

DAL PIAZ G. B.

**Il problema dell'origine dei magmi.  
Rapporti fra cicli magmatici e cicli orogenetici.**

(A proposito di una recente pubblicazione di H. STILLE).

Il prof. Hans Stille ha pubblicato ultimamente un interessantissimo studio sull'origine dei magmi, nel quale i dati che oggi si possiedono sull'importante argomento vengono inquadrati in un sistema organico, informato alle vedute personali dell'Autore (1). Nelle pagine seguenti darò un largo riassunto del lavoro di Stille, insistendo su quelle parti che presentano maggior importanza per la geologia dell'Italia e del suo Impero, aggiungendo tratto tratto qualche mia osservazione personale, sia per citare degli esempi a me particolarmente famigliari e sia per avvertire quando le mie idee non si accordano con quelle dell'illustre Collega berlinese.

È noto da molto tempo che esistono stretti rapporti fra il tipo dei magmi e le condizioni geologiche in cui essi hanno esplicato la loro attività e si sono quindi consolidati. Sotto questo riguardo si può affermare che esistono determinate « facies » magmatiche (come le chiama Stille) subordinate a determinate situazioni tettoniche. Così, per esempio, già da qualche decennio si sono distinti magmi pacifici e magmi atlantici, i primi legati alle zone in via di ripiegamento, i secondi rappresentati invece nelle aree ormai consolidate e capaci solo di fratturarsi.

Secondo Stille (1938), esistono nella litosfera tre tipi fondamentali di strutture. Due di essi rappresentano i cosiddetti *cratoni*, cioè delle zone stabili e rigide, non più ripiega-

(1) STILLE H., *Zur Frage der Herkunft der Magmen*. « Abhandl. der Preussisch. Akademie der Wissensch. », Jahrgang 1939, Math.-naturwiss. Klasse n. 19, Berlin, 1940.

bili intensamente, mentre il terzo tipo comprende le geosinclinali *s. s.* ancora ripiegabili (ortogeosinclinali). I cratoni si distinguono poi in *continentali* (Hochkratone) e oceanici (Tiefkratone), i primi corrispondenti ai vasti blocchi continentali, i secondi ai grandi fondi marini. Questi ultimi sarebbero così rigidi da poter opporre alla pressione orogenetica la stessa resistenza offerta dalle moli continentali. Naturalmente una simile concezione si basa sull'ipotesi della relativa autoctonia dei blocchi sialici, che lo Stille ha sempre sostenuto al pari di altri illustri Maestri. Si comprende che le cose cambierebbero in misura notevole se invece ci attenessimo alla teoria della deriva continentale di Wegener o, comunque, a una concezione mobilistica analoga.

Le geosinclinali sono legate ai margini dei cratoni continentali. A giudizio di Stille, la nota situazione intercontinentale delle geosinclinali eurasiatiche e delle catene che ne sono derivate rappresenta soltanto un caso particolare, dato dall'unione di due geosinclinali marginali fiancheggianti dei cratoni continentali avvicinatasi fra di loro. A me sembra che in questo punto lo Stille vada un po' troppo oltre e in ogni caso la sua originale concezione è in aperto contrasto con le idee oggi prevalenti sull'argomento.

Le zone mobili della nostra terra si sono sempre più ridotte nel corso dei cicli geotettonici, inquantochè ogni fase orogenetica trasforma una preesistente geosinclinale in una massa consolidata, che si aggiunge ai rigidi blocchi cratonici già esistenti. Secondo Stille questa cratonizzazione della litosfera non sarebbe compensata neppur lontanamente dalla successiva mobilitazione di zone che in precedenza si trovavano allo stato cratonico. La nostra terra diventerebbe così sempre più rigida, essa invecchierebbe; la possibilità di ripiegarsi della litosfera continuerebbe a diminuire, via via sostituita dalla proprietà di fratturarsi.

Io credo che lo Stille, al pari di tanti altri Autori, esageri l'importanza del progressivo irrigidimento (o cratonizzazione) della crosta terrestre. Senza dubbio la regione alpina si trovò in condizioni cratoniche alla fine del ciclo orogenetico ercinico, ma essa venne di nuovo mobilitata al massimo grado nel Mesozoico, tanto da poter dar luogo a una gran-

diosa geosinclinale e successivamente alla catena alpina. Nè servirebbe il sostenere che si tratta di un caso eccezionale, perchè quanto ho detto per il corrugamento alpino si potrebbe ripetere a proposito dei cicli orogenetici più antichi che hanno colpito lo stesso settore alpino e applicarlo altresì a numerose altre regioni. Nè il grado di flessibilità della crosta terrestre sembra essere notevolmente diminuito nel corso dei tempi geologici; basterà ricordare in proposito l'estrema intensità di ripiegamento raggiunta dalla zona pennidica, che ha ben poco da invidiare a quella che si osserva nelle catene prepaleozoiche della Finlandia. Più che di una reale diminuzione nell'intensità del ripiegamento, ed anche nell'attività del plutonismo sialico, a me pare sia questione di modalità del fenomeno orogenetico e di profondità a cui si sono spinti i processi erosivi, i quali ultimi hanno senza dubbio intaccato molto più profondamente le antiche catene che non quelle più recenti. In conclusione, non sappiamo se la terra invecchi oppure no; mi sembra però un dato di fatto incontrovertibile, risultante dai fenomeni tettonici, magmatici e purtroppo anche sismici, che la terra sia tuttora molto giovane e piena di vita!

I cratoni continentali sono costituiti in grandissima prevalenza da masse acide, sialiche, leggere, e perciò emergono (onde il nome: Hochkratone!); nelle aree oceaniche predominano invece le rocce basiche, simiche pesanti, ragione per la quale questi cratoni sono profondi (Tiefkratone!). Le manifestazioni orogenetiche dei cratoni sono tuttalpiù di stile germanico, mentre invece nelle geosinclinale si produce di solito l'orogenesi di tipo alpino.

Per quanto si sa, sembra che almeno nei tempi post-algonchiani i magmi sialici siano più limitati di quelli simici, non soltanto nei loro rapporti spaziali ma anche nelle loro rappresentanze cronologiche. La riduzione spaziale del magmatismo sialico si è manifestata in proporzione crescente nel corso dello sviluppo tettonico della nostra terra. Si parla infatti di una certa «ubiquità» del cristallino antico prepaleozoico, nel quale sono intruse enormi masse granitiche. Secondo Daly (1914), circa i nove decimi di tutti i graniti affioranti sulla terra sono di età precambriana e questa pro-

porzione aumenterebbe ancora se si potesse tener conto di tutti i vecchi graniti sepolti sotto sedimenti più recenti. Il plutonismo sialico varisico è ancora largamente rappresentato nell'Eurasia, mentre invece i graniti del ciclo magmatico alpino sono molto più limitati. Questo è vero, almeno per quanto riguarda l'Eurasia, ma ci si può sempre domandare se la minore estensione superficiale dei graniti recenti in confronto a quelli del Paleozoico superiore non sia dovuta al fatto che le catene alpidiche sono state intaccate dall'erosione in grado molto minore delle catene erciniche. E in proposito torna acconcio ricordare come oggidi si ammetta l'esistenza di un enorme batolite terziario, nascosto nelle profondità inaccessibili della catena alpina ma chiaramente manifesto per tanti segni (Dal Piaz, 1934).

Lo Stille crede che si avrebbe avuto una progressiva sostituzione del magmatismo sialico con quello simico, anche nelle zone che avevano rappresentato fin negli ultimi tempi dei veri e propri rifugi del plutonismo acido.

La condizione cratonica della crosta terrestre è generalmente caratterizzata da magmatismo basaltico. Ciò vale tanto per i cratoni continentali quanto per quelli oceanici.

Magni femici e in parte ultrafemici caratterizzano anche la condizione di geosinclinale. Essi rappresentano l'inizio di un ciclo magmatico, allo stesso modo che la geosinclinale rappresenta l'inizio di un grande ciclo orogenetico. In questo senso lo Stille ha proposto per il magmatismo di geosinclinale il termine di *iniziale*, rispetto al quale il termine « ofiolitico » ha un significato più restrittivo, inquantochè fra le rocce eruttive delle geosinclinali si trovano talora dei termini a composizione intermedia e persino acida.

Il magmatismo iniziale è essenzialmente estrusivo e perciò molto spesso sottomarino. Tuttavia esso può essere rappresentato in larga e talora dominante proporzione da forme intrusive, come filoni-strato e piccoli massicci. Quale esempio classico di magmatismo iniziale credo opportuno ricordare l'intensa attività plutonica e vulcanica che ha caratterizzato le prime fasi della formazione delle Alpi. Nel Trias medio abbiamo il magmatismo basico (melafiri, porfiriti) delle Dolomiti con vasti espandimenti lavici, ma anche con dicchi,

filoni e persino laccoliti; siamo agli albori del ciclo orogenetico alpino. Successivamente, in rapporto con le fasi tettoniche embrionali del tardo Mesozoico, ha luogo la grande eruzione ofiolitica della zona pennidica, per la massima parte a carattere intrusivo, la quale è seguita nel Paleogene da un grandioso risveglio del vulcanismo basaltico nella zona Berico-Lessinea e nel Trentino meridionale, che precede immediatamente e in parte accompagna i grandi parossismi del corrugamento alpino.

Mentre le masse simiche sono legate da un lato alle condizioni cratoniche e dall'altro alle condizioni geosinclinali della crosta terrestre, il magmatismo sialico si esplica durante e dopo l'orogenesi, ossia nel periodo di passaggio dallo stato di geosinclinale a quello di cratone. Esso si manifesta per così dire improvvisamente dopo il magmatismo simico dello stadio geosinclinale. La sua durata è relativamente breve in confronto alle manifestazioni del magmatismo iniziale, come relativamente brevi sono i parossismi orogenetici a cui è subordinato in confronto alle fasi orogenetiche embrionali durante le quali si verifica il magmatismo iniziale.

Gli stretti legami cronologici fra plutonismo e orogenesi hanno la loro ragione profonda nel fatto che soltanto i fenomeni tettonici possono aprire le vie all'intrusione dei magmi. Il vulcanismo estrusivo fa generalmente difetto alle zone di ripiegamento perchè la compressione delle masse rocciose non permette che si formino tanto facilmente le necessarie vie di adduzione fino alla superficie terrestre.

Il plutonismo *sinorogeno* (sintettonico o sincinematico) si distingue in « altorogeno » e in « tardorogeno ». Al primo corrispondono le rocce intrusive a tessitura parallela primaria, fluidale, come quelle ben note dei massicci alpini recenti di Val Masino-Bassetta, dell'Adamello, di M. Croce-Ivigna-Bressanone, di Eisenkappel ecc. Parlare di strutture « gneissiche » per queste rocce sarebbe erroneo, come Bianchi ed io abbiamo già avvertito nella nostra Monografia geologico-petrografica sull'Alto Adige Orientale.

A questo punto lo Stille fa alcune interessanti considerazioni sulla genesi dei magmi granitici e sui rapporti fra il magmatismo sialico e l'orogenesi. Tra l'altro egli ricorda le

ipotesi secondo le quali o per lo sprofondamento isostatico determinato da sovraccarico tettonico, o per il calore emesso nel corso dei fenomeni orogenetici o per altre cause, grandi masse rocciose si sarebbero fuse in profondità dando luogo ai magmi acidi di anatessi. Ma giustamente lo Stille osserva che nelle Montagne Rocciose nord-amicane una serie di terreni di geosinclinale, potente ben 20 e più chilometri, non mostra alla sua base nessun sensibile mutamento nel senso di una trasformazione verso lo stato magmatico (e neppure, aggiungerò io, nessuna traccia sensibile di metamorfismo, come ho già avuto occasione di ricordare nel mio lavoro sulla discordanza ercinica). Bisognerebbe quindi ammettere in ogni caso degli sprofondamenti ancora maggiori.

Al plutonismo sialico sinorogeno può succedere un periodo più o meno lungo di quiete, dopo il quale riprende il magmatismo acido, ma questa volta però in forma effusiva.

È questo il magmatismo *sussequente* di Stille. Tale termine, nell'intenzione del suo Autore, vuole solo esprimere i rapporti cronologici del vulcanismo sialico post-orogenetico rispetto al plutonismo sialico sintettonico. Probabilmente però fra le due specie di magmatismo sialico esistono in moltissimi casi anche dei rapporti genetici, come è dimostrato dalla consanguineità chimica fra le plutoniti sinorogene e le vulcaniti che le hanno seguite. Così lo Stille fa presente che dopo le granodioriti, le tonaliti e le dioriti quarzifere, tanto diffuse nelle zone di corrugamento, emergono di solito le corrispondenti andesiti e daciti. Noi aggiungeremo che nelle Alpi le prime rocce trovano ampio riscontro nei massicci terziari dell'arco intrusivo periadriatico, mentre le seconde sono largamente rappresentate nei più recenti vulcani dell'estremità orientale della catena. E, per rimanere nell'ambito delle Alpi, non si può negare che le lipariti, le trachiti e gli altri tipi più o meno acidi degli Euganei non trovino i loro equivalenti intrusivi nei plutoni alpini recenti, ove sono noti tanto graniti normali quanto forme diverse a tendenza alcalina. Risalendo a cicli più antichi, si possono ricordare i porfidi permiani delle Prealpi piemontesi, che rappresentano verosimilmente le manifestazioni effusive di quello

stesso magma che ha dato origine ai graniti ercinici della zona insubrica (Baveno, Valsesia, Biellese).

Nell'Europa centrale extralpina, l'ultimo magmatismo sialico appartiene al ciclo ercinico. Esso si è manifestato in più fasi, delle quali la principale è la sudetica (fra Carbonifero inferiore e superiore). Ad esso corrispondono nelle Alpi Meridionali i già citati porfidi permiani del Biellese, e quelli coevi del Varesotto, delle Orobie e soprattutto della Venezia Tridentina, che si sono succeduti in varie colate, spesso a composizione chimica diversa, nel qual caso le effusioni più antiche sono meno acide di quelle successive e talvolta persino francamente basiche.

Il vulcanismo estrusivo ha raggiunto l'apogeo della sua attività nel Permiano e soprattutto nel Terziario.

Il vulcanismo basaltico delle regioni che si trovano completamente allo stato cratonico rappresenta, dal punto di vista magmatologico, lo stadio terminale a cui tende l'evoluzione geotettonica, e perciò sotto questo riguardo deve essere distinto con il nome di *finale*. Vediamo così che il magmatismo iniziale e quello finale sono quasi dello stesso tipo, mentre fra loro si intercala un intermezzo sialico, che comprende il magmatismo orogeno e susseguente. Nei cratoni oceanici il magmatismo è sin dall'inizio di tipo finale.

La sostituzione del magmatismo sialico susseguente mediante il magmatismo finale di tipo quasi esclusivamente simico sembra rivelare dei mutamenti notevoli nelle condizioni subcrostali e profonde della litosfera. Si comprende anche perchè troviamo il magmatismo finale rappresentato soltanto da forme estrusive. Infatti nelle dislocazioni di tipo germanico dei territori compiutamente cratonici non si offrono possibilità per la presa di posizione intracrostale dei magmi salienti.

Al vulcanismo finale appartengono, oltre alle rocce basiche enormemente predominanti, anche forme acide (rioliti, trachiti, fonoliti), che vengono considerate come frazioni residue dei magmi simici profondi. Secondo il mio parere, si devono fare in proposito le dovute riserve ed eccezioni, almeno per quanto riguarda le trachiti, le rioliti ecc. degli Euganei, che

potrebbero appartenere al magmatismo sialico susseguente, come si è prospettato in precedenza.

Per quanto grandi possano essere le masse basiche eruttate nello stadio iniziale, pure esse sono enormemente superate dalle quantità di lava riversate durante il vulcanismo finale sui cratoni continentali e oceanici. Nelle aree continentali vi appartengono i cosiddetti *basalti di altipiano* (Plateaubasalte, A. Geikié). Nel 1937 Tyrrel ha proposto di sostituire questo termine con quello di «Flood-Basalts» (Flut-Basalte), che risveglia subito l'idea di masse laviche traboccanti da fratture e sistemi di fratture ed estese enormemente in senso laterale, in modo da ricoprire vasti spazi continentali. Nella zona del Lago Superiore i basalti della formazione precambriana di Keweenaw dovevano misurare all'incirca 100.000 chilometri cubi. Nel Brasile, i basalti effusi verso la fine del Trias e all'inizio del Giurese nella regione del Paranà si estendono per oltre 750.000 Km<sup>2</sup>, secondo altri calcoli addirittura per oltre un milione di Km<sup>2</sup>. Pressappoco coeve sono le masse trappiche del Karroo e delle zone circostanti dell'Africa meridionale, che occupano una superficie di oltre 50.000 Km<sup>2</sup>. I famosi trapps del Dekkan indiano, che appartengono al limite fra Cretaceo e Terziario, devono ricoprire un'area di 650.000 Km<sup>2</sup>. Ma se si pensa all'enorme potenza (circa 3000 metri) che essi raggiungono presso Bombay e in altri punti della costa, si è indotti a concludere con Tyrrel che la loro estensione totale, compresa la parte sommersa sotto le acque dell'Oceano Indiano, potrebbe raggiungere l'ordine di grandezza di un milione di Km<sup>2</sup>. Finalmente le colate basaltiche della regione nordatlantica della Tule (Groenlandia, Islanda, Faröer, Ebridi, Scozia settentrionale, Irlanda settentrionale, Spitzberg e Arcipelago Francesco Giuseppe), interrotte da strati sedimentari di età eocenica, rappresentano i frammenti di una smisurata piastra effusiva, sprofondata in parte nell'Oceano, che doveva presentare un'estensione complessiva di circa due milioni e mezzo di Km<sup>2</sup>.

Questi basalti di altipiano (Plateaubasalte) vengono considerati al giorno d'oggi come magmi primari, che attingono direttamente alla zona sismica e che raggiungono la superficie



terrestre con tanta rapidità da non aver il tempo di differenziarsi. Tuttavia piccole quantità di magmi effusivi trachitici e fonolitici possono essere considerati come prodotti di differenziazione di basalti.

Oltre alle piastre basaltiche continentali si hanno pure delle masse basaltiche spaventosamente estese sul fondo degli Oceani.

Lo Stille passa poi ad affrontare i difficili e complessi problemi della granitizzazione e della migmatizzazione.

Col termine di *migmatizzazione* si intende il fenomeno della trasformazione delle rocce più diverse sotto l'influenza di soluzioni o fusi caldi salienti. La parola *migmatite* (= roccia mista) venne creata da Sederholm e in origine fu attribuita a una mescolanza di materiale più antico e di sostanza eruttiva aggiuntasi successivamente, cioè a una roccia sul tipo degli «gneiss d'iniezione». Poi il significato del termine si è ampliato. Le migmatiti hanno in massima parte composizione granitica, cosicchè i concetti di *migmatizzazione* e di *granitizzazione* si coprono largamente. Mentre Wegmann restringe il termine di migmatiti a rocce miste, che di solito non sono mai state completamente allo stato di magma senza struttura, altri autori invece vanno assai più lontano, tanto da considerare ogni magma paligenetico come *migma* o almeno come di origine migmatica. Così fanno, per esempio, Cloos e Rittmann (Migmi = magmi paligenetici).

Secondo Rittmann, la migmatizzazione potrebbe anche rappresentare solo il primo atto del plutonismo sialico, dopodichè il materiale così mobilizzato sotto l'influenza di particolari condizioni tettoniche potrebbe dar luogo a vere e proprie intrusioni e eccezionalmente a estrusioni. Indizi di una simile genesi si riconoscerebbero nei giganteschi plutoni delle Ande e delle Cordigliere nord-americane. Si avrebbe quindi nella formazione dei graniti per via migmatica tanto granitizzazione *in situ* senza fusione, quanto consolidamento di migmi paligenetici *in situ* o dopo l'intrusione.

In conclusione, esistono due tipi fondamentali di magmi sialici a seconda della loro origine.

Il primo gruppo abbraccia le soluzioni sialiche *ipogene*, cioè i diretti prodotti della differenziazione di un magma

primario basaltico o anche peridotitico, dal quale secondo Bowen (1928) e altri Autori si può far derivare l'intero complesso delle nostre rocce eruttive attraverso una cristallizzazione frazionata. Molti indizi lasciano ritenere che i magmi sialici ipogeni abbiano avuto un'importanza grandissima specialmente nei più antichi tempi della storia della Terra. Come esempi si possono citare i modesti plutoni dei territori cratogeni, i vulcano-plutoni che si distinguono per lo più nettamente dai graniti delle zone orogenetiche, spesso a motivo della loro maggiore alcalinità.

Abbiamo poi i magmi *litogeni*, che derivano per fusione (o risoluzione) di parti sialiche della litosfera, talora anche con apporto di materia dal basso. A questi magmi litogeni va attribuita la massima parte dei graniti saliti e consolidatisi nelle ere orogenetiche recenti. Come litogeni vanno considerati inoltre i graniti migmatitici in senso stretto. Anche il vulcanismo sialico susseguente potrebbe essere in parte di origine litogena. In tal modo il magmatismo sialico, almeno nelle ultime ere, sarebbe stato in grandissima prevalenza litogeno.

Il magmatismo simico ha avuto invece un'origine ipogena. Nel massimo numero dei casi si è anzi verificato il consolidamento di un magma profondo appena variato.

Al gruppo verosimilmente ristretto delle magmatiti simiche litogene appartengono rocce basiche profonde, che in generale debbono essere considerate come prodotti precoci di differenziazione di magmi litogeni a carattere prevalentemente acido. Noto è l'esempio del gabbro del massiccio del Brocken appartenente al magmatismo varisico tedesco. Noi potremmo aggiungere le limitate ma frequenti masserelle gabbriche che si incontrano nei massicci terziari delle Alpi (Bregaglia, Adamello, Bressanone ecc.), dato però che questi plutoni siano realmente di origine litoide.

Riassumendo, nel corso dell'attività magmatica normale delle zone orogenetiche si susseguono gli stadi:

1° iniziale; 2° sinorogeno; 3° susséguente; 4° finale.

Lo stesso Stille ammette che esistano delle deviazioni anche notevoli rispetto all'andamento da lui considerato come normale, nel senso che il vulcanismo susseguente può mancare (Appalachi) o che il plutonismo sinorogeno può verificarsi

più volte nel corso di un'era (e qui l'Autore cita alcuni esempi tratti dall'Europa centrale ercinica, nonchè dalle più recenti zone di corrugamento delle Antille e delle Cordigliere nord-americane). Malgrado ciò, si deve riconoscere che nell'insieme lo schema di Stille esprime assai bene la successione cronologica e spaziale dell'attività magmatica sia plutonica e sia vulcanica in rapporto con i fenomeni orogenetici, rappresentando così un'ottima base per proficue discussioni e un punto di partenza per ulteriori ricerche.

*Istituto di Geologia della R. Università.  
Torino, 2 maggio 1940—XVIII.*

FORNASERI M.

### Berthierite nella miniera Marchi di Ravi (Gavorrano).

Il prof. F. Millosevich mi ha incaricato dello studio di alcuni campioni di minerale di antimonio provenienti dalla miniera Marchi di Ravi (Gavorrano).

L'analisi quantitativa ha messo in evidenza nel minerale in istudio quantità di Fe, Sb, S, corrispondenti alla composizione della berthierite  $\text{FeS.Sb}_2\text{S}_3$ .

La berthierite si presenta in aggregati a struttura radiata, formati da un minutissimo feltro di finissimi aghi, di colore grigio piombo, a lucentezza metallica, con riflessi azzurrognoli, talvolta iridescenti.

Riservandomi di precisarne le condizioni di giacitura e di studiarne la paragenesi dopo una visita in posto, mi limito per ora ad anticipare i dati dell'analisi della berthierite:

|                 | trovato | calcolato per $\text{FeSb}_2\text{S}_4$ |
|-----------------|---------|---|
| Sb . . . . .    | 56,50   | 56,55                                   |
| Fe . . . . .    | 12,85   | 13,21                                   |
| Mn . . . . .    | 0,22    | —                                       |
| Zn . . . . .    | 0,28    | —                                       |
| S . . . . .     | 29,70   | 30,24                                   |
|                 | <hr/>   | <hr/>                                   |
| Somma . . . . . | 99,55   | 100,00                                  |