETZLER, 1970; HART and BROOKS, 1974; SHIMIZU, 1974). Il primo set di coefficienti (curve 1: $K^{1/Ab} = 1$; $K^{1/An} = 0,5$; $K^{1/Di} = 12,8$) riflette l'assunzione che lo Sr occupi preferenzialmente posizioni del Ca^{++} nel reticolo dei plagioclas, mentre il secondo set di coefficienti (curve 2: $K^{1/Ab} = 0,5$; $K^{1/An} = 0,5$; $K^{1/Di} = 12,8$) assume una identica distribuzione dello Sr in Ab ed An. Come si può vedere in fig. 2 le due diverse assunzioni non portano a distribuzioni dello Sr

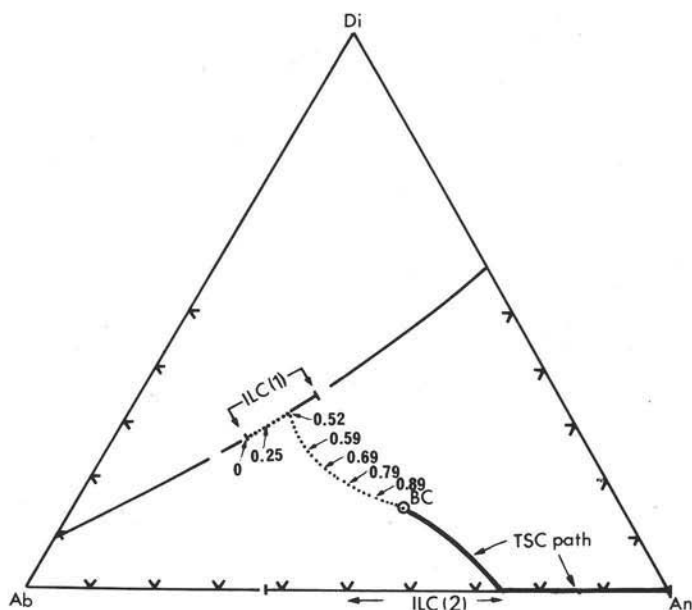


Fig. 1. — Fusione frazionata nel sistema Di - An - Ab. La composizione del solido iniziale BC è: $Di_{15}An_{51}Ab_{34}$. ILC(1) ed ILC(2) sono i cammini percorsi dai liquidi istantanei. La linea TSC è generata dalle composizioni del solido residuo ai diversi gradi di fusione frazionata. La linea punteggiata rappresenta le composizioni dei liquidi frazionalmente accumulati calcolate da MORSE (1976) utilizzando la regola della leva; tale linea coincide con quella fornita dal calcolatore sommando le composizioni dei diversi liquidi istantanei ottenuti con i due sistemi di equazioni $Z'(F)$ e $Z''(F)$ riportati nel testo. I numeri indicano gradi diversi di fusione frazionata (da MORSE, 1976; modificato).

apprezzabilmente differenti sia in liquidi istantanei che in liquidi frazionalmente accumulati. È importante osservare in figura 2 che il valore $\frac{oC^T}{C^1}$ per liquidi frazionalmente accumulati tende ad 1 per condizioni di fusione totale, ciò indica che il metodo proposto è corretto e che le equazioni utilizzate sono sufficientemente approssimate.

Applicazione all'anatessi crustale

Come è stato recentemente dimostrato da PRESNALL e BATEMAN (1973) il sistema $NaAlSi_3O_8$ (Ab) - $KAlSi_3O_8$ (Or) - $CaAl_2Si_2O_8$ (An) - SiO_2 (Q) - H_2O illustra la fusione parziale di metasedimenti a varie condizioni di pressione e temperatura, fornendo un affidabile modello per la petrogenesi dei magmi di anatessi crustale. Utilizzando dati sperimentali esistenti su questo sistema (JAMES and HAMILTON, 1969) e dati sulla anatessi degli gneiss (WINKLER and VON PLATEN, 1962; STEUHL, 1962) è quindi possibile formulare equazioni che descrivono le composizioni dei liquidi istantanei prodotti ai diversi gradi di fusione parziale di rocce della crosta continentale. Bassi gradi di fusione sia all'equilibrio che frazionata di metasedimenti

la cui composizione giace nella parte del volume di solidus Pl + Or + Q del tetraedro Ab - An - Or - Q - H₂O limitata verso il basso dalle superfici binarie Q - Pl ed Or - Pl (le comuni composizioni di gneiss cadono in questa zona del tetraedro), producono liquidi la cui composizione muove lungo la linea cotettica. Per fusioni all'equilibrio più spinte i liquidi lasciano la linea cotettica e si spostano lungo una delle due superfici binarie Q - Pl o Or - Pl.

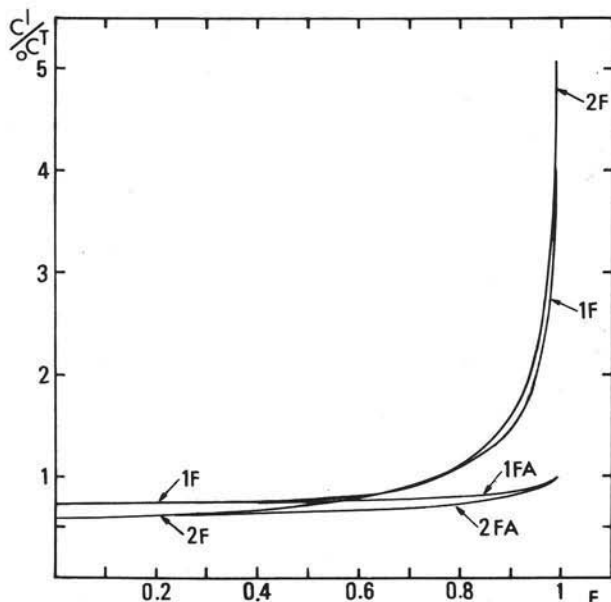


Fig. 2. — Distribuzione dello Sr durante fusione frazionata del solido BC di figura 1. Le curve F indicano concentrazioni relative dei liquidi istantanei, mentre le curve FA si riferiscono ai liquidi frazionalmente accumulati. Il prefisso 1 indica distribuzioni calcolate con $K^{1/Ab} = 1$; $K^{1/An} = 0,5$; $K^{1/Dl} = 12,8$; il prefisso 2 distribuzioni calcolate con $K^{1/Ab} = 0,5$; $K^{1/An} = 0,5$; $K^{1/Dl} = 12,8$.

Se la fusione è di tipo frazionato le composizioni dei liquidi all'interno del tetraedro si spostano soltanto sulla superficie di saturazione del quarzo e non si ha quindi produzione di liquidi sulla superficie Or - Pl ⁽³⁾.

Fig. 3 illustra il piano Ab - Q - Or del tetraedro su cui sono state riportate le proiezioni di possibili direzioni seguite dai liquidi istantanei all'interno del tetraedro Ab - An - Or - Q - H₂O. Per meglio visualizzare gli effetti del controllo petrogenetico, le proiezioni della linea cotettica determinata sperimentalmente da JAMES and HAMILTON (1969) per condizioni di P totale = P H₂O = 1 Kbar e dei cammini percorsi dai liquidi sulla superficie di saturazione del Q sono state assimilate a delle rette. Tale approssimazione, mentre è sempre valida per la linea cotettica, è però solo valida in vicinanza di tale linea per le proiezioni dei cammini

⁽³⁾ Per una discussione più rigorosa sul processo di fusione parziale di metasedimenti all'interno del tetraedro Ab - An - Or - Q - H₂O rimandiamo ai lavori di PRESNALL (1969) e PRESNALL e BATEMAN (1973).

percorsi dai liquidi istantanei sulla superficie binaria Q-Pl. A titolo di confronto abbiamo riportato sulla stessa fig. 3 le composizioni normative Ab + Q + Or di liquidi ottenuti sperimentalmente da STEUHL (1962) (asterischi in figura 3) fondendo un gneiss a biotite (P totale = P_{H_2O} = 2 Kbars). Gli asterischi indicano composizioni ottenute da Steuhl a gradi di fusione parziale del 14, 31 e 47 % rispettiva-

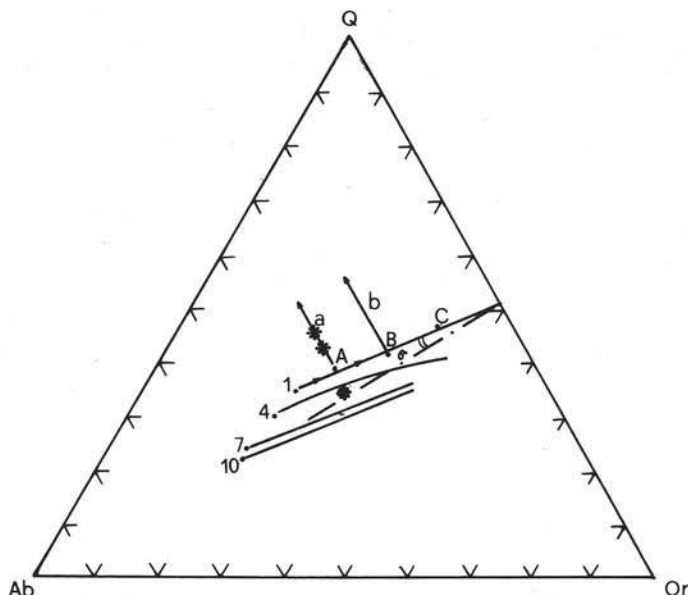


Fig. 3. — Proiezioni dell'evoluzione dei liquidi istantanei all'interno del tetraedro Ab - An - Or - Q - H_2O sul piano Ab - Q - Or. I punti A, B, C individuano la proiezione della linea cotettica per P totale = P_{H_2O} = 1 Kbar (JAMES and HAMILTON, 1969). Sono inoltre riportate le proiezioni di linee cotettiche a pressioni crescenti: P totale = P_{H_2O} = 4, 7, 10 Kbars secondo WINKLER (1974) (linee 4, 7, 10). a e b sono le proiezioni dei liquidi prodotti sulla superficie binaria Q-Pl e gli asterischi indicano composizioni di liquidi prodotti per fusione di un gneiss naturale (STEUHL, 1962). L'angolo σ formato dalla proiezione della linea cotettica con la normale al lato Q-Or è $\sigma = 8^\circ 30'$.

mente, spostandosi verso l'apice Q. L'allineamento dei punti coincide con la direzione delle proiezioni degli ipotetici percorsi dei liquidi istantanei sulla superficie Q-Pl che noi abbiamo scelto per i nostri scopi.

La proiezione delle linee cotettiche per pressioni di 4, 7 e 10 Kbars P_{H_2O} secondo Winkler (indicate in fig. 3 con i numeri 4, 7 e 10) evidenzia per il liquido di più bassa fusione ottenuto da Steuhl un contenuto anormalmente elevato in Or normativo per le condizioni di pressione a cui è stato ottenuto (P totale = P_{H_2O} = 2 Kbars); ciò potrebbe essere imputato ad una parziale partecipazione della biotite al processo di fusione.

Abbiamo preso in esame un processo di fusione frazionata operante su una crosta continentale, di composizione simile allo gneiss studiato da Steuhl, ad una pressione ambiente di P totale = P_{H_2O} = 1 Kbar, ed osservato gli effetti del controllo petrogenetico sulla distribuzione del bario. Abbiamo ammesso che i liquidi prodotti per

fusione frazionata potessero seguire diversi percorsi, per meglio evidenziare tali effetti ⁽⁴⁾ (in realtà le composizioni evolvono lungo un unico percorso dipendente dalla composizione del solido iniziale, dalle condizioni di equilibrio e dalla pressione ambiente a cui avviene il processo di fusione).

In fig. 4 sono riportati i trends di distribuzione del Ba calcolati per diverse evoluzioni dei liquidi istantanei di fusione frazionata di uno gneiss di composizione iniziale: quarzo 28 %, plagioclasio (An 29) 40 %, ortoclasio 10 % e biotite 22 % (STEUHL, 1962).

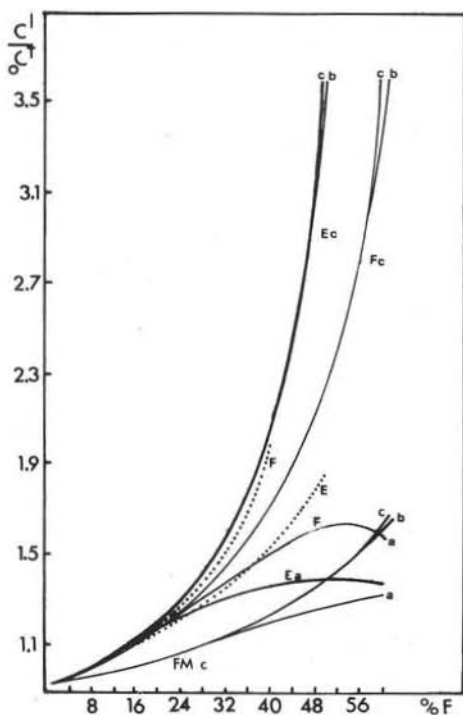


Fig. 4. — Concentrazioni relative del Ba ai diversi gradi di fusione parziale F. Le curve F si riferiscono a liquidi istantanei, FM a liquidi frazionalmente accumulati ed E a liquidi prodotti per fusione all'equilibrio. Le lettere *c*, *a* e *b* indicano distribuzioni calcolate per liquidi evolvuti sulla linea cotettica (*c*) e sulla superficie binaria Q-Pl (*a*, *b*). Le curve punteggiate rappresentano distribuzioni ottenute utilizzando il modello di SHAW (1970) (per ulteriori chiarimenti vedi il testo).

I trends sono stati ottenuti utilizzando i seguenti coefficienti di ripartizione: $K^{1/Pl} = 3,5$; $K^{1/Or} = 0,04$; $K^{1/Q} = 999$ (nel valore di ripartizione $K^{1/Q}$ è implicita l'assunzione che il quarzo non distribuisca nessuna quantità significativa di Ba durante il processo di fusione). Si è assunto che la biotite non partecipasse né al processo di fusione né alla reequilibratura delle tracce; si sono inoltre mantenuti costanti i coefficienti di ripartizione fra le differenti fasi solide ed il liquido.

In fig. 4 si osserva che l'evoluzione delle proporzioni di fusione tra fasi solide coesistenti ha degli effetti importanti sulla distribuzione del Ba, sia per liquidi istantanei (curve F) che per liquidi frazionalmente accumulati (curve FM). Appare quindi necessaria una buona conoscenza del processo di fusione se si vogliono valutare trends di distribuzione realistici.

Nel caso dello gneiss studiato i liquidi istantanei evolvono all'interno del tetraedro Ab - An - Or - Q - H₂O secondo un percorso la cui proiezione sul piano Ab - Q - Or può essere assimilata ai tratti 1A (evoluzione sulla linea cotettica)

(4) L'utilizzazione di proiezioni sul piano Ab-Q-Or dei percorsi dei liquidi istantanei evolvuti all'interno del tetraedro, provoca errori di valutazione del grado di fusione parziale, la cui grandezza dipende dall'angolazione della linea cotettica e della superficie binaria Q-Pl sul piano Ab-Q-Or. Tali errori si ripercuotono in modo pressochè analogo su tutti i trends calcolati e non hanno alcun effetto significativo sulle conclusioni raggiunte. Per limitare ulteriormente tali effetti abbiamo considerato fusioni parziali non eccedenti il 60 % della massa iniziale.

ed Aa (evoluzione sulla superficie binaria Q-Pl) (vedi fig. 3). La scelta di tale percorso porta alla valutazione della curva di distribuzione Fc-Fa per liquidi istantanei ed FMc-FMa per liquidi frazionalmente accumulati. Una evoluzione più prolungata dei liquidi istantanei sulla linea cotettica risulterebbe in trends di distribuzione diversi: ad es. Fc-Fb ed FMc-FMb per i percorsi 1B, Bb di fig. 3, ed Fc, FMc per il percorso 1C.

Nella stessa fig. 4 è stata riportata a titolo di confronto la curva di distribuzione del Ba ottenuta utilizzando il modello di fusione non-modale secondo SHAW (1970). Tale modello prevede una composizione costante del liquido di fusione parziale, ed appare evidente la sua inadeguatezza a processi di fusione in cui il controllo petrogenetico giuochi un ruolo importante nella distribuzione di un elemento in tracce. In fig. 4 vengono illustrate inoltre le curve di distribuzione relative al processo di fusione all'equilibrio. Le differenze fra i vari trends per il processo di

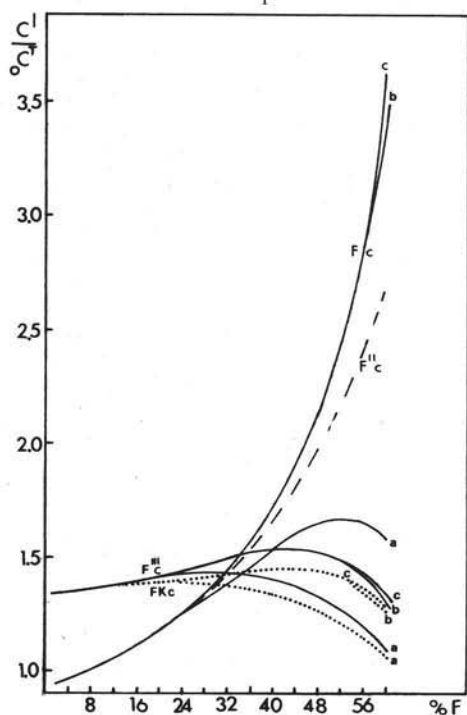


Fig. 5. — Confronto degli effetti di diversi parametri sulla distribuzione del Ba. Le curve Fc, a, b sono le stesse di figura 4. La curva a tratteggio

F''c è stata ottenuta con $\frac{\Delta P_{Ab}}{\Delta F} = 0,200$ anziché

0,285 (curve F). Le curve F'''c, a, b sono state ottenute considerando distribuzioni più omogenee del Ba tra fasi solide coesistenti. Le curve punteggiate FK c, a, b visualizzano gli effetti di variazioni dei coefficienti di distribuzione del Ba a partire dalle condizioni iniziali generatrici delle curve F''' (vedi il testo per ulteriori chiarimenti).

fusione all'equilibrio non dipendono dai percorsi seguiti ma solamente dalla composizione del liquido finale (la linea punteggiata E di fig. 4 rappresenta la distribuzione del Ba calcolata utilizzando il modello di Shaw per il liquido iniziale).

In fig. 5 vengono confrontati gli effetti di diversi coefficienti di ripartizione e/o di loro variazioni, durante il processo di fusione frazionata, con gli effetti del controllo petrogenetico.

I trends F''' di fig. 5 sono stati ottenuti ipotizzando una ripartizione più omogenea del Ba fra plagioclasti, ortoclasto e liquido ($K^{1/Pl} = 2,0$; $K^{1/Or} = 0,13$). Il confronto con i trends F (gli stessi di fig. 4), mostra che tale ripartizione più omogenea porta ad un appiattimento delle curve di distribuzione del Ba. L'applicazione di variazioni lineari conti-

nue del coefficiente $K^{1/Pl}$ ($\frac{\Delta K^{1/Pl}}{\Delta F} = 0,025$

per la linea cotettica e 0,05 per la superficie binaria Q-Pl) e del coefficiente correlato $K^{Pl/Or}$ ($K^{1/Or} = \text{costante}$) ai valori iniziali che generano i trends F, non porta a curve di distribuzione apprezzabilmente differenti. Tali variazioni dei

coefficienti di ripartizione del Ba sono quelli che ci si può aspettare dal normale aumento del tenore in An dei plagioclasti nel residuo durante il processo di fusione frazionata. Soltanto variazioni veramente notevoli di $K^{1/P1}$ ($\frac{\Delta K^{1/P1}}{\Delta F} = 0,13$

e 0,26 rispettivamente per la linea cotettica e per la superficie Q-Pl), partendo dalle condizioni iniziali generatrici dei trends F''' , portano a distribuzioni del Ba leggermente diverse (curve punteggiate FK). Abbiamo confrontato gli effetti di tali variazioni con gli effetti del controllo petrogenetico: per far ciò abbiamo considerato velocità diverse di evoluzione dei liquidi istantanei sulla curva cotettica (definiamo con velocità di evoluzione il valore $\frac{\Delta P}{\Delta F}$). Il trend Fc risultava

dall'utilizzazione di una velocità di evoluzione $\frac{\Delta P^{Ab}}{\Delta F} = 0,285$, mentre il trend $F''c$ (linea tratteggiata in figura 5) era ottenuto abbassando tale valore a 0,200.

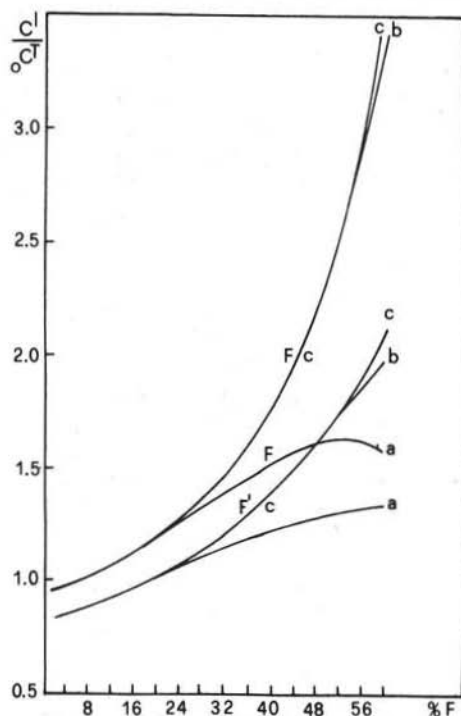


Fig. 6. — Effetti degli errori di valutazione del solido iniziale. Le curve F sono le stesse di figura 4. Le curve F' si riferiscono alla partecipazione di biotite al processo di fusione e distribuzione del Ba (vedi testo).

Dall'analisi delle varie curve di distribuzione riportate in fig. 5 appare evidente che il controllo petrogenetico e le condizioni di distribuzione nel solido iniziale (coefficienti di ripartizione iniziali) giuocano un ruolo molto più importante sulla distribuzione solido-liquido del Ba che la variazione dei coefficienti di ripartizione durante il processo di fusione.

In fig. 6 sono visualizzati gli effetti di errori di valutazione sul solido iniziale interessato a fusione parziale. Come abbiamo già menzionato i trends F sono stati calcolati considerando la biotite completamente inerte per ciò che concerne sia la fusione che la riequilibrio al livello di elementi in tracce.

I trends F' di fig. 6 sono stati ottenuti invece postulando una partecipazione attiva della biotite sia alla produzione di liquido che alla riequilibrio delle tracce. Il contributo da parte della biotite alla produzione di liquido è stato supposto nullo all'inizio del processo di fusione, e via via crescente con velocità

$\frac{\Delta P^{Bt}}{\Delta F} = 0,05$.

La presenza attiva di biotite nel solido sottoposto a fusione deprime i trends di distribuzione del Ba ($K^{Pl/Bt} = 0,16$). Ciò risulta in uno spostamento parallelo verso il basso delle curve di distribuzione, che non maschera però gli effetti del controllo petrogenetico esercitato dalle fasi rappresentate nel tetraedro Ab - An - Or - Q - H₂O.

Discussione

Appare evidente dagli esempi sopra riportati come il controllo petrogenetico possa giocare un ruolo importante sulla distribuzione di taluni elementi nel processo di fusione frazionata. Tale processo potrebbe essere determinante nella produzione di magmi anatectici.

Il modello presentato in questo lavoro suggerisce che, per valutare la distribuzione del Ba durante un processo di fusione parziale operante su uno gneiss naturale non è necessaria una perfetta conoscenza delle variazioni dei coefficienti di ripartizione di tale elemento durante tutto il processo, poichè tali variazioni non portano a differenze notevoli nelle curve di distribuzione, ma è più importante approssimare la reale evoluzione composizionale (in termini di elementi maggiori) dei liquidi istantanei. Tale approssimazione può essere ottenuta con l'aiuto di diagrammi multifase sperimentali sufficientemente rappresentativi del sistema naturale sottoposto a fusione e dei suoi prodotti liquidi. Le evidenze relative al Ba non possono tuttavia essere estese ad altri elementi per i quali gli effetti di variazione dei coefficienti di ripartizione possono essere maggiormente incidenti.

Alla luce di quanto sopra esposto, appare evidente che, allo stato attuale delle conoscenze, l'utilizzazione di dati geochimici su elementi in tracce non può assumere un ruolo guida nell'identificazione di processi di fusione localizzati nella crosta continentale, se tale ruolo si basa su una modellistica insoddisfacente e lontana dalla reale complessità dei sistemi naturali.

Ringraziamenti. — Gli Autori sono riconoscenti al dr. PRESNALL per i suggerimenti forniti in fase di stesura sulla parte riguardante l'evoluzione dei liquidi di fusione parziale nel tetraedro Ab - An - Or - Q - H₂O.

BIBLIOGRAFIA

- ALBAREDE F., BOTTINGA Y. (1972) - *Kinetic disequilibrium in trace element partitioning between phenocrysts and host lava*. Geochim. Cosmochim. Acta, 36, 141-156.
- BANNO S., MATSUI Y. (1973) - *On the formulation of partition coefficients for trace elements distribution between minerals and magma*. Chemical Geology, 11, 1-15.
- BARBERI F., INNOCENTI F., RICCI C.A. (1972) - *Il magmatismo dell'Appennino settentrionale*. Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia, XXVII.

- BERLIN R., HENDERSON C. M. B. (1968) - *A reinterpretation of Sr and Ca fractionation trends in plagioclases from basic rocks*. Earth and Planet. Sci. Letters, 4, 79-83.
- BERLIN R., HENDERSON C. M. B. (1969) - *The distribution of Sr and Ba between alkali feldspar, plagioclases and groundmass phases of porphyritic trachytes and phonolites*. Geochim. Cosmochim. Acta, 33, 247-255.
- CONSOLMAGNO G. J., DRAKE M. J. (1976) - *Equivalence of equations describing trace element distribution during equilibrium partial melting*. Geochim. Cosmochim. Acta, 40, 1421-1422.
- CULLERS R. L., MEDARIS L. G., HASKIN L. A. (1973) - *Experimental studies of the distribution of rare earths as trace elements among silicate minerals and liquids and water*. Geochim. Cosmochim. Acta, 37, 1499-1512.
- DUPUY C. (1968) - *Composition chimique des biotites de la granodiorite du Monte Capanne (Ile d'Elbe) et des ignimbrites de Toscane (Italie)*. Sciences de la Terre, 13, 3, 207-231.
- FRANZINI M., LEONI L., ORLANDI P. (1974) - *Mineralogical and geochemical study of K-feldspar megacrysts from the Elba (Italy) granodiorite*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem. 81, 356-378.
- GAST P. W. (1968) - *Trace element fractionation and the origin of tholeiitic and alkaline magma types*. Geochim. Cosmochim. Acta, 32, 1057-1086.
- HART S. R., BROOKS C. (1974) - *Clinopyroxene-matrix partitioning of K, Rb, Cs, Sr and Ba*. Geochim. Cosmochim. Acta, 38, 1799-1806.
- HEIER K. S., TAYLOR S. R. (1959) - *Distribution of Li, Na, K, Rb, Cs, Pb and Ti in southern norwegian pre-Cambrian alkali feldspars*. Geochim. Cosmochim. Acta, 15, 284-304.
- HERTOGHEM J., GIJBELS K. (1976) - *Calculation of trace element fractionation during partial melting*. Geochim. Cosmochim. Acta, 40, 313-322.
- JAMES R. S., HAMILTON D. L. (1969) - *Phase relations in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ - SiO_2 at 1 Kilobar water pressure*. Contribs. Mineral. Petrol., 21, 111-141.
- KISTLER R. W., EVERNDEN J. F., SHAW H. R. (1971) - *Sierra Nevada plutonic cycle: part. I: Origin of composite granitic batholiths*. Geol. Soc. Amer. Bull., 82, 853-868.
- LUTH W. C., JANHS R. H., TUTTLE O. F. (1964) - *The granite system at pressures of 4 to 10 Kilobars*. J. Geophys. Res., 69, 759-773.
- MARINELLI G. (1977) - *Magma evolution in Italy*. The Earth Science Society of the Libyan Arab Republic (ESSL), Tripoli, 165-220.
- MAURY R. C., BIZOUARD H. (1974) - *Melting of acid xenoliths into a basanite: an approach to possible mechanism of crustal contamination*. Contribs. Mineral. Petrol. 48, 275-286.
- MCINTIRE W. L. (1963) - *Trace elements partition coefficients - a review of theory and applications to geology*. Geochim. Cosmochim. Acta, 27, 1202-1264.
- MERRIL R. B., ROBERTSON J. K., WYLLIE P. J. (1970) - *Melting reactions in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - SiO_2 - H_2O to 20 Kilobars compared with results for other feldspar-quartz- H_2O and rock- H_2O systems*. J. Geol., 78, 558-569.
- MORSE S. A. (1976) - *The lever rule with fractional crystallization and fusion*. Amer. Jour. Sci., 276, 330-346.
- ONUMA N., HIGUCHI H., WAKITA H., NAGASAWA H. (1968) - *Trace element partition between two pyroxenes and the host lava*. Earth and Planet. Sci. Letters, 5, 47-51.
- OTTONELLO G., RANIERI G. - *Trace element distribution model with variations of partition values and melting proportions of coexisting solid phases* (in stampa).
- PHILPOTTS J. A., SCHNETZLER C. C. (1970) - *Phenocrysts-matrix partition coefficients for K, Rb, Sr, and Ba with application to anorthosite and basalt genesis*. Geochim. Cosmochim. Acta, 34, 307-322.
- PRESNALL D. C. (1969) - *The geometrical analysis of partial fusion*. Amer. J. Sci. 207, 1178-1194.
- PRESNALL D. C., BATEMAN P. C. (1973) - *Fusion relations in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ - KAlSi_3O_8 - SiO_2 - H_2O and generation of granitic magmas in the Sierra Nevada Batholith*. Geol. Soc. Amer. Bull., 84, 3181-3202.
- SHAW D. M. (1970) - *Trace element fractionation during anatexis*. Geochim. Cosmochim. Acta, 34, 237-243.

- SHIMIZU N. (1974) - *An experimental study of the partitioning of K, Rb, Sr, Cs and Ba between clinopyroxene and liquid at high pressure.* Geochim. Cosmochim. Acta, 38, 1789-1798.
- STEUHL H. H. (1962) - *Die experimentelle metamorphose und anatexis eines parabiolit gneises aus dem Schwarzwald.* Chem. Erde, 21, 413-449.
- SUN C. O., WILLIAMS R. J., SUN S. S. (1974) - *Distribution coefficients of Eu and Sr for plagioclase-liquid and clinopyroxene-liquid equilibria in oceanic ridge basalt: an experimental study.* Geochim. Cosmochim. Acta, 38, 1415-1433.
- TAYLOR S. R., EWART A., CAPP A. C. (1968) - *Leucogranites and rhyolites: trace element evidences for fractional crystallization and partial melting.* Lithos, 1, 179-186.
- TAYLOR S. R., HEIER K. S. (1958) - *Alkali elements in potash feldspar from the pre-Cambrian of southern Norway.* Geochim. Cosmochim. Acta, 13, 293-302.
- WINKLER H. G. F., VON PLATEN H. (1960) - *Experimentelle gesteinsmetamorphose - III: anatektische ultrametamorphose Kalkaltinger tone.* Geochim. Cosmochim. Acta, 18, 294-316.
- WINKLER H. G. F. (1974) - *Petrogenesis of metamorphic rocks.* Edgar Froese. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.