

ING. S. FRANCHI

CONTRIBUZIONE ALLO STUDIO DELLE ROCCIE A GLAUCOFANE

E

DEL METAMORFISMO ONDE EBBERO ORIGINE

NELLA REGIONE LIGURE-ALPINA OCCIDENTALE



ROMA

TIPOGRAFIA NAZIONALE DI G. BERTERO E C.

VIA UMBRIA

—
1903

(Estratto dal *Bollettino del R. Comitato Geologico*, anno 1902, n. 4).

Ing. S. FRANCHI

CONTRIBUZIONE ALLO STUDIO DELLE ROCCIE A GLAUCOFANE

E

DEL METAMORFISMO ONDE EBBERO ORIGINE

NELLA REGIONE LIGURE-ALPINA OCCIDENTALE.

(Con due tavole in fototipia)

Sommario: Risultati ottenuti dallo studio di rocce alpine italiane (p. 3). — Esame di alcuni lavori recenti sulle rocce a glaucofane (p. 8) — Descrizione di alcuni tipi di rocce italiane (p. 18). — *Diaspri a radiolarie e quarziti con glaucofane e crocidolite.* — *Micascisti e filladi con glaucofane.* — *Calcescisti e calcari a glaucofane.* — *Porfrite diabasica di Comba Grande in Valle Grana, completamente metamorfosata in anfibolite sodica.* — *Varioliti metamorfosate parte in prasinite (variole) e parte in anfibolite sodica (magma vetroso).* — *Anfibolite biotitica e zoisitica con glaucofane, calcite e albite.* — *Porfrite diabasica metamorfosata in prasinite (erratica presso Collegno).* — *Prasinite micromera massiccia (Piccolo S. Bernardo).* — *Prasinite zonata di Trana.* — *Prasinite cloritica presso Campo Ligure.* — *Diorite gneissica metamorfosata in prasinite.* — Discussione delle analisi chimiche (p. 37) — *Tabella di otto analisi.* — Considerazioni sulla natura del metamorfismo al quale sono dovute le rocce metamorfiche ora descritte (p. 43). — *Necessaria presenza dell'acqua.* — *Non trattasi di dinamometamorfismo.* — *Inaccettabilità della teoria di P. Termier per infiltrazione di vapori.* — *Metamorfismo regionale.* — Come dalla metamorfosi delle diabasi si possano avere prasiniti od anfiboliti sodiche (p. 60).

Risultati ottenuti dallo studio di rocce alpine italiane.

Appena incominciato nel 1883 il rilevamento geologico in grande scala nelle Alpi occidentali, si riconobbe il grande sviluppo che vi avevano le eufotidi più o meno profondamente metamorfosate nella valle del Sangone e nella parte inferiore della Dora Riparia, alle quali corrispondevano, come forme metamorfiche di un altro importante gruppo di rocce le enormi masse serpentinosi che in quelle valli, e specialmente verso il lembo meridionale della catena alpina, si sviluppano tra la valle del Sangone e quella della Stura di Lanzo.

Lo scrivente, occupato in seguito per parecchi anni nello studio dei terreni stratificati e cristallini delle Alpi Marittime e dell'Appennino Ligure, non riprese che nel 1894 il rilevamento nei terreni della zona delle pietre verdi delle Alpi Cozie, nella parte che sta a sud della valle Varaita, mentre alcuni colleghi compivano il rilevamento delle valli di Lanzo e della valle dell'Orco, che avevano intrapreso nel 1892. Intanto essi avevano notato in quelle regioni i passaggi di eufotidi a rocce anfiboliche e micacee notate prima più a sud, e svariatissimi tipi di rocce a glaucofane, delle quali, in un colle altre numerose forme litologiche costituenti la suddetta zona, i colleghi davano le prime notizie nelle relazioni sui rilevamenti del 1893 pubblicate nel Bollettino del 1894.

In questo ultimo anno, ordinato il materiale raccolto nelle diverse regioni da alcuni suoi colleghi e da chi scrive, si poté tentare un primo saggio di nomenclatura e di classificazione delle rocce verdi ¹ e si fu pure in grado di recare un contributo non privo di importanza allo studio della genesi dei principali e più diffusi tipi di rocce verdi delle Alpi occidentali: specialmente le piccole masse di eufotidi e di diabasi metamorfosate delle valli Maira, Grana e Valloriate furono quelle che fornirono il materiale meglio atto a provare in modo irrefragabile quello che si era già maturato in convinzione profonda dalle precedenti osservazioni nelle valli Sangone e Dora Riparia e in alcuni punti dell'Appennino ligure, la provenienza cioè di molte delle nostre rocce anfiboliche dalla metamorfosi delle rocce eufotidiche e diabasiche e dai loro materiali tufacei.

Di questo fatto che segnava un reale progresso nelle nostre conoscenze sulla genesi di enormi masse rocciose estese e sviluppatissime nelle Alpi occidentali veniva data la dimostrazione nel mio lavoro: *Notizie sopra alcune metamorfosi di eufotidi e diabasi nelle Alpi occidentali* ².

¹ V. NOVARESE, *Nomenclatura e sistematica delle rocce verdi nelle Alpi occidentali* (Boll. R. Com. geol., anno 1895, p. 164).

² Boll. R. Com. geol., *ibidem*, p. 181.

I risultati di quello studio furono essenzialmente i seguenti:

1° Fu messo fuori dubbio che delle masse di eufotidi presentano delle metamorfosi nelle quali i loro costituenti mineralogici primitivi scompaiono anche completamente. La struttura da massiccia può diventare scistosa o tabulare, quantunque ciò non sia necessario per la suddetta metamorfosi completa in *prasiniti*, il più soventi *zoisitiche* ed in altre con più o meno abbondante mica bianca, costituendo talora speciali micascisti epidotico-anfibolici.

2° Per le rocce diabasiche, comprendenti tipi granulari, tipi a struttura oftica, porfirica e variolitica, venne pure dimostrata la metamorfosi parziale o totale dei loro elementi colla produzione di due diversi tipi di rocce metamorfiche, le *prasiniti* e le *anfiboliti ad anfibolo sodico* dette per brevità *anfiboliti sodiche*. E di ciascuno di quei tipi di rocce si descrisse qualche campione e lo sviluppo dei processi metamorfici, seguiti nelle loro diverse fasi. Fu in queste rocce diabasiche metamorfosate che venne segnalato fin da allora un minerale nuovo del quale si diedero alcuni caratteri (l. c., nota a p 190), che si affermò *tenere nella costituzione di quelle rocce il posto degli epidoti ai quali sembrava sostituirsi*, e che dopo poté essere determinato come *lawsonite*, dimostrando giustissimo quel concetto.

3° Non di ciò soddisfatto chi scrive prese a studiare due masse una di *prasinite* e l'altra di *anfibolite sodica* di regioni dove non havvi traccia di rocce massiccie eufotidiche o diabasiche, ne constatò l'identica costituzione mineralogica e struttura paragonandole a quelle associate colle rocce massiccie, e ne diede le analisi chimiche eseguite dietro sua preghiera dall'ing. G. Aichino. I risultati di queste analisi mostrarono che quelle rocce di costituzione mineralogica tanto diversa hanno costituzioni chimiche molto prossime fra loro, e corrispondenti a quelle di molti magma diabasici e gabbroidi.

Così era dimostrato parmi in modo completo ed esauriente che tanto le *prasiniti* quanto le *anfiboliti sodiche* potevano provenire dalla metamorfosi di eufotidi e diabasi, non solo, ma anche dai depositi dei loro materiali tufacei; e la dimostrazione non poteva essere più fon-

data avendovi concorso anzitutto lo studio sul terreno di numerose masse rocciose, lo studio petrografico di un ricco ed abbondantissimo materiale raccolto in regioni e masse diverse di molti punti delle Alpi occidentali e dell'Appennino ligure, ed infine il soccorso delle analisi chimiche.

Noi avevamo avuto adunque una dimostrazione tanto completa quanto noi stessi eravamo lontani dallo sperare, sicchè le presunzioni sulla origine di quelle rocce che tengono un posto così importante nella costituzione di quelle regioni montuose, presero forma di profonda e ben fondata convinzione.

Anche nelle Relazioni sui rilevamenti dell'anno 1894 i miei colleghi diedero elenchi e descrizioni petrografiche di numerosissimi tipi di rocce a glaucofane delle Alpi Cozie ¹, ed hanno assai chiaramente espresso il concetto che quelle fra le rocce a glaucofane che non derivano da rocce massicce sono derivate per metamorfosi di sedimenti, nella cui costituzione possono entrare in maggiore o minore quantità dei materiali tufacei delle rocce massicce stesse. Specialmente la presenza di numerose lenti di prasiniti e di micascisti calciferi, di calcescisti e di calcefiri contenenti glaucofane come elemento costituente, non poteva a meno di suggerirci una tale origine mista.

La metamorfosi di rocce diabasiche nei due tipi rocciosi cennati precedentemente venne in seguito provata per alcune altre masse della Liguria e per altre di Capo Argentario e delle isole toscane ². Queste rocce presentarono pure abbondante il minerale che fu riconosciuto di poi come lawsonite, del quale vennero dati fin d'allora i principali caratteri cristallografici ed ottici. L'identità di questo colla

¹ V. NOVARESE, *Sul rilevamento geologico eseguito nel 1894 in valle della Germanasca (Alpi Cozie)* (Boll. R. Com. geol., anno 1895, p. 253).

A. STELLA, *Sul rilevamento geologico eseguito nel 1894 in valle Varaita (Alpi Cozie)* (ib., p. 283).

² S. FRANCHI, *Prasiniti ed anfiboliti sodiche provenienti dalla metamorfosi di rocce diabasiche*, ecc. (Boll. Soc. geol. it., Vol. XV, 1896, p. 172).

lawsonite venne solo riconosciuta più tardi quando si poté averne un saggio chimico; ed allora si poté indicarne numerosi giacimenti in rocce di tipi ed età diversa, e la genesi dalla separazione ed idratazione delle molecole anortitiche dei plagioclasidi delle rocce gabbro-diabasiche ¹.

Una serie di fenomeni metamorfici analoghi a quelli notati nelle diabasi venne poscia notato in un altro gruppo di rocce, le dioriti ², le quali furono riconosciute in molte regioni (Valsavaranche, Valle Chisone, Valle Varaita) da chi scrive e da' suoi colleghi Novarese e Stella, passare per gradi a tipi speciali (biotitici) di rocce prasinitiche. Lo scrivente ne descrisse diversi tipi della valle del Chisone, nei quali l'orneblenda bruna titanifera primitiva si trasforma in anfibolo bruno-chiaro, poscia in anfibolo attinolitico (un fenomeno che potrebbe chiamarsi *uralitizzazione dall'orneblenda*), ed il plagioclasio in felspati acidi (albite), con segregazione contemporanea di epidoti, leucocoxene, rutilo, ecc. ³. La struttura di queste rocce metamorfiche è quella delle prasiniti ordinarie, dalle quali si distinguono per la costante presenza di una mica bruna dorata, sono cioè *prasiniti a biotite*.

Solo più tardi venne riconosciuta l'importanza di un gruppo di rocce a glaucofane, quello delle rocce a pirosseni sodici, comprendente *eclogiti*, *cloromelanititi* e *glaucititi*, le quali presentano fra loro numerosi termini di passaggio e stretti rapporti genetici e quindi di giacimento. Nella loro costituzione mineralogica entra in molti casi come elemento secondario evidente dell'anfibolo sodico, il più sovente del gruppo della glaucofane e più di rado dal gruppo della arfwedsonite ⁴. Anche nelle

¹ S. FRANCHI, *Sulla presenza del nuovo minerale lawsonite come elemento costituente in alcune rocce italiane* (Atti Acc. Scienze di Torino, seduta 27 dic. 1896).

² ID., *Sopra alcuni nuovi giacimenti di rocce a lawsonite* (Boll. Società geol. it., Vol. XVI, 1897, p. 73).

³ S. FRANCHI e V. NOVARESE, *Appunti geologici e petrografici sui dintorni di Pinerolo* (Boll. R. Com. geol., anno 1895, p. 385).

⁴ S. FRANCHI, *Sopra alcuni giacimenti di rocce giadettiche nelle Alpi occidentali e nell'Appennino ligure* (Boll. R. Com. geol., anno 1900, p. 119).

eclogiti il pirosseno può essere chiarissimo ed appartenere al gruppo dei pirosseni giadeitoidi, o molto scuro coi caratteri della cloromelanite, donde i due gruppi delle *eclogiti giadeitiche* e *cloromelanitiche*.

Come già dissi nel lavoro citato, in queste rocce l'elemento pirossenico si trasforma in modo evidente in maggiore o minor parte in anfibolo, talora verde, talora violetto coi caratteri degli anfiboli glaucofanici od arfwedsonitici. Però la metamorfosi suddetta non è sempre evidente e talora l'anfibolo sembra coesistere nelle eclogiti indipendentemente dal pirosseno, rispetto al quale presenta limiti netti, con spiccato idiomorfismo.

Esame di alcuni lavori recenti sulle rocce a glaucofane.

A questo punto, astraendo dalle rocce a pirosseno sodico, eclogiti e giadeititi, erano le nostre conoscenze sopra le rocce a glaucofane e sulla origine loro, nonchè sulle rocce associate nelle Alpi occidentali, e si era già profondamente mutato il nostro concetto sull'età e sulla tettonica di quell'importante catena, quando apparve lo studio del prof. H. Rosenbusch, *Zur Deutung der Glaukophangesteine*¹. In questo lavoro sono messi in rilievo i risultati ottenuti in quell'ordine di ricerche dai geologi americani e giapponesi, ma non è fatto cenno dei lavori dei miei colleghi e miei riferentisi ad una parte importante della più grande catena montuosa d'Europa. Tuttavia se altri prima e contemporaneamente a noi aveva segnalato quei fenomeni di metamorfosi di rocce basiche in rocce anfiboliche, come Lossen, Rosenbusch, Zirkel, Milch, Bonney, Lacroix, William, Lawson, Becker, Turner, Kotô, Harada, Lepsius, C. Schmidt, Rovereto, Schäfer ed altri che sarebbe lungo enumerare, pochi forse avevano portate le proprie osservazioni sopra un maggior numero di masse rocciose in regione tanto estesa, e i risultati e le conclusioni a cui eravamo giunti non erano forse completamente trascurabili, per quanto esposti in brevi note o rela-

¹ *Sitzungsb. d. K. preuss. Ak. d. Wissen.*, Band XLV, 1898.

zioni preliminari, in attesa della illustrazione che dovrà accompagnare la pubblicazione della Carta geologica delle Alpi occidentali ¹.

Così quando il prof. Rosenbusch, dopo di aver detto che molti autori hanno notato il grande sviluppo di anfiboli glaucofanici nelle eufotidi, nelle rocce diabasiche e nei loro tufi, aggiunge: « und dennoch ist meines Erinnerens niemals die Vermuthung ausgesprochen worden, dass die eigentlichen Glaukophangesteine mit Gabbro, Diabas, Schalstein und Verwandten zusammenhiengen », mostra di non aver conosciuti i risultati e le conclusioni di quel mio studio sopra citato del 1895, dove, in un capitolo intitolato: *Prasiniti ed anfiboliti non in rapporto visibile con masse di rocce eruttive*, dicevo fra l'altro: « alcune prasiniti provenienti dalle eufotidi non differiscono sotto nessun rapporto da molte delle prasiniti le meglio caratterizzate. Quelle ora riconosciute provenienti dalle diabasi hanno con queste comuni la struttura e la composizione mineralogica, ma hanno in generale cristallinità alquanto minore.... Lo stesso si può dire delle anfiboliti sodiche provenienti dalle diabasi rispetto alle anfiboliti a gastaldite scure, con zonature epidotiche, con fascette violacee, ricche soventi in gastaldite, che accompagnano soventi le prasiniti, e che il Gastaldi raggruppava sotto il nome di anfiboliti epidotiche, frequenti nella parte inferiore della zona delle pietre verdi....

« Non è quindi senza una certa dose di attendibilità che, passando dal noto all'ignoto, si considerano buona parte delle prasiniti antiche ²

¹ Non intendo con ciò fare un appunto all'illustre petrografo di Heidelberg, pel quale professo la più alta deferenza, giacchè ai suoi trattati densi di osservazioni e di notizie io ho soventi attinto senza che mi fosse possibile citarlo ogni volta. Quando si vuole, come egli fa con tanta cura, tener dietro alla bibliografia petrografica mondiale è assai facile il lasciar sfuggire qualche lavoro anche di certa importanza, tanto più se pubblicato in una lingua che non sia famigliare.

² È solo nell'agosto dello stesso anno 1895, in cui è stato pubblicato il lavoro di cui riporto ora alcuni brani, che furono da chi scrive scoperti in Valle Grana i fossili dei calcescisti e dei calcari, per cui l'età secondaria della zona delle Pietre verdi è stata messa fuori dubbio. (S. FRANCHI e G. DI STEFANO, *Sull'età di alcuni calcari e calcescisti fossilliferi delle valli Grana e Maira nelle Alpi Cozie* (Boll. R. Com. geol., A. 1896). — S. FRANCHI, *Sull'età mesozoica della zona delle pietre verdi* (id. id., 1898).

e delle anfiboliti a gastaldite come provenienti dalla epigenesi di rocce diabasiche » (l. c., p. 198).

E dopo di aver date le analisi di una prasinite e di una anfibolite sodica (a p. 199) aggiungevo: « È notevole l'analogia di composizione chimica tra queste due rocce di aspetto diversissimo, e specialmente l'analogia di quella della roccia II (prasinite) con quella di certe eufotidi ».

Sono però lietissimo di constatare come l'illustre professore di Heidelberg giunga in quel suo studio a conclusioni le quali coincidono abbastanza esattamente con quelle mie, e specialmente a riconoscere nelle rocce derivate dalla metamorfosi di rocce a magma gabbroide due tipi principali, le *Glaukamphibolite* e le *Orthoamphibolite* le quali corrispondono rispettivamente alle nostre *anfiboliti sodiche* e *prasiniti*.

Io credo però opportuno mantenere i nomi già da miei colleghi e da me adottati fin dal 1895, poichè le denominazioni del Prof. Rosenbusch non mi sembrano nemmeno essere in completa armonia col sistema di nomenclatura da lui adottato, secondo il quale la anteposizione del dittongo *ortho* al nome di una roccia indicherebbe la origine di questa per metamorfosi di una roccia massiccia. A questa stregua anche la *Glaukamphibolite* sarebbe una *Ortho amphibolite*, e dovrebbe chiamarsi *Ortho-glaukamphibolite*, se no potrebbesi pensare che si voglia attribuirle una diversa origine.

Il Rosenbusch riferisce i risultati a cui giunse H. Lawson nello studio della penisola di San Francesco in California, dove i termini meno metamorfosati sarebbero :

1° Rocce debolmente schistose, le quali non sono essenzialmente differenti dalle arenarie di San Francisco, e che soventi passano a scisti micacei, raramente azzurrognoli, contenenti un anfibolo del gruppo della glaucofane.

2° Scisti azzurrognoli, apparentemente identici agli scisti normali che sono intercalati colle arenarie suddette, e nei quali si è sviluppato un anfibolo glaucofanico.

3° Tufi vulcanici, come quelli frequenti nelle serie di San Fran-

cesco, nei quali sviluppa una imperfetta, soventi appena avvertibile scistosità, e che debbono uno splendore azzurrognolo agli aciculi di anfibolo glaucofanici di nuova formazione.

4° Rocce massiccie basiche, probabilmente appartenenti ai basalti ed alle diabasi delle serie di San Francesco, nelle quali è osservabile un ricco sviluppo di anfiboli glaucofanici e soventi anche una leggera scistosità.

Tali rocce passano:

1° A tipi di scisti glaucofanici altamente metamorfici;

2° A scisti diversi, micacei, cloritici ed anfibolitici con o senza glaucofane accessoria, nei quali ogni traccia delle rocce primitive è scomparsa.

Quanto alle cause di questo metamorfismo Lawson e Turner espressero idee divergenti fra loro, le quali avremo occasione di discutere in seguito per quanto riguarda le regioni alpine.

Il prof. Rosenbusch dopo di avere esposti i risultati interessanti e le opinioni di diversi autori americani (Becker, Turner, Lawson) sull'origine delle rocce a glaucofane, riporta due analisi di quelle rocce eseguite da W. H. Melville, le quali appunto corrispondono abbastanza esattamente colle analisi di anfibolite sodica e di prasinite da me pubblicate, e conformemente a quanto io affermavo allora, dice essere quella la composizione caratteristica e normale dei magmi gabbroidi.

Rosenbusch aggiunge in seguito che la stretta relazione fra le *anfiboliti glaucofaniche* e le *orto-anfiboliti* non ha bisogno di dimostrazione, e che la differenza di queste due rocce geneticamente e chimicamente in parte identiche consiste in ciò che nelle rocce a glaucofane (*glaukamphibolite*) la soda si trova nella glaucofane, mentre nelle *orto-anfiboliti* quell'alcali sta nel felpato.

Tutto ciò corrisponde esattamente a quanto venne dimostrato da chi scrive, che le rocce diabasiche passano per più o meno completa metamorfosi dei loro elementi a due tipi di rocce le *anfiboliti sodiche* e le *prasiniti*; e le analisi di due tipi di questi gruppi rocciosi furono infatti trovate molto simili fra loro.

L'idea da Rosenbusch espressa, che quelle due forme tanto diverse di rocce metamorfiche di rocce analoghe possano essere in relazione colla posizione dei due gruppi di rocce nel profilo verticale degli scisti cristallini, già combattuta da H. S. Washington, non può essere certo accettata, tanto nel caso in cui coll'espressione riportata testualmente a piè di pagina si voglia alludere al concetto di età, come nell'altro in cui si alluda invece alla maggiore o minore profondità sotto la superficie del suolo. ¹ Io potrei mostrare numerosi campioni da collezione nei quali alcune striscie della naturale zonatura sono di vere anfiboliti sodiche, mentre altre listerelle sono di vere prasiniti. Le due forme litologiche si presentano inoltre con frequenti termini di passaggio in una stessa massa di dimensioni molto limitate. Così vi sono prasiniti con glaucofane ed anche con lawsonite, come esistono anfiboliti sodiche presentanti un certo sviluppo di albite. Parlerò in appresso di varioliti metamorfosate nelle quali il magma è trasformato quasi completamente in anfibolite sodica, talora con lawsonite, mentre le variole sono trasformate in prasinite. Questo esempio esclude pure che la secondaria formazione di quei due tipi rocciosi possa essere necessariamente dovuta a condizioni fisiche diverse sotto le quali siansi sviluppati i processi metamorfici, ma suggerisce di cercare la causa di un tale fatto nella differente costituzione chimica, o forse meglio mineralogica, delle rocce o delle parti di rocce primitive.

Ma su questo argomento avremo occasione di tornare in seguito.

Nello stesso lavoro Rosenbusch, dopo di avere descritta la roccia ad albite e crossite nella quale il Palache scoprì questo nuovo anfibolo sodico, deduce l'analisi chimica di quella dal rapporto dei suoi costituenti mineralogici; e, notando che tale analisi non corrisponde a quella di nessuna roccia a lui nota, emette l'opinione che possa corri-

¹ « Man wird die Vermuthung aussprechen dürfen, dass dieser Unterschied nicht ohne Beziehung zu der Stellung der beiden Gesteinsgruppen in dem Verticalprofil der kristallinen Schieferformation und der dadurch gegebenen Bildungsbindungen sei. » (l. c., p. 6).

spondere ad una roccia del gruppo delle adinole. Senza voler negare la possibilità che l'ipotesi anzidetta corrisponda al vero io osservo come non siano infrequenti masserelle isolate nei calcescisti o mica-scisti della zona delle pietre verdi od anche zonature fra grandi masse di rocce prasinitiche, nelle quali la relativa eccezionale ricchezza in albite lascia supporre una composizione chimica molto diversa dalle altre rocce che riconoscemmo come prodotto di metamorfosi di diabasi. Io sarei indotto a spiegare queste forme litologiche come prodotto delle metamorfosi di elementi tufacei in cui una certa preparazione meccanica, eolica od idraulica, abbia prodotto un relativo arricchimento in felspario. Sono frequenti nelle Alpi occidentali dei tipi misti di rocce prasinitiche, le quali per l'abbondanza in calcite si manifestano chiaramente come il risultato della metamorfosi di un deposito calcareo o calcareo-marnoso, nel quale fu inglobata una considerevole quantità di materiali tufacei.

Rosenbusch nel suo lavoro passa in seguito all'esame microscopico e chimico di alcuni campioni di tufi diabasici della California rappresentanti diversi gradi di metamorfosi, con formazione di glaucofane, attinoto, albite, epidoto, lawsonite, ecc., i quali campioni, eccetto per la distinzione di lapilli che sembra ancora in essi possibile, corrispondono assai bene con numerosi tipi di anfiboliti sodiche lawsonitiche da me studiate, nelle quali sono ancora in maggiore o minore misura tracce degli elementi mineralogici primitivi delle diabasi.

In un recente interessantissimo lavoro chimico-petrografico ¹ H. S. Washington porta un largo contributo chimico allo studio della origine delle rocce a glaucofane, raccogliendo alcune analisi già pubblicate da diversi autori, alle quali ne aggiunge buon numero da lui stesso eseguite, tanto su materiale da lui stesso raccolto quanto su campioni avuti da diverse regioni.

¹ H. S. WASHINGTON, *A chemical study of the glaucophane schist* (Am. Jour. of Science, Vol. XI, January 1901).

Le rocce di cui si tratta provengono dalla Grecia (Syra), dalla Croazia, da Anglesey (Paese di Galles), dal Piemonte (Alpi Cozie), dalla Corsica, dal Giappone, da diverse località della California e dall'Oregon.

Dalla tabella di xv analisi l'autore mette in evidenza l'esistenza di due gruppi di rocce a glaucofane, uno basico ed uno acido, fra i quali una sola roccia presenta acidità intermedia e distinta da quei due. L'autore mette in rilievo i limiti entro cui oscillano i diversi costituenti chimici; i quali nel gruppo basico mostrano una certa uniformità di composizione; tuttavia due sottogruppi si possono distinguere, l'uno caratterizzato da tenori in CaO fra 11 e 13 per cento, l'altro da tenori fra 4.4 e 5.8 per cento. Questo fatto notevole può forse avere una importanza che finora sfugge alla nostra analisi; non bisogna però dimenticare che il tenore in calce può essere dovuto a calcite estranea al materiale tufaceo da cui può derivare per metamorfosi la roccia a glaucofane; ed è qui il caso di ricordare quanto ho detto sopra rispetto alle rocce di origine mista.

Nel gruppo acido i tenori in silice variano da 75 ad 80 per cento, e l'autore nota come il ferro sia più abbondante allo stato di FeO che a quello di Fe₂O₃, che MgO è piuttosto alto per rocce così acide, che CaO decresce quando SiO₂ aumenta, ed infine che Na₂O è in generale più alto che K₂O.

Anche il fatto che a CaO decresce col crescere di SiO₂ potrebbe spiegarsi colla supposizione che nel deposito primitivo agli elementi silicati tufacei della roccia diabasica si fosse sostituito in maggior quantità carbonato di calce dovuto al concomitante deposito calcareo o marnoso.

Il Washington rileva egli pure la grande analogia di composizione chimica delle rocce a glaucofane del suo gruppo basico con quello di molte anfiboliti. Queste avrebbero però più alti tenori in MgO, CaO e K₂O e tenori più bassi in Fe₂O₃. Le eclogiti si avvicinebbero di più, specialmente pel basso tenore in K₂O, quantunque possano averne uno più alto in MgO e più basso in Fe₂O₃.

Io credo che per istituire questi paralleli o per lo meno per renderli significativi ed utili sarebbe necessario il distinguere esattamente di quali anfiboliti si parla; ed osservo come nelle serie di eclogiti a me note, delle diverse regioni alpine siano rappresentati tipi di aspetto molto diverso fra le quali non mancano i tipi a pirosseni cloromelanitici con forti tenori in Fe_2O_3 .

Vedremo in seguito che limitando il paragone delle anfiboliti sodiche od a glaucofane colle *prasiniti* (corrispondenti alle orto-anfiboliti di Rosenbusch) le differenze sono meno notevoli, ed i costituenti chimici sono meno variabili.

L'autore non consente con la opinione di Rosenbusch, citata avanti, che l'essere la diabase trasformata in scisto glaucofanico (nostra anfibolite sodica) od in orto-anfibolite (nostra prasinite) possa dipendere dalla posizione di quella nel profilo degli scisti cristallini, ma attribuisce le due differenti forme metamorfiche a speciali condizioni fisiche e chimiche dei processi di metamorfosi¹. Le ragioni di questo suo modo di vedere, oltre che sulle considerazioni generali per cui è abolito il criterio di età nella distinzione delle rocce ignee starebbero:

1° Nel fatto che le due forme litologiche si trovano associate in molte regioni (Isola di Groix, Grecia, California, Anglesey, ecc., alle quali poteva aggiungere, Alpi occidentali, Liguria, Arcipelago toscano, Calabria).

2° Nel fatto che la glaucofane si sviluppò soventi in una stessa località in materiali primitivi tanto diversi come diaspri e tufi diabasici; il che sembra dimostrare che indipendentemente dai materiali originari il minerale può svilupparsi quando vi concorrano date peculiari condizioni.

¹ It seems more reasonable to suppose that, just in the consolidation of igneous magmas the eventual mineralogic composition of rocks derived from any given magma is chiefly dependent on the physical condition of cooling, the presence of mineralizers, etc., so here physical or chemical conditions have determined whether the metamorphism of, for instance, a diabase tuff produces a normal amphibolite or an epidote glaucophane schist.

3° Gli scisti a glaucofane noti appartengono a formazioni di età comprese tra il Cambriano inferiore (Isola di Groix in Bretagna) e il post-cretaceo (Attica).

4° Infine gli scisti a glaucofane sarebbero distribuiti in ogni regione della Terra come le anfiboliti, ma in zone ben definite di rocce metamorfiche, involventi singolari condizioni di processi metamorfici.

Registro ora queste considerazioni di Washington che discuterò in seguito dopo di aver descritto alcuni tipi di rocce a glaucofane e di prasinita italiane, riservandomi pure di paragonare allora le interessanti conclusioni a cui l'autore giunge con quelle che sarò condotto io stesso a formulare.

Descrizione di alcuni tipi di rocce italiane.

Diaspri a radiolarie e quarziti con glaucofane e crocidolite. — In alcuni scisti a radiolarie del monte Cruzeau presso Cesana (Alpi Cozie) illustrati da C. F. Parona ¹ il prof. Brugnatelli ha notato alcuni ciuffi di un minerale che riferisce dubitativamente all'epidoto, e che si trovano sviluppati anche nell'interno delle radiolarie; e presso il contatto di quelli cogli scisti verdi e rossi abbondante sostanza cloritica e dei ciuffetti di glaucofane. Questi scisti a radiolarie creduti dapprima permiani sono in strettissimi rapporti colle diabasi e colle varioliti della regione, le quali sono chiaramente intercalate nei calcescisti, sicchè giustamente M. Bertrand ² li considerò come un nuovo argomento contro l'età antica (precarbonifera) di quella formazione, la quale fu dallo scrivente, dopo il ritrovamento di fossili secondari

¹ C. F. PARONA, *Scisti silicei a radiolarie di Cesana presso il Monginevro* (Atti R. Acc. Sc. Torino, Vol. XXVII).

² M. BERTRAND, *Etudes dans les Alpes françaises* (Boll. Soc. geol. de France, III Série, T. 22).

nei calcescisti di Valle Grana, per considerazioni sulla posizione di essa rispetto ai calcari triasici della regione, ritenuta come post-triasica ¹.

Il Parona stesso, con G. Rovereto, illustrarono in seguito una fauna di radiolarie analoga alla precedente che riscontrarono entro a scisti diasprigni dei pressi di Montenotte inferiore (circondario di Savona, Alpi Liguri) dove i diaspri sono in stretti rapporti con delle masse di eufotide ².

¹ S. FRANCHI, *Sull'età mesozoica della zona delle pietre verdi, ecc.* (Boll. R. Comit. geol., 1898, p. 417 e 457). In un lavoro posteriore lo Zaccagna ritornò ad insistere sopra il suo concetto dell'età arcaica di questi calcescisti, senza recare alcun nuovo argomento perentorio in favore della sua tesi, e senza combattere l'argomento stratigrafico del monte Grand Roc da me portato, nè quello paleontologico importantissimo fornito dalle radiolarie di M. Cruzeau. Il suo stesso profilo della pagina 55 (Boll. 1901) prolungato attraverso alle coste del Séguret fino ai Tre Denti, da quanto deduco dai rilevamenti dell'ing. Mattirolò, mostrerebbe all'evidenza che i calcescisti sono più giovani dei calcari triasici.

Nè vale il dire che quelle rocce calcareo-micacee, dal Mattirolò distinte a M. Tre Denti colla tinta dei calcescisti, sono solo forme calcescistose dei calcari e non veri calcescisti. Le numerosissime varietà che presentano le rocce di moltissime formazioni renderebbero impossibile ogni lavoro di sintesi stratigrafica e permetterebbero le interpretazioni più inverosimili, se non si esponessero volta a volta i caratteri litologici distintivi di ciascuna di esse. Per conto mio ho cercato di dimostrare l'identità litologica e di associazione fra la zona di rocce attraversante la Dora Baltea fra Morgex e Courmayeur, ammessa come triasica dallo Zaccagna, e la zona delle pietre verdi da lui ritenuta arcaica; e nel constatare questa identità, mostrando loro due serie parallele di campioni dei diversi tipi delle due formazioni, ebbi recentemente il consenso completo di alcuni dei colleghi, compreso l'ing. Mattirolò e di alcuni altri geologi; e lo stesso Zaccagna non trovò differenza da potermi far rilevare.

Io aspetto adunque che l'ing. Zaccagna, prima di entrare nella discussione degli argomenti da me adottati voglia, partendo da questo dato di fatto non suscettibile di discussione, mettere fra loro d'accordo i suoi diversi profili; e se, come pare, l'età arcaica della zona delle pietre verdi gli sembra ancora sostenibile, spero che egli vorrà almeno riconoscere la necessità di darci anzitutto la nuova interpretazione di quella parte del suo profilo attraverso il Monte Bianco che sta tra il M. Chétif e la Testa d'Arpi. Senza di questo il proseguimento della discussione sarebbe equivoco ed inconcludente.

² C. F. PARONA e G. ROVERETO, *Diaspri permiani a radiolarie di Montenotte* (Atti Acc. Sc. Torino, Vol. XXXI).

Questi esempi non sono isolati, e in diverse regioni a contatto con masse diabasiche della zona delle pietre verdi ho constatato lo sviluppo di più o meno importanti masse di diaspri; così a contatto di una massa di diabase del Colle Traversière (crinale Maira-Varaita) di una delle masse di Acceglio (V. Maira) e di altre presso C. Grinda, Meuje dell'Amore e C. dell'Amore, tra Montenotte e Cairo-Montenotte. Nell'ultima delle tre località gli scisti diasproidi si trovano al contatto tra la eufotide e gli scisti plumbei lucenti che nella regione tengono, come in alcuni punti presso Mondovì, il posto dei calcescisti.

Al microscopio però queste rocce diasproidi si rivelano come più o meno perfettamente metamorfosate in quarziti microcristalline con struttura a mosaico, siccome già notarono Parona e Rovereto per quelle contenenti le radiolarie di C. delle Isole (Montenotte). Il processo metamorfico porta pure lo sviluppo di numerosi minerali fra i quali oltre a clorite, oligisto, magnetite, sfeno e forse vivianite (?) riconosciuti da quegli autori, io notai un importante sviluppo di sericite, di anfiboli sodici (glaucofane e crocidolite) di epidoto, e rari elementi di granato. La sericite non manca quasi mai ed è talora tanto abbondante che la roccia in sezione sottile ha tutto l'aspetto di un vero micascisto. La crocidolite si trova in fascetti (en gerbe) od in aciculi isolati tanto in un diaspro molto sericitico, rosso per abbondante pigmento di oligisto, di un campione preso a C. delle Isole, od in ciuffetti di aciculi isolati a struttura radiata con abbondante epidoto e con clorite in un diaspro presso C. Meuje dell'Amore; e finalmente in grande quantità di aciculi incrociantisi in tutte le direzioni in una roccia diasprigna che ne trae il suo colore azzurro, trovata erratica presso Montenotte inferiore¹. In questa roccia havvi ancora qualche raro elemento di granato.

¹ Alcuni dei preparati da me esaminati ricordano assai da vicino quelli figurati da L. RANSOME nel suo lavoro *The geology of Engel Island* (Bull. of the Department of Geology, University of California, Vol. I, n. 7 pl. 13 fig. 3 e 4), di diaspri a radiolarie, che secondo l'autore sarebbero metamorfosati dal contatto della serpentina. Nei casi connoti sopra essendomi impossibile oscludere che i

La glaucofane è invece abbondante in una roccia che ha già meglio l'aspetto di una quarzite, e che trovasi presso C. Grinda pure in prossimità di una massa di eufotide, non lungi dalla massa di calcare dolomitico, ivi scavato per pietra da calce.

Altri esempi di rocce essenzialmente silicee contenenti anfiboli sodici sono offerti:

1° Da alcune quarziti del Trias inferiore dei pressi di Vaudet in Valgrisanche, alle quali sovrastano la zona di calcari triasici del Rocher Blanc e la massa di calcescisti della Grande-Sassièr.

2° Da quarziti, probabilmente del Trias inferiore, osservate dallo Stella a monte di Rhême Notre-Dame in Val di Rhême.

3° Dalla quarzite di una sottile zona sottostante ad una massa di serpentina presso Campiglia di Qua nel territorio di Graglia (Biella).

Micascisti e filladi con glaucofane. — Qualunque sia l'origine, meccanica o zoogena, della silice delle rocce precedenti è certo che lo sviluppo degli anfiboli come quello dei minerali associati inclusi vi è dovuto al metamorfismo avvenuto in seno a quelle rocce posteriormente al loro deposito; cosicchè noi abbiamo in esse rappresentato un gruppo di rocce a forte tenore in silice, alcuni tipi delle quali costituiscono il primo o più acido termine di una serie di rocce a glaucofane della quale gli altri termini sono rappresentati da micascisti a glaucofane ognora meno ricchi in quarzo, quali quelli che vennero a più riprese descritti nei lavori citati avanti, e contenenti, oltre l'anfibolo violetto, numerosi altri minerali, sismondina, granato, distene, ecc. Essi sono talora felspatici e passano a veri *gneiss minuti*, o gneiss a plagioclasio acido in piccoli elementi.

diaspri metamorfosati oltre che al tetto si trovino pure al muro dalle masse di eufotide, che sono intercalate e non intrusive, non posso neppure escludere in modo assoluto che fenomeni di contatto siansi prodotti; però il fatto generale di sviluppo di glaucofane nelle stesse eufotidi o diabasi mostra che il fenomeno di metamorfismo che produsse quell'anfibolo è posteriore alla venuta di quelle rocce massicce.

Strettamente legate coi micascisti nelle Alpi occidentali trovansi le filladi, esse pure soventi a glaucofane, oltre che sismondinifere e granatifere, delle quali si è parlato nei lavori precedentemente citati.

Calcescisti e calcari a glaucofans. — Frequentemente ed intimamente associati coi micascisti e colle filladi sono i calcescisti, essi pure soventi a glaucofane, e presentanti colle rocce precedenti infiniti termini di passaggio e vere sfumature sul terreno. Il nesso fra questi diversi tipi di rocce venne messo in evidenza da chi scrive in uno studio petrografico e geologico sui dintorni di Bussoleno ¹.

Anche i calcescisti possono contenere, oltre alla glaucofane, mica, granato, sismondina, clorite, albite, più raramente pirosseno, come costituenti essenziali.

Per diminuzione di importanza della mica e della clorite, il calcescisto può passare a calcefiri ed a calcari, conservanti alcuni dei minerali suddetti, fra cui la glaucofane, della quale sono talora molto ricchi e che presentano in elementi automorfi molto bene sviluppati. Fra questi merita il primo posto quello del molino della Beaume, studiato dal Colomba ², e che è da ritenersi di età triasica, riposando, separatone da pochi scisti micacei, sopra la grande massa di quarziti delle falde del Séguret (Oulx) ³. Altri calcari a glaucofane furono segnalati da G. Piolti al M. Grand Roc ⁴ (ivi pure di età triasica), e chi scrive ne notò soventi a contatto di divere masse serpentinose in valle Grana (alle falde di M. Plum) ed in valle Stura di Cuneo

¹ S. FRANCHI, *Appunti geologici e petrografici sui dintorni di Bussoleno* (Boll. R. Com. geol., anno 1897).

² L. COLOMBA, *Sulla glaucofane della Beaume* (Atti R. Acc. Sc. Torino, Vol. XXIX, disp. 9).

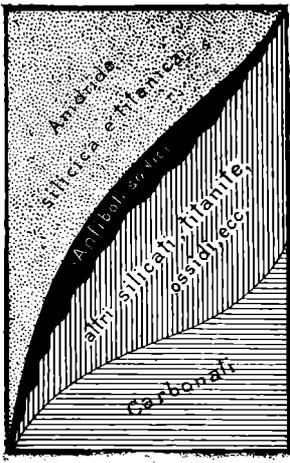
³ La costituzione litologica essenzialmente cristallina del Trias in questo punto, quale forma laterale dei calcari dolomitici fossiliferi di Salbertrand, costituisce uno splendido argomento in favore dell'età secondaria dei calcescisti, argomento da me svolto nel mio lavoro già citato del 1898 (p. 423) e che nemmeno fu combattuto dallo Zaccagna.

⁴ G. PIOLTI, *Il calcare del Grand Roc* (Atti R. Acc. Sc. Torino, Vol. XXVIII, disp. 5).

(presso C. dell'Avvocato), nei quali casi il calcare era eminentemente spatico e colorato in violetto dalle abbondanti inclusioni di quell'anfibolo, associato a molta clorite.

Noi abbiamo così passato in rapidissima rassegna una ricca ed estesissima serie di rocce a glaucofane, di acidità decrescente, la quale comprende ai suoi due estremi rocce fra loro assai differenti.

Da un capo della serie si hanno i diaspri e le quarziti a glaucofane, le quali possono contenere il 95, il 98 od anche più % di silice; mentre dall'altro abbiamo i calcari a glaucofane i quali di silice possono contenerne solo qualche unità. Noi possiamo rappresentarci tale serie graficamente, distinguendo il contenuto dei termini di essa in quarzo o silice libera con l'anidride titanica da un lato, in carbonati (calcite, dolomia, siderite o minerali intermedi) dall'altro; ed i minerali inclusi nel cemento di quarzo o di carbonati presi tutti insieme per maggior semplicità, eccettuati gli anfiboli sodici.



- Diaspri più o meno metamorfosati e quarziti;
- Quarziti micacee;
- Miscisti ricchi in quarzo;
- Miscisti e filladi;
- Gneiss minuti, id. psammitici;
- Miscisti eclogitici felspato-uralitizzati;
- Miscisti e filladi calcarifere;
- Calco-miscisti;
- Calcescisti;
- Calcefiri micacei, calcefiri;
- Calcari cristallini.

Questa estesa serie di rocce deve intendersi originata dalla metamorfosi di depositi nei quali il calcare ed il quarzo possono essere di origini diverse, parte meccanica, parte zoogena in parte chimica e infine in parte metamorfica, cioè proveniente dalle metamorfosi di minerali inclusi nel primitivo deposito allo stato di detriti.

I minerali inclusi in quelle rocce possono pure in parte come il quarzo essere di origine meccanica o detritica, ma per la maggior parte ripetono la loro origine indirettamente, essendo essi il prodotto della metamorfosi di quei minerali detritici e degli altri elementi del deposito.

Delle rocce di questa serie non posso disgraziatamente presentare alcuna analisi chimica, però la grande varietà della loro costituzione minerologica e, più ancora la variabilità della proporzione dei loro costituenti lasciano indurre la varietà grandissima che debbono presentare nella loro costituzione chimica. Quello che è certo, e messo fuori di dubbio dalle osservazioni sul terreno, si è la loro natura di primitivi depositi svariati, silicei, argillosi, arenacei, marnosi o calcari, i quali furono posteriormente profondamente metamorfosati; ed è in essi che sono incluse lenticolarmente senza esempio di filoni le numerosissime masse di rocce verdi.

Gli elementi chimici per la costituzione della glaucofane in alcune rocce di quella serie, poterono essere forniti da detriti di minerali preesistenti, pirosseni, plagioclasti (?) ecc., e in alcuni casi da una metamorfosi secondaria dei pirosseni sodici già essi stessi di natura metamorfica, come nei micascisti eclogitici. In questi ho constatato ultimamente l'interessante metamorfosi di quei pirosseni in un feldspato plagioclastico acido prossimo all'albite e nei minerali che si osservano nella ordinaria uralitizzazione ¹.

I grandi ripiegamenti subiti dalla zona della pietre verdi non permettono di affermare l'età precisa relativa delle masse di rocce verdi e dei diaspri che sono a loro contatto; sembra però che quei diaspri a radiolarie siano stati originati dalle emissioni silicee che precedettero, accompagnarono o seguirono immediatamente la venuta della roccia eruttiva (variolite, diabase od eufotide). E la glaucofane e la crocidolite in essi contenuta, con gli altri minerali, fra cui sono fre-

¹ *Ueber Feldspath-Uralitisirung der Natron-Thonerde-Pyroxene aus den eklogitischen Glimmerschiefern der Gebirge von Biella* (N. J. f. Min., Geol., Paleont., 1902, Bd. II).

quenti le sericite e l'epidoto, possono forse parzialmente ripetere la loro origine dalle metamorfosi di elementi delle rocce diabasiche in essi inclusi, i quali subirono poscia gli stessi processi di metamorfosi che constatiamo negli elementi delle stesse rocce. Meno facile è la spiegazione di quell'anfibolo sodico nei calcari a contatto colle serpentine, e nei calcari come quelli della Beaume, dove la sua origine metamorfica e autigena è evidente.

Ho indicato fra le rocce precedenti le eclogiti quarzifere per il loro stretto legame di giacimento coi micascisti eclogitici, i quali certo non hanno nessun rapporto genetico con masse di rocce eruttive, troncando così per le eclogiti di questo tipo di giacimento un dubbio che mi era venuto sull'origine eruttiva di quelle rocce dal vedere i loro stretti rapporti con rocce eufotidiche di varie regioni. La frequenza di masse eclogitiche di tutte le dimensioni, anche di pochi centimetri, nei micascisti eclogitici i quali, eccetto il quarzo in più, hanno gli stessi elementi costituenti, mi ha convinto che quelle rocce debbono come questi avere l'origine dalla metamorfosi di sedimenti. Per le eclogiti non quarzose associate alle eufotidi ed alle serpentine, credo ancora prudente riservare ogni giudizio sulla loro origine.

Fra le rocce precedentemente elencate alcune possono essere state originate da una porzione anche forte di materiali tufacei, di rocce diabasiche ad esempio, con una non grande quantità di cemento o argilloso, o marnoso, o calcare; le rocce che in tali casi si originarono, se questo cemento era in piccola quantità rispetto agli elementi tufacei, possono avere composizioni chimiche molto prossime a quella dei magma diabasici, mostrando rispetto ad essi un eccessivo tenore in alumina o in calce, ed una relativa povertà in silice ed alcali.

Questa ipotesi può servire a spiegare la costituzione chimica di alcune delle rocce a glaucofane analizzate da Washington, i cui tenori in calce da 11 a 13 sono di molto superiori a quelli dei magmi suddetti, come può servire a spiegare le differenze che si possono osservare negli altri costituenti, essendo ovvio che fra questi depositi misti ed i depositi puri di tali elementi tufacei si possono trovare sul terreno

numerosissimi termini di transizione, con grandi varietà di costituzione chimica.

La proporzione dei differenti elementi mineralogici che entrano nei tufi, che può essere molto diversa da quella in cui si trovano nella roccia primitiva, ci può facilmente spiegare tutte le differenze che nella costituzione chimica delle rocce metamorfiche derivate si possono notare, senza che sia perciò necessario supporre una sì differente varietà di magma, nei casi in cui nessun carattere permetta di affermare che trattisi realmente della metamorfosi di roccia eruttiva, massiccia.

Passo ora allo studio di alcune forme metamorfiche di rocce diaboliche alcune delle quali sono interessanti, specialmente per avere conservato malgrado la metamorfosi completa un aspetto esterno ricordante in modo sicuro la loro origine.

Porfirite diabasica di Comba Grande in Valle Grana, completamente metamorfosata in anfibolite sodica. — È una roccia di rara bellezza, la quale si trova in non grande massa nei calcescisti di Comba Grande, piccolo affluente di destra del T. Grana. Di essa si trovano in quest'ultimo torrente numerosissimi blocchi presentanti strutture ed aspetti molto differenti, per la varietà e pel numero e per le dimensioni degli inclusi chiari, aventi i contorni come di felspati porfirici in un fondo scuro violaceo o verdastro. La figura 1 (Tav. VIII) rappresenta una porzione di superficie di questa roccia levigata.

Già l'osservazione macroscopica nella frattura fresca della roccia mostra che il fondo violaceo è dovuto ad un grande sviluppo di anfibolo violetto, come pure mostra che gli inclusi bianchi aventi le forme caratteristiche degli inclusi felspatici non sono di questa natura, non vedendosene mai i larghi clivaggi. Questi si mostrano essenzialmente come costituiti da una massa granulare di lawsonite, talora compatta, tal'altra con masserelle interstiziali di albite o di clorite. Le figure 1 e 2 (Tav. IX), mostrano l'una l'intersezione di due cristalletti di felspato metamorfosati quasi esclusivamente in lawsonite, circondati da anfibolo verde e violetto; l'altra un microlite metamorfosato con

ingrandimento di 50 *D*. La lawsonite presenta i caratteri soliti e le geminazioni polisintetiche caratteristiche, che non lasciano alcun dubbio sulla sua identità (fig. 2 della Tav. VIII).

La massa della roccia è essenzialmente costituita da anfibolo verde e violetto associati in elementi ad orientamento unico e presentanti bellissime sfumature dall'uno all'altro, con clivaggi che si proseguono ininterrotti attraverso i due anfiboli, distinti dal colore in luce naturale e dalla differente estinzione nonché dalla differente birifrangenza in luce polarizzata.

L'anfibolo violetto ha il policroismo, l'estinzione ed il segno ottico caratteristici della glaucofane, quello verde i caratteri dell'anfibolo verde comune. Quest'ultimo ha pure birifrangenza sensibilmente superiore al primo, e presenta talora tinte poco nette accennando a dei termini di passaggio alla glaucofane.

Questa, oltrechè nei cristalli macroscopici, si presenta pure come elemento interstiziale in elementi sfibrati confusamente intrecciati con struttura a feltro minutissima ¹.

In alcuni punti nel mezzo dell'anfibolo si osservano piccoli resti sfibrati del pirosseno primitivo e sono frequenti nuclei e file di inclusioni di leucoxene. Al contorno l'anfibolo è sempre sfrangiato e circondato da clinocloro, zoisite e lawsonite. Questa è spiccatamente automorfa rispetto a tutti gli altri elementi, mentre in corrispondenza degli inclusi bianchi presenta più di rado contorni cristallografici, ed è distinguibile per i suoi caratteri ottici e specialmente per le frequenti geminazioni polisintetiche secondo (110).

La clorite verde scura è talora colorata non uniformemente in lamina sottile e si mostra molto sviluppata in alcune parti della roccia, costituendo un fondo nel quale sono inclusi gli anfiboli secondari. Al-

¹ A questa struttura che potrebbe dirsi *nefritica* dell'anfibolo secondario è dovuta la tenacità straordinaria di alcune forme di queste rocce diabasiche metamorfosate delle Alpi occidentali e della Liguria, di cui è costituito un certo numero di accette provenienti dalle stazioni neolitiche liguri.

cuni campioni di rocce provenienti con ogni probabilità dalla stessa massa sono pure essenzialmente cloritici.

La grande vena bianca che è indicata nella figura 1 della Tav. VIII è costituita da albite, zoisite, poca mica bianca e anfibolo attinolitico

La roccia ora descritta si mostra associata ad eufotide, come accade di molte diabasi della regione che con quest'ultima roccia presentano associazione intima, con passaggi rapidi dall'una all'altra.

Si tratta adunque, come appare dalla descrizione petrografica fattane, di una metamorfosi completa senza considerevole scambio a distanza dei differenti elementi chimici, poichè si videro gli elementi felspatici trasformarsi in lawsonite ed albite senza mutare sensibilmente il loro contorno. L'analisi chimica accenna chiaramente ad un magma diabasico con forte tenore in soda, il quale tenore è un po' in contrasto colla natura degli inclusi felspatici che erano molto basici, data la loro metamorfosi essenzialmente in lawsonite. Noi dobbiamo quindi supporre che una parte della soda oltre che nei felspati dei grandi inclusi e microliti fosse contenuta nel pirosseno, giacchè di massa vetrosa non eravi forse traccia nella roccia primitiva.

Si potrebbe dubitare che sia avvenuto uno scambio di calce e soda fra gli inclusi felspatici ed i pirosseni durante la metamorfosi; ma un simile scambio che certo localmente in date condizioni può essere possibile, mi sembra poco probabile sopra masse di rocce come quelle di Comba Grande, che ha fornito alle alluvioni del Grana numerosi blocchi di rispettabili dimensioni presentanti sempre ben distinto l'aspetto porfirico degli inclusi chiari. D'altra parte il caso non è isolato, avendo io trovato nel vallone di Montenotte nell'Appennino ligure, degli erratici di rocce identiche alle precedenti in cui gli inclusi felspatici sono pure sostituiti quasi completamente da lawsonite. Deve dunque trattarsi di rocce porfiritiche a felspati eccezionalmente basici rispetto all'acidità del magma nel quale si sono sviluppati, ed a pirosseni relativamente ricchi in soda.

Varioliti metamorfosate parte in prasinite e parte in anfibolite sodica. - Interessantissime per lo studio delle cause delle due forme di

metamorfosi delle rocce diabasiche sono certe varioliti metamorfosate che sono frequentemente associate colle diabasi e colle porfiriti diabasiche nelle valli Maira, Grana, Rittana e Valloriate. Ne descriverò qualche esempio di quelle a più grandi variole, nelle quali è più facile lo studio distinto delle strutture che per metamorfismo si producono nelle variole e nella massa fondamentale.

La variolite proviene da una piccola massa in cui variolite e porfiriti sono intimamente associate *per zone e lenticolarmente*, con *struttura fluidale*, e che fa parte di una serie di masserelle di diabasi e serpentine intercalate in piccole lenti nei calcescisti nel valloncello di Peraigue, affluente del rio Mulasco che sbocca nella Maira sopra Acceglio.

La figura 3 (Tav. VIII) rappresenta nella sua parte superiore ed inferiore due superficie laminate di una stessa variolite a grandi elementi, tagliate l'una normalmente, l'altra parallelamente alla *direzione di stiramento* delle variole, le quali hanno la forma di fusi allungati e leggermente schiacciati.

Le variole sono bigio verdognole con orlatura esterna più chiara, alla quale segue una orlatura violetta non regolare nè costante, la quale le separa dalla massa ambiente (magma metamorfosato) verde-scura, talora con una punta di violetto.

Le superficie di frattura secondo la scistosità sono di aspetto finamente sericeo verde e violetto, dovuto alle finissime fibre degli anfiboli; e soventi le variole si staccano dal resto della roccia isolandosi per effetto dell'involucro anfibolico fibroso meno compatto.

A. M. le variole presentansi, talora solo in alcune parti, trasformate in un mosaico minutissimo di felpato rigenerato (albite?) con poche fibrille di anfibolo, mostrando ancora nel rimanente la struttura palmare o radiale loro caratteristica; in altre parti invece la prasinizzazione è completa con maggiore o minore cristallinità.

La glaucofane riempie certe fessure che si osservano nelle variole, prodotte dalla loro laminazione, e costituisce in gran parte le orlature scure che le circondano, siccome mostra la figura 3 suddetta.

La massa racchiudente le variole presenta aspetti e costituzioni mineralogiche diverse da punto a punto, mostrandosi prevalentemente costituita da fibre di anfiboli verde e violetto di cui l'uno o l'altro può prevalere, o da anfiboli con clorite ed epidoto, ed in alcune parti ancora essenzialmente da clorite ed epidoto, con l'associazione di piccoli elementi di albite sparsi e più o meno rari. L'anfibolo forma come un minutissimo feltro, in cui le sue fibre a fasci od a strisce hanno un certo imperfetto orientamento secondo la direzione di stiramento della roccia e secondo l'allungamento delle variole, il che spiega l'apparenza sericea della sfaldatura della roccia. Qua e là nella roccia sono piccole aree più cristalline con maggior sviluppo dei singoli minerali e sono non infrequenti venucole di calcite.

Lo stesso modo di metamorfosi delle variole in una massa a fondo di mosaico albitico e del magma in un complesso costituito essenzialmente da minerali ferro-magnesiaci, anfiboli, epidoti, clorite con poca albite, lo si osserva in molte varioliti della regione; ed in alcune dei pressi di Gr. Ghiottoliggiera (V. Maira) fu notato lo sviluppo di abbondante lawsonite nella parte corrispondente al magma stesso.

Noi constatiamo adunque in una medesima roccia e in parti di esse vicinissime ed alternanti le due forme di metamorfosi delle diabasi, in prasinite ed in anfiboliti sodiche, epidotiche e lawsonitiche. Il quale fatto ha una grande importanza perchè dimostra luminosamente che la causa di quei due modi di metamorfosi non deve essere cercata nella diversa posizione che avevano le rocce primitive nella serie dei terreni come vorrebbe Rosenbusch, e nemmeno nelle differenti condizioni nelle quali si svolsero i fenomeni di metamorfismo come opinerebbe H. S. Washington. Nel caso delle varioliti sopracitato le variole ed il magma erano in condizioni perfettamente identiche sotto ogni rapporto; *solo variava la loro costituzione mineralogica e la complessiva costituzione chimica*. In queste giova adunque ricercare le cause delle differenti rocce metamorfiche che derivano, dalle variole e dal magma, e con ogni probabilità anche dalle differenti rocce diaboliche, le cui analisi chimiche complessive possono variare entro

limiti abbastanza estesi, quantunque meno di quelli che si osservano fra la costituzione chimica delle variole e quella del magma di alcune varioliti.

Gli esempi di analisi chimiche di queste diverse parti non sono numerosi. Le variole di una variolite del Monginevro (I) di quella di Berneck nel Fichtelgebirge (II) e quella di Fenils analizzata da Lacroix ¹ (III) presentano rispettivamente i tenori seguenti in

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O
I.	. 56.12	17.40	3.72
II.	. 64.30	13.46	5.36
III.	59.09	26.69	5.69.

In quella del Monginevro il tenore complessivo in silice è di 52,79 quindi di poco inferiore a quello delle sole variole, ma il tenore di solo 33.71 in silice del magma della variolite di Berneck accenna ad acidità molto più sensibilmente differenti fra il complesso della roccia e le sue variole. Noi senza analisi non possiamo discutere i fatti constatati nelle nostre varioliti; però, considerata la costituzione chimica delle variole rispetto a quella del magma, sembra che una relativa maggiore acidità e ricchezza in allumina e soda cioè una maggior ricchezza in felspario non troppo basico, nella costituzione della diabase, debba essere favorevole alla sua metamorfosi in prasinite, mentre una minore acidità e minor tenore in allumina e soda congiunti a più forti tenori in calce e magnesia, debbano produrre più facilmente delle anfiboliti di tipi diversi (vedi la discussione a pag. 312).

Anfibolite biotitica e zoisitica con glaucofane, calcite e albite. — Trovasi presso il Lago superiore di Giaveno; associata con serpentine, eclogiti e calcescisti (zona delle pietre verdi).

Roccia nettamente zonata a strisce verdi scure, e verdi bigiastre a strati fortemente ripiegati.

A. M. Rutilo, leucoxene, pirite.

¹ A. MICHEL-LIEVY, *Note sur la prolongation vers le sud de la chaîne des Aiguilles Rouges, etc.* (Bull. de la Carte géologique de la France, etc., n. 27).

Anfibolo verde-marino (secondo n_g) abbondantissimo, presentante talora tinte violette accennanti a passaggi a glaucofane, in cristalli nutriti o scheletrici od a struttura finamente intrecciata con 2 o 3 direzioni dominanti se immersi in elementi felspatici.

Zoisite, abbondantissima, con orlature di epidoto e passaggi a questo minerale.

Biotite verde brunastra, elemento costituente fra i meno abbondanti, come pure la *mica bianca*.

Clo·ite frequente;

Albite poco abbondante, occupante qua e là gli interstizi fra gli altri minerali;

Calcite, in certa quantità, la quale dimostra trattarsi probabilmente di un deposito misto metamorfosato.

L'analisi della roccia (II) si distingue solo per un forte tenore in calce da quello di molte rocce diabasiche. Il considerevole tenore in soda si deve oltre che all'albite, ad una parte dell'anfibolo e forse anche alla mica bianca.

Porfiriti diabasiche metamorfosate in prasinite (erratico presso Collegno, nell'anfiteatro morenico di Rivoli).

Ho già accennato nel mio lavoro più volte citato all'esistenza di rocce conservanti l'aspetto esterno di porfiriti, mentre all'esame microscopico si rivelano completamente metamorfosate in prasiniti senza traccia, se ne eccettuo i contorni, degli elementi mineralogici primitivi. È qui però il caso di riparlare più dettagliatamente, dandone i disegni sì macroscopico che microscopico in sezione sottile.

La figura 4 (Tav. VIII) rappresenta la superficie levigata di una di queste porfiriti, trovata erratica nel morenico presso Collegno, proveniente perciò dalla valle di Susa, dove però non venne finora trovata in posto. Erratici dello stesso tipo furono trovati al Ponte della Stura di Lanzo presso Torino, sicchè non sarebbe inverosimile che quegli erratici provengano da una stessa massa esistente sul crinale che separa la Dora Riparia dalla Stura di Viù.

I grandi inclusi chiari di felspato metamorfosato hanno colore

bianco verdognolo e verde giallognolo chiaro, per causa dello sviluppo in essi oltre che del felspato secondario acido, di epidoto, attinoto e clorite. Anche nel fondo delle parti chiare sottili allungate, corrispondenti ai felspati microlitici metamorfosati, si distinguono dal resto verde violaceo maculato. Distinguonsi inoltre nella roccia delle zone più chiare con struttura un po' diversa e senza grandi inclusi, in cui la struttura prasinitica è più chiaramente riconoscibile, e le quali sembrano corrispondere a *zone di laminazione* della roccia, nelle quali il metamorfismo è più inoltrato, cancellando le tracce della struttura porfirica primitiva. L' esame microscopico di queste parti conferma questo modo di vedere.

Al microscopio tutta la roccia appare, astrazion fatta per un momento dagli elementi ferro-magnesiaci, come costituita da un mosaico di elementi felspatici (albite) a contorni e suture molto dentellati, e ad orientamento sovente imperfetto nei singoli elementi. Tale fondo albitico è poi tempestato, interrotto e lardellato da innumerevoli elementi di anfibolo, epidoto, clorite e da miriadi di granulazioni di sfeno, del quale esistono pure elementi maggiori. Il mosaico albitico si estende all'area degli apparenti inclusi felspatici, in corrispondenza della quale gli elementi ferromagnesiaci che lo tempestano sono in minore quantità e rappresentati essenzialmente da epidoto e da zoisite, proveniente più direttamente dalle metamorfosi dei felspati primitivi. Mancano pure in quelle aree le granulazioni di sfeno (leucoxene) che tempestano tutto il resto del preparato microscopico.

È interessante il notare che nell'anfibolo, nella maggior parte verde, sfrangiato e mai automorfo, sono frequenti facule e sfumature che indicano chiaramente il suo passaggio parziale a glaucofane, di cui esistono pure aciculetto distinti, inclusi talora nell'epidoto.

Il felspato del mosaico fondamentale non può essere determinato con esattezza, presentando raramente geminazioni nette, ma noi dobbiamo ritenerlo, come nelle prasiniti, un felspato prossimo all'albite.

È notevole il fatto che alcune parti della roccia in parola, pure essendo completamente metamorfosate e contenendo tutti i minerali

delle prasiniti più cristalline, per l'imperfetto orientamento cristallino e per la mancanza di forme proprie di tutti i minerali rigenerati, rappresentano uno stadio di metamorfismo meno perfetto, delle altre parti che si dissero corrispondere alle zone di laminazione. Il che prova come, le azioni meccaniche potenti colla frantumazione della roccia, facilitando la circolazione delle soluzioni alle quali è dovuto lo scambio degli elementi chimici, possono mettere, sotto questo rispetto, le rocce massicce in condizioni analoghe a quelle in cui si trovano i loro tufi, ed essere causa di più completa metamorfosi.

Le figure 5 e 6 della Tav. VIII e quelle 3 e 4 della Tav. IX mostrano rispettivamente delle porzioni di preparati sottili delle porfirite metamorfosate di Collegno e di Ponte Stura, viste in luce naturale ed in luce polarizzata. Le figure in luce naturale mostrano i contorni dei microliti feldspatici ancora ben conservati malgrado la profonda metamorfosi loro in mosaico albitico, come vedesi nelle figure in luce polarizzata. Il paragone della figura 6 della Tav. VIII con quella 5 della Tav. IX mostra la grande differenza di sviluppo degli elementi albitici, che sono nella seconda 10 volte più grandi.

Sono però frequenti masse di prasiniti con elementi albitici assai maggiori, raggiungenti i 5 o 6 millimetri. Così sono quelli di alcune prasiniti cloritiche dei dintorni di Chiavrie in valle di Susa. Pure ad elementi albitici molto grandi è la prasinite cloritica raccolta da C. Schmidt presso Brusson nella valle di Challant, il cui campione fu oggetto di un interessante e diligente lavoro di Preiswerk¹, il quale collo studio ottico e con analisi chimiche riuscì a dare valida con-

¹ H. PREISWERK, *Untersuchung eines Grünschiefers von Brusson (Piemont)* (Centralblatt für Mineralogie, etc., 1901, n. 10).

Sarebbe desiderabile che degli studi come questo di Preiswerk fossero intrapresi più soventi dai mineralogisti. Il loro concorso nello studio dei minerali costituenti le rocce ed aventi grande importanza per la quantità in cui entrano nella costituzione della crosta terrestre, può essere fecondo di importanti risultati, come lo prova, ad esempio, il Lacroix colla sua bella opera sulla Mineralogia della Francia e delle sue colonie.

ferma alle nostre ed altrui precedenti determinazioni, quale termine assai prossimo all'albite dei plagioclasti delle rocce prasinitiche.

Prasinite micromera massiccia. — Questa roccia proviene dalla metamorfosi di parti afanitiche a cui passano certe eufotidi sotto il ghiacciaio di Lavage, presso il Piccolo S. Bernardo (Analisi V).

La roccia è di color bigio, compatta, a frattura granulare minuta, ed ha l'aspetto di certe lave e porfiriti. Notevole è il colore che non ha nessun tono verde, malgrado la presenza di anfibolo e clorite come elementi costituenti. Non presenta il minimo accenno ad una qualsiasi zonatura.

A. M. Fondo a mosaico di minuti elementi di albite (inferiori a 30 μ) a suture irregolarissime, soventi geminati, con piccole aree occupate da clorite a bassissima birifrangenza.

Questo fondo è poi tempestato da frequenti piccole plage e numerosissimi cristalletti automorfi di zoisite passanti talora ad epidoto, e da grani ed aciculi di questo ultimo minerale e di attinoto, nonchè da rare pagliuzze di mica bianca. Cristalletti di rutilo e granuli di titanite sono pure sparsi qua e là (fig 5 della Tav. IX, ingrand. 50 D).

Le eufotidi che sono sul terreno associate a questa roccia sono ancora riconoscibili, malgrado il profondo metamorfismo subito, sicchè noi dobbiamo ritenerla come una forma micromera di contatto di esse. L'analisi chimica corrisponde d'altronde abbastanza con alcune analisi di rocce diabasiche, malgrado l'eccezionale tenore in soda, al quale si contrappone un tenore in CaO eccezionalmente basso.

Fra le eufotidi e le diabasi, le cui analisi sono note, sono bensì poche le rocce presentanti una tale acidità e così forte tenore in soda, sicchè potrebbe venire l'idea che si tratti invece di metamorfosi di rocce a felspatidi. Però non mancano degli esempi, e appunto nella regione stessa del Monte Bianco, di rocce diabasiche aventi composizione analoga a quella della roccia in parola. Alludo alle interessanti masse di porfiriti variolitiche e arborizzate di Bonnes e di Fenils nel Chiabese, studiate petrograficamente da Michel-Levy nel suo lavoro già citato sul prolungamento della catena delle Aiguilles Rouges.

L'illustre A. nota come alcune di quelle rocce presso Bonnes siano molto ricche in felspati più acidi dell'andesina (p. 48), i quali sovente costituiscono essenzialmente la roccia, e riporta una analisi di una porfiritite rossa arborizzata di quella località, eseguita da Duparc, nella quale con una acidità prossima a quella dell'analisi da noi data, cioè di 52.85, si nota l'altissimo tenore di 8.22 % in soda; sì che la roccia appare come costituita per tre quarti da oligoclase e per un quarto da clorite, calcite ed oligisto. Un altro campione di porfiritite arborizzata ricco in pirosseno, pure analizzato da Duparc, presenta ancora il tenore di 5.51 % in soda, prossimo perciò a quello di qualcuna delle nostre prasiniti.

D'altronde non sono rare nelle Alpi occidentali delle rocce prasinitiche nelle quali il costituente più importante e prevalente di gran lunga sugli altri è l'albite, sicchè nel mio precedente lavoro « sopra alcune metamorfosi, ecc. » nella tabella riassuntiva data a pag. 204, indicavo come provenienti dalle diabasi un gruppo di *prasiniti essenzialmente felspatiche e felspatiti*. Le rocce di questo gruppo possono provenire da porfiriti analoghe a quella di Bonnes analizzata da Duparc o da tufi diabasici, per qualsiasi causa arricchitisi in felspati durante il loro deposito.

Prasinite zonata delle cave sotto il Colletto presso Trana. — È una roccia verde-chiaro in massa, con sottili zonature epidotiche, inserita fra potenti masse di serpentine (Analisi VI).

Anche ad occhio nudo si scorgono le macchie chiare, grosse al più $\frac{1}{2}$ di millimetro, che gli elementi di albite formano sul fondo più ricco in elementi ferro-magnesiaci.

A. M. Nel fondo albitico gli elementi di felspato sono sovente separati fra loro da plaghe di clorite con elementi di epidoto e di calcite, la quale include ed è inclusa al tempo stesso in tutti gli elementi, cosicchè ne è contemporanea.

Il felspato è lardellato da innumerevoli aciculi attinotici, da cristalli di epidoto, zoisite, da più rare pagliuzze di mica bianca, e da innumerevoli grani di un minerale che è sparso in tutta la roccia

e che ha i caratteri della titanite (leucoxene). Che si tratti di questo minerale è confermato dall'analisi in cui figura 1,32 di TiO_2 , mancando il rutilo nella roccia.

L'albite presenta soventi geminazioni multiple.

La calcite è particolarmente distribuita secondo le sottili zonature giallognole, visibili ad occhio nudo e parallele alla stratificazione della roccia; la quale per questo carattere si manifesta pure come una roccia di origine mista di elementi tufacei con poco deposito calcareo, il che d'altronde è pure indicato dal forte tenore, prossimo ad 11 % di CaO . L'attacco all' HCl di una porzione di roccia libera dei cristallini più o meno completamente automorfi di attinoto, clorite, albite ed epidoto.

Questa origine mista pare anche confermata dalla perfetta zonatura che la roccia presenta per tutta l'estensione di alcuni chilometri della zona di prasinite in questione, che dal Sangone per Monte Rocciacorba si estende fino al versante del Chisone verso Cumiana, compresa fra masse serpentinosi. Una tale perfetta zonatura in tutta l'estensione della massa sembra poco spiegabile con soli fenomeni di laminazione, giacchè le rocce scistose che da questi ripetono la loro origine se possono presentare localmente scistosità ed anche zonatura perfetta, difficilmente presentano tali caratteri con grande uniformità e costanza sopra grandi estensioni. In tutta questa massa il tipo della roccia varia sensibilmente per grossezza di grani, raggiungendo gli elementi albitici 2 o 3 millimetri, e per composizione mineralogica, presentandosi talvolta oltre all'anfibolo verde anche quello violetto.

Prasinite cloritica presso Campo Ligure (Ovada). — È una roccia a scistosità non molto marcata, a fondo di color verde-bigiastro con innumerevoli occhietti felspatici grossi $\frac{1}{2}$ mm. (Analisi VII).

A. M. Il felspato albitico è in elementi tondeggianti, soventi geminati, lardellati da non abbondanti aciculi di anfibolo con grossolano orientamento, simulante una struttura fluidale, la quale è pure indicata dall'orientamento della clorite abbondantissima che è interposta fra i felspati, come appare della figura 6 della Tav. IX. Anche in mezzo

alla clorite si interpongono aciculi d'attinoto e cristalletti di epidoto e zoisite; rari elementi di mica bianca, poca calcite, pirite e abbondanti cristalletti di sfeno completano la fisionomia della roccia.

L'analisi della quale coincide assai bene con quelle di molte rocce diabasiche, sicchè noi la possiamo considerare come proveniente dalla metamorfosi di una roccia massiccia o di un tufo quasi puro, in cui la quantità degli elementi mineralogici conservarono all'incirca i rapporti esistenti nella roccia.

Diorite gnessica metamorfosata in prasinite zoisitica con biotite e quarzo. -- Inverso Porte, Valle del Chisone.

Questa roccia la cui analisi chimica (VIII) venne eseguita sopra d'un campione raccolto dal mio collega Novarese, fa parte di quella massa dioritica inserita negli scisti grafitici di Val Chisone da noi detta (l. c.) massa di Malanaggio, della quale si diedero i principali caratteri petrografici e si notò particolarmente il locale passaggio a rocce metamorfiche con feldspati rigenerati, che dissi *prasinite biotitiche* per causa dell'abbondante biotite primitiva, conservatasi parzialmente inalterata nella roccia metamorfica.

Rimando il lettore che voglia farsi un concetto di questa roccia a quanto dissi nel capitolo *rocce dioritiche* nel lavoro citato sui dintorni di Pinerolo (p. 406), dove sono accennati i passaggi laterali da dioriti essenzialmente orneblendiche a quelle essenzialmente biotitiche. La roccia di cui è data l'analisi appartiene a questo ultimo tipo, essendo la biotite, quantunque per buona parte trasformata in clorite, abundantissima, mentre mancano affatto la orneblenda titanifera e l'anfibolo verde secondario. Il feldspato secondario abbondante, di rado geminato, riconoscibile in alcuni elementi per un plagioclasio acido (oligoclase-albite) è fittamente tempestato da cristalletti di zoisite, piccoli granati, leucoxene e rutilo, questi due ultimi accessori. Il quarzo è costituente meno importante.

Le rocce descritte brevemente, delle quali ho presentate le analisi, sono tipi assai distinti di anfiboliti e di prasiniti. Esistono però

fra di esse numerosi termini di passaggio con tipi intermediari di prasiniti anfibolitiche e di anfiboliti prasinitiche, secondo l'importanza che vi ha il plagioclasio acido rigenerato.

Ho notato negli esempi dati lo sviluppo di poco anfibolo violetto nella porfrite prasinitizzata di Collegno e nell'anfibolite del Lago superiore di Giaveno; ma potrei citare esempi di prasiniti in cui l'anfibolo è in buona o in massima parte anfibolo violetto.

Analogamente se la lawsonite è particolarmente sviluppata nelle anfiboliti sodiche e generalmente mancante nelle prasiniti, si hanno tuttavia esempi di queste rocce con lawsonite. Cito il caso di una porfrite diabasica trovata errativa sopra San Damiano in val Maira, le cui parti prasinitizzate presentano cristalletti automorfi di lawsonite lardellanti insieme ad epidoto, anfibolo e clorite il mosaico felspatico rigenerato. Anche al contatto di diabasi ed eufotidi coi calcescisti si trovano sottili zone di rocce, i cui costituenti essenziali sono l'albite e la lawsonite, e che per analogia colla nomenclatura adottata si possono dire *prasiniti lawsonitiche*.

Discussione delle analisi chimiche.

Lasciando per un momento da parte l'analisi VIII, che è molto distinta dalle altre della tabella della pag. 40, noi abbiamo tre analisi di rocce massiccie metamorfosate e quattro analisi di rocce scistose. Considerato il modo di metamorfosi delle prime, avvenuto conservando l'aspetto loro originario e con limitatissima libertà di movimento negli elementi chimici, come venne messo in rilievo nelle diagnosi petrografiche, possiamo ritenere che, la costituzione chimica di esse dopo la metamorfosi non sia sensibilmente differente da quella delle rocce primitive.

È particolarmente notevole il fatto della pari acidità della roccia di Valle Grana con quella di Collegno, malgrado la tanto differente costituzione mineralogica e la diversissima natura dei felspati del

primo tempo, quali noi dobbiamo supporli esaminando i prodotti della loro metamorfosi. Noi abbiamo infatti per le due rocce i costituenti mineralogici così distribuiti:

Porfirite di Valle Grana

Albite accessoria;
Anfibolo verde e violetto, costituente essenziale;
Lawsonite e *zoisite*, costituenti importanti;
Clorite;
Leucoxene;
Pirite.

Porfirite di Collegno

Albite essenziale;
Anfibolo verde e violetto (poco);
Epidoto costituente importante;
Clorite;
Leucoxene;
Oligisto, magnetite, ilmenite.

La prima è adunque una *anfibolite sodica lawsonitica* e la seconda una *prasinite epidotica*.

Si potrebbe obiettare che la trasformazione del felspato della porfirite di Valgrana in prevalente lawsonite sia dovuta ad un trasporto di calce dai calcescisti ambienti, tanto più facile in quanto la massa della roccia in questione è piccola. Però l'assenza di calcite nella roccia, la sua acidità, che è quella delle porfiriti, il forte tenore in soda, la quale, ammesso uno scambio di elementi chimici a distanza, avrebbe appunto dovuto essere sostituita dalla calce, mi pare siano sufficienti a mostrare poco probabile quell'ipotesi.

Questa è pure esclusa dalle frequenti prasiniti ricche in albite contenenti calcite in quantità più o meno considerevole e dai frequenti calcestiti albitici e albitofiri, le quali rocce dimostrano che nel metamorfismo regionale alpino felspati molto prossimi all'albite si possono generare a contatto della calcite, ed inglobandola meccanicamente, senza che essa entri con quelli in combinazione per dare felspati più basici ¹.

¹ Questo fatto così frequente e generale sembra potersi spiegare secondo alcuni petrografi colla legge del minor volume dei minerali metamorfici originati sotto forti pressioni, per cui l'acido carbonico non possa mettersi in libertà. È però dubbio che questa spiegazione si possa accampare nel caso di cristalli di albite metamorfica di molti calcari eocenici, le cui rocce scistose associate non presentano sensibile metamorfismo. Non parmi quindi da escludersi l'ipotesi che quel fatto sia dovuto a leggi più generali della cristallogenesì.

Un'altra ipotesi potrebbe essere quella di uno scambio di calce e soda avvenuto fra il felpato ed il pirosseno durante la metamorfosi, essendo appunto la perdita in calce per parte del pirosseno uno dei fenomeni che accompagnano la uralitizzazione. A parte che la presenza di zoisite non infrequente nella roccia può da sé spiegare la nuova posizione della calce messa in libertà nella uralitizzazione dei pirosseni, a me sembra che lo studio della roccia renda invece assai verosimile l'ipotesi che la roccia primitiva fosse una roccia a felspati eccezionalmente basici, ed assai ricca in pirosseno alquanto sodico, ad elementi piuttosto grandi, se ne giudichiamo dagli elementi di anfibolo verde e violetto che derivarono dalla loro metamorfosi. Sono noti nella letteratura dei pirosseni delle rocce gabbriche, aventi un certo tenore in soda, e il fatto così frequente della trasformazione in anfiboli violetti dei pirosseni di eufotidi e diabasi di moltissime località mostra come quei pirosseni debbano essere tutti più o meno sodici, come già ebbi ad osservare per i pirosseni delle rocce eclogitiche ed affini.

Comunque sia di queste ipotesi, è innegabile il fatto che la roccia di Valgrana, quantunque di costituzione chimica assai prossima a quella di Collegno, doveva avere costituzione mineralogica molto differente, e specialmente una assai maggior ricchezza in pirosseno. Il felpato doveva essere un labrador-bitownite, il che è in accordo col maggior tenore di circa 1,90 % della roccia in calce e col minor tenore di 1,16 in soda.

Oltre alla quasi identica acidità le due rocce hanno tenori molto prossimi in allumina, in ferro (ferro totale) ed in magnesia. Differiscono sensibilmente per tenori in calce e soda, essendo minore il primo e maggiore il secondo nella prasinite, la quale ha pure di poco maggior tenore in potassa. Se estendiamo il paragone alla roccia prasinitica massiccia del ghiacciaio di Lavage (V), vediamo che essa è notevolmente più acida delle precedenti, ha tenore in ferro sensibilmente inferiore, mentre non varia quello in magnesia; e infine che si abbassa notevolmente il tenore in calce, mentre aumenta quello in soda anche a detrimento di quello in potassa.

- I. *Anfibolite sodica* di M. Vallonet (Colle Maurin, Valle Maira).
 II. *Anfibolite zonata* presso il Lago superiore di Giaveno (V. Sangone).
 III. *Anfibolite sodica* massiccia proveniente dalla metamorfosi completa di una porfirite diabasica di Comba Grande (Valle Grana).
 IV. *Prasinite* massiccia proveniente dalle metamorfosi di una porfirite diabasica (nell'anfiteatro morenico della Dora Riparia presso Collegno).
 V. *Prasinite* massiccia proveniente dalla metamorfosi di una forma micromera di contatto di un'eufotide (sopra il ghiacciaio di Lavage, Piccolo S. Bernardo).
 VI. *Prasinite* zonata delle cave sotto il Colletto di Trana (V. Sangone).
 VII. *Prasinite* cloritica di Campoligure (Ovada).
 VIII. *Prasinite* zoisitica con biotite o quarzo proveniente dalla metamorfosi di una diorite biotitica (Inverso-Porte, Valle Chisone).

NB. Tutte queste analisi furono eseguite dall'Ing. G. Aichino.

	ANFIBOLITI			PRASINITI				DIORITE met. in pras. — — —
	Scist.	Scist. zonata	Mass.	Mass.	Mass.	Scist. zonata	Scistosa	
	— I	— II	— III	— IV	— V	— VI	— VII	
SiO ₂ . . .	48.67	50.26	51.53	51.41	55.68	50.38	51.71	60.58
TiO ₂ . . .	0.45	0.30	tr.	0.65		1.32	0.91	0.48
Al ₂ O ₃ . . .	18.36	15.20	18.20	18.65	18.45	17.65	14.75	15.36
Fe ₂ O ₃ . . .	10.30	11.04	11.70	11.25	9.15	10.02	12.48	2.98
FeO								5.92
MgO	5.49	5.13	2.39	2.67	2.79	4.77	8.42	2.64
CaO	11.03	11.14	8.48	6.60	4.39	10.95	6.39	5.08
Na ₂ O	1.12	4.07	5.60	6.76	7.06	2.52	3.48	4.04
K ₂ O	0.11	0.81	0.56	0.72	0.27	0.24	0.39	0.67
Pb ₂ O ₅ . . .	tr.	tr.			0.29			
Perdita al fuoco . . .	4.20	2.55	2.16	2.01	2.16	2.52	2.09	1.78
TOTALI . .	99.75	100.50	107.62	100.72	100.24	100.37	100.62	99.59
Densità		2.98	3.05	3.14	2.74		2.91	

Dal paragone di tutte le rocce I—VII, risulta che le rocce scistose a scistoso-zonate sono meno ricche in soda, mentre per contro eccetto la VII sono notevolmente più ricche in calce; questa osservazione si estende a tutte le rocce scistose se consideriamo la somma dei tenori in calce e magnesia. Questo fatto può essere connesso coll'origine assai probabilmente mista di queste rocce scistose, in alcuna delle quali, come ad esempio nella VI, la distribuzione della calcite abbondante secondo sottili letti paralleli alla scistosità sembra accennare chiaramente alla sua origine per deposito misto.

L'analisi VIII mostra che la roccia delle cave di Malanaggio ha la costituzione di una diorite, e la sua metamorfosi quasi completa in una prasinite speciale ci dice quali estesi limiti di acidità possano presentare le rocce prasinitiche. Le grandi analogie poi tra la sua costituzione e quella data da H. Washington di un micascisto a glaucofane di Cafè Skarbeli (Syrá), sono nuova riprova del fatto, d'altronde ovvio, che rocce aventi costituzione mineralogica diversissima possono per contro avere analisi chimiche molto prossime.

Ho descritto solo alcuni esempi, i più chiari, di rocce conservanti il loro aspetto macroscopico caratteristico primitivo pure essendo completamente metamorfosate, ma avrei potuto citarne molti altri; ad esempio quelli delle diabasi porfirittiche metamorfosate in anfiboliti sodiche di Rocca Niera in Val Chianale, della massa in cui sono così abbondanti le rocce ricche in lawsonite, e quelle analoghe dallo Stella raccolte al Monte Viso, o quelli delle varioliti trovate in molti punti, sempre completamente anfibolizzate e prasinitizzate, come quelle della grande massa diabasica di Aceglio, di Rocca Pergo e Beccas del Mezzodi, allo spiovente tra la Maira e la Stura di Cuneo.

I pochi esempi addotti però bastano a dimostrare:

1. Che delle rocce diabasiche dei vari tipi possono essere trasformate completamente in rocce aventi la costituzione mineralogica e la struttura microscopica delle *prasiniti* e delle *anfiboliti sodiche*.

2. Che questa profonda, completa metamorfosi, può avvenire senza scambio a distanza di elementi chimici, per modo che l'aspetto

macroscopico di quelle rocce può essere abbastanza conservato, lasciandone ancora riconoscibile la natura primitiva; cosicchè una laminazione più o meno intensa non è una condizione necessaria perchè la metamorfosi completa avvenga.

3. L'esempio della variolite di cui le variole si trasformarono in prasinite, mentre il magma diede luogo ad anfibolite sodica, mostra nel modo più esauriente che quei due tipi rocciosi si possono produrre per metamorfosi, sotto l'impero di identiche condizioni fisiche, di rocce o parti di rocce di costituzione mineralogica e chimica alquanto diverse.

4. Lo stesso fatto è d'altronde dimostrato in più vasto campo dalla osservazione in numerosissimi punti sul terreno dove sono nelle stesse masse associate od alternano ripetutamente, per zonature anche sottilissime, le due forme di rocce metamorfiche.

Questi fatti si possono spiegare o colla naturale struttura zonata delle rocce massicce primitive, o colla alternanza di straterelli di natura un po' diversa nel deposito dei materiali tufacei. La natura zonata in molte masse di rocce diabasiche delle Alpi Cozie è evidente, come è frequente l'intima associazione di molti tipi dalle eufotidi alle varioliti in una stessa massa.

Tali fatti, dovuti in parte alla inomogeneità dei magma che loro dettero origine, in parte alle diverse condizioni del loro consolidamento ed in parte ancora alle azioni meccaniche posteriormente subite, bastano a spiegarci l'associazione così intima delle numerose forme litologiche metamorfiche, mentre ci convincono poter essere le medesime dovute a differenze originarie anche leggieri di costituzione chimica e mineralogica delle rocce da cui provengono, quantunque le analisi non indichino finora chiaramente quali siano le differenze di costituzione chimica che influiscono sulla natura tanto diversa dei prodotti metamorfici.

Considerazioni sulla natura del metamorfismo
al quale sono dovute le rocce metamorfiche ora descritte.

In alcuni lavori precedenti ho già espresso il concetto che i fenomeni ai quali dobbiamo così profondi e generali mutamenti di costituzione mineralogica e di struttura delle rocce massiccie o stratificate della zona delle pietre verdi, nella regione alpina occidentale, non siano da ascrivere, come vollero alcuni autori, al metamorfismo di contatto¹. Il solo fatto che anche le rocce eruttive al cui contatto sarebbe dovuto il metamorfismo generale, hanno subito metamorfosi profondissime, con produzione di minerali e strutture nuove come nelle rocce stratificate in cui sono incluse, basta a dimostrare che qui si tratta di *metamorfismo generale, che si manifestò posteriormente alla venuta di quelle rocce eruttive, ed agì indifferentemente su di esse e sulle rocce incassanti*. L'altro fatto della mancanza generale di fenomeni di contatto chiari e specialmente dei minerali ad essi caratteristici attorno alla maggior parte delle masse anche ingenti di rocce massiccie mostra che *quel metamorfismo colla sua azione dovette cancellare più o meno completamente le tracce del metamorfismo di contatto propriamente detto*, tracce che, data la natura basica delle rocce eruttive, poterono anche essere di poca importanza.

D'altra parte, astrazion fatta del metamorfismo generale delle rocce massiccie, se col metamorfismo di contatto si potrebbero spie-

¹ S. FRANCHI, *Sopra alcune metamorfosi*, ecc. (p. 200). — *Sull'età mesozoica*, ecc. (p. 480). — Non reca poca meraviglia il vedere qualche autore riabbracciare questo concetto già sostenuto dal Sismonda, dopo i recenti studi che da ogni lato si vennero pubblicando sulle diverse valli delle Alpi occidentali. Quivi i soli terreni che presentino alcuni caratteri comuni colle zone di contatto delle rocce granitiche sono le numerose zone di *scisti graflici macchiati*, con chiastolite, granato, sismondina, biotite, ecc., includenti i noti giacimenti di grafite, le quali zone sono intercalate fra importanti masse di dioriti, gneiss dioritici e gneiss granitoidi nelle Alpi Cozie. Ciò ben inteso oltre alle zone di contatto della sienite di Biella e delle dioriti di Brosso e di Ivrea.

gare le metamorfosi di anche larghe zone di rocce stratificate intercalate fra grandi masse di rocce eruttive, come è il caso di alcune regioni della valle di Aosta, delle valli di Lanzo e della valle di Susa, nonchè del gruppo del Monviso, esso non potrebbe più spiegare le metamorfosi di estese zone di rocce calcaree o calcareo-argillose, larghe diecine di chilometri, quando le masse di rocce eruttive intercalate sono rade e piccole masserelle, come è il caso di molte regioni delle valli del Chisone, del Pellice, della Varaita, della M'aira e della valle del Guil, nel versante francese. L'ispezione della cartina geologica, dove quelle masse sono tutte accuratamente segnate, e dei profili annessi al mio lavoro del 1898 è molto istruttiva e convincente a questo riguardo.

Un'altra regione, il cui esame ha grande importanza sotto questo punto di vista, è la zona di calcescisti secondari di Courmayeur, nella quale, a N.E del vallone di Breuil, oltre ai calcescisti si notano filladi, micascisti, gneiss minuti, e sopra una zona larga da 4 a 5 chilometri ed estesa 15 o 20, dai pressi del colle del Piccolo S. Bernardo al confine svizzero al Gran S. Bernardo, non si notano che rasissime masserelle, mai più potenti di qualche metro, di rocce verdi (prasiniti) assai probabilmente di origine mista (depositi di materiali tufacei). In questa zona è notevolissimo un potente banco di roccia quarzifica con biotite e raro felpato, la quale fu vista estendersi ininterrotta per una diecina di chilometri fra calcescisti e calcari, senza avere rapporti di vicinanza con alcuna massa di rocce eruttive, tranne quella della sottile massa di granito porfiroide a sud di Morgex, e dei porfidi di M. Chêtif, e quella dei protogini del Monte Bianco, masse queste tutte di età anteriore. In questa stessa regione la zona carbonifera, di 7 od 8 chilometri di ampiezza, presenta essa pure metamorfismo marcatissimo, con formazione di micascisti e di gneis psammitici, pur non presentando intercalazioni di rocce eruttive.

L'età secondaria della zona delle pietre verdi del Gastaldi, ormai provata dalle nuove interpretazioni tettoniche, basate sui ritrovamenti di fossili nelle rocce cristalline di diverse regioni delle Alpi Cozie e

delle Graje, zona nella quale sono incluse le rocce stratificate di cui si trattò nella prima parte di questo lavoro, rende più interessante la ricerca delle cause del metamorfismo che indusse una così grande cristallinità in rocce relativamente recenti; e ciò specialmente pel fatto che terreni di quella stessa età in regioni non da quella lontane non presentano tracce sensibili di metamorfismo. Questo fatto può anzi essere utile nella ricerca di quelle cause, permettendoci esso di fare qualche induzione, onde spiegarci da quali condizioni differenti della storia geologica di quei depositi sia stata causata la loro tanto diversa natura attuale.

Se difatti noi consideriamo i diversi profili conosciuti attraverso alla catena alpina occidentale, noi vediamo delle zone di terreni di eguale età e ugualmente intensamente ripiegati presentare delle forme litologiche molto diverse, se considerate dal punto di vista della loro cristallinità. Così è nelle Alpi Liguri dove dai profili dello Zaccagna fu messa in evidenza la struttura ripiegata a ventaglio, come nelle Alpi Cozie, dove questa stessa struttura fu dimostrata dallo scrivente e da alcuni suoi colleghi italiani e francesi, come per le Alpi Graje, dove quella stessa struttura è pure messa fuori di dubbio da diversi autori.

Però, mentre nelle Alpi Liguri e nelle Alpi Cozie i terreni secondari che si sviluppano all'interno della grande zona permo-carbonifera che è sull'asse del ventaglio sono profondamente metamorfosati colla *facies di calcescisti* o *schistes lustrès*, quegli stessi terreni all'esterno della zona permo-carbonifera suddetta sono a *facies ordinaria* o *brianzonese*, con metamorfismo poco sensibile. Permodochè si hanno, per citare un solo esempio, due formazioni liasiche fossilifere con *arietites* e *belemnites*, una esterna presso Sambuco in Val Stura di Cuneo, l'altra interna nel vallone Infernetto (Valgrana) distanti fra loro soli 8 chilometri, di cui la prima è costituita da calcari compatti e scistosi ordinari e la seconda da calcescisti più o meno arenacei albitici e biotitici, associati con calcescisti (*schistes lustrès*) tipici, con micascisti a glaucofane, e con diversi tipi di rocce verdi (eufotidi, serpentine, diabasi metamor-

fosate, prasinití) La presenza delle rocce verdi mostra che si tratta di formazioni originariamente già molto differenti nel loro complesso, delle quali però il metamorfismo ha accentuate le differenze originali.

Nelle Alpi Graje e nelle Pennine (valle dell'Isère, alte valli d'Aosta e del Rodano) ai due lati della stessa zona permocarbonifera si hanno invece terreni secondari con facies di calcescisti, con complessi litologici essenzialmente cristallini, con forme litologiche identiche ed identicamente associate ¹. Così la zona di terreni secondari, ora riconosciuta fossilifera, che attraversa la valle di Aosta fra il Piccolo ed il Gran S. Bernardo, e che è la prosecuzione della *zona del brianzonese* del Lory, la quale presenta appunto la *facies brianzonese* nelle Alpi Liguri e nelle Cozie, pur non essendo più intensamente ripiegata in un punto che nell'altro, si comporta molto diversamente rispetto al metamorfismo. Noi osserviamo adunque nella stessa zona di terreni il passaggio dalla *facies brianzonese* a quella di *schistes lustrés*, con gradi molto diversi di metamorfismo.

Questa osservazione parmi giustifichi il dubbio che se è vero che i terreni non ripiegati non presentino in generale grandi fenomeni di metamorfismo, non sia sempre necessariamente esatta l'asserzione inversa che i terreni fortemente ripiegati debbano tutti presentare un profondo metamorfismo.

Si concepisce d'altronde che, ammesso che la sede del metamorfismo regionale sia a grandi profondità sotto la superficie del suolo, lo sprofondamento dei terreni che ne subirono l'influenza abbia potuto essere soventi accompagnato da più o meno intensi ripiegamenti, i quali hanno potuto complicarsi ed accentuarsi durante il loro risollevarsi. Cosicché questi ripiegamenti possono considerarsi come fenomeni soventi concomitanti, quantunque non necessari del metamorfismo regio-

¹ S. FRANCHI, *Nuove località con fossili mesozoici nella zona delle pietre verdi presso il Colle del Piccolo San Bernardo* (Boll. R. Com. geol. Anno 1899, n. 4).

nale. Colla quale considerazione si può spiegare il fatto che i terreni profondamente metamorfosati, che i sollevamenti delle catene montuose e le successive erosioni ci permettono di vedere, siano pure per la maggior parte fortemente ripiegati. In modo analogo, secondo Lyell, col maggior numero di movimenti ai quali andarono soggetti i terreni delle serie più antiche si spiega il fatto della maggior frequenza con cui in essi si osservano, a causa della più probabile loro denudazione, gli affioramenti di terreni intensamente metamorfosati (*Principes de Géologie*, Vol. I, p. 186).

Tanto meno esatto sarebbe il volere stabilire una certa proporzionalità fra l'intensità dei ripiegamenti che si notano in una formazione e la cristallinità indotta per metamorfismo nelle rocce che la costituiscono.

Tutti i geologi che hanno studiate regioni ripiegate potrebbero, io credo, citare esempi in proposito; ed io non citerò che l'esempio della zona del Brianzonese, i cui ripiegamenti ripetuti con salti e ricoprimenti sono noti nella regione delle Alpi Marittime, nelle Hautes-Alpes francesi e nel Brianzonese per studi recenti molto accurati e particolareggiati, e dove tuttavia il metamorfismo è poco sensibile.

Che dire poi dei terreni delle *falde di ricoprimento* (nappes de recouvrement) delle prealpi del Chiabrese e di una parte della Svizzera, i quali, malgrado i meravigliosi ed eccezionali ripiegamenti rilevati dai lavori di E. Ritter, H. Schardt e di M. Lugeon, non presentano sensibile metamorfismo?

Da queste considerazioni mi pare che si possa trarne la conseguenza che *i forti ripiegamenti di una formazione, non sono condizione sufficiente, e neppure sempre condizione necessaria, perchè nelle rocce che la costituiscono intervenga un profondo metamorfismo.*

Bisogna adunque perchè questo intervenga che vi sia il concorso di altre condizioni non bastando le sole azioni dinamiche svolte durante i ripiegamenti; ed il pensiero ricorre tosto al calore, condizione fisica tanto importante in tutte le reazioni chimiche, i cui effetti furono in questi ultimi tempi dimostrati sperimentalmente avere grande

influenza, assai maggiore che non la pressione, nell'azione dissolvente dell'acqua e di alcune soluzioni sopra diversi minerali ¹.

Però lo studio microscopico delle rocce, specialmente delle rocce massiccie in via di trasformazione, ci mostra che *quelle date condizioni di pressione e di temperatura non sono nemmeno sufficienti perchè il metamorfismo avvenga*. Noi osserviamo infatti in una massa di roccia delle parti dove il metamorfismo è completo, altre dove è iniziato appena; e ciò non solo in grande scala, sopra le masse di rocce sul terreno, o sopra blocchi o su campioni da collezione, ma in uno stesso preparato microscopico. Ad esempio nello stesso preparato di diabase alcuni elementi di pirosseno sono quasi completamente uralitizzati, mentre altri sono quasi intatti, e certi elementi felspatici primitivi sono ancora perfettamente riconoscibili e determinabili, mentre altri non più lontani di qualche millimetro, o parte degli stessi elementi, sono completamente trasformati in albite e zoisite od in albite e lawsonite, ecc.

Siccome è presumibile che gli elementi a distanza di qualche millimetro fossero all'incirca nelle stesse condizioni di pressione e di temperatura, se queste condizioni fossero le sole necessarie si dovrebbe osservare in essi uguale grado di metamorfismo; quando cioè non fossero necessari altri fattori, rispetto ai quali si possano trovare in condizioni diverse i costituenti mineralogici sui quali il metamorfismo si doveva esercitare. Sembrami perciò necessario ammettere che una terza condizione sia stata necessaria, la quale per sua natura non potesse

¹ G. SPEZIA, *La pressione nell'azione dell'acqua sull'apofillite e sul vetro* (Atti R. Acc. Sc. Torino, Vol. XXX, disp. 10).

— *Contribuzioni di geologia chimica. Esperienze sul quarzo* (Id. id., volume XXXIII, disp. 5^a).

— *Contribuzioni di geologia chimica. Esperienze sul quarzo e sull'opale* (Id. id., id., disp. 15^a).

— *Contribuzioni di geologia chimica. Solubilità del quarzo nelle soluzioni di silicato sodico* (Id. id., Vol. XXXV, disp. 13^a-14^a).

— *Contribuzioni di geologia chimica. Sulla trasformazione dell'opale xiloide in quarzo xiloide* (Id. id., Vol. XXXVII, disp. 15^a).

trovarsi negli stessi rapporti contemporaneamente rispetto a tutte le parti della roccia; cioè la presenza di uno o più agenti chimici, che non abbiano potuto venire in modo uniforme a contatto colle diverse parti della roccia stessa. Fra gli agenti chimici che abbiano potuto trovarsi a contatto colle rocce di sì estese formazioni, e quindi agire su di esse in modo così generale, io non vedo che l'acqua. Agente questo la cui necessaria presenza ed attività in tutti i fenomeni di metamorfismo di cui stiamo parlando è messa fuori dubbio da numerosissimi fatti e non ha bisogno di essere dimostrata.

Prendiamo ad esempio le eufotidi e le differenti rocce diabasiche sulla natura dei cui minerali primitivi od originari non rimane dubbio, e consideriamo i minerali secondari che si trovano abbondanti nelle rocce metamorfiche da esse derivate.

Fra di essi figurano come costituenti più o meno importanti di nuova formazione:

- 1° Anfiboli dei gruppi della glaucofane e dell'attinoto;
- 2° Epidoti e zoisiti (con H_2O da 1.60 a 2.0 %);
- 3° Lawsonite (con oltre 11 % di H_2O);
- 4° Cloriti (con tenori in H_2O da 8 a 15 %);
- 5° Miche bianche sericitiche (con 2 a 6 % di H_2O).

I quali minerali complessivamente costituiscono non di rado la maggior parte della roccia metamorfosata.

Ora se per quegli anfiboli non è definitivamente provato che contengano acqua di costituzione, la cosa sembra molto probabile; e gli altri minerali hanno tali tenori di acqua di costituzione che la percentuale di acqua di costituzione della roccia, cioè di acqua che dovette entrare come elemento chimico costituente durante i processi della metamorfosi, può raggiungere facilmente alcune unità.

Un'altra prova non meno importante, che l'acqua ha presieduto ai fenomeni di metamorfismo, la si ha nel fatto delle frequenti vene macro e microscopiche che si notano in quelle rocce metamorfiche, vene che sono riempite degli stessi minerali secondari che le costituiscono in gran parte, e aventi gli stessi caratteri. Questi minerali

delle vene, cioè glaucofane, albite, epidoto, zoisite, lawsonite, clorite, quarzo, calcite, oligisto, dovuti evidentemente a soluzioni acquose che circolavano nelle fratture delle rocce, servono a dimostrare la analoga origine per cristallizzazione in soluzioni acquose dei loro similari, costituenti le masse delle rocce medesime.

Parmi superfluo aggiungere che l'acqua che dette luogo a tali vene non possa essere stata la sola acqua delle inclusioni liquide, ma che il fenomeno sia dovuto essenzialmente alla cosiddetta acqua di cava che imbeveva tutti i meati della roccia e ne riempiva tutte le fessure.

L'acqua adunque era presente durante i fenomeni di metamorfismo, agì come solvente dei silicati primitivi, fu il veicolo necessario per la formazione dei minerali secondari, ed entrò come costituente chimico nella maggior parte di questi.

Per le considerazioni ora esposte io non credetti potere adottare nei miei lavori sopra diverse serie di rocce alpine la espressione di *dinamometamorfismo*, introdotto nella petrografia ed adottato da eminenti petrografi in senso che parmi, in molti casi, troppo generale. Dal momento che le azioni dinamiche non sono il fattore unico e nemmeno in ogni caso un fattore diretto del metamorfismo alpino regionale, parve a me pure che fosse impropria e non esatta una espressione che etimologicamente accennasse semplicemente a quelle azioni.

Numerose sono le osservazioni di autori diversi (Zirkel, Bonney, Mac Mahon, Chelius, Rose, Lepsius, Lacroix, Chester, G. H. Williams, Teall, Geikie, Osann) le quali si oppongono al concetto che è incluso nell'espressione *dinamometamorfismo*, quando lo si adopera per indicare il metamorfismo generale di larghe ed estesissime zone di terreni; e sotto questo punto di vista interessanti sono le considerazioni dello Zirkel in diversi capitoli del suo *Lehrbuch der Petrographie*, e segnatamente nella parte generale (Vol. I), e quelle fatte da R. Lepsius nel suo lavoro sull'Attica ¹.

¹ RICHARD LEPSIUS, *Geologie von Attica. Ein Beitrag zur Lehre vom Metamorphismus der Gesteine*. Berlin, 1893.

Riconosciuta così l'importanza dell'acqua con o senza gas in soluzione, non solo come agente, ma ancora come costituente chimico, vediamo come sia possibile spiegare il fatto dell'ineguale sviluppo dei minerali secondari da punto a punto di una roccia, quale lo si osserva in tutte le rocce in via di trasformazione.

La quantità di acqua che può essere assorbita da una roccia sotto una data pressione ad una data temperatura può naturalmente variare di molto a seconda del grado di compattezza della roccia e del suo stato rispetto alle azioni meccaniche anteriormente subite, cioè secondo il suo maggiore o minore grado di frantumazione o laminazione; ma tale quantità deve essere necessariamente limitata. Ora tale riserva di acqua una volta assorbita nella costituzione dei minerali idrati secondari, se per una ragione qualsiasi fosse impedito l'accesso di altra acqua i processi metamorfici sarebbero necessariamente sospesi, quantunque perdurino le altre condizioni ad essi favorevoli. Ma la formazione stessa dei minerali secondari che riempivano le vene micro e macroscopiche ed i meati della roccia dovevano concorrere in date condizioni ad ostacolare, insieme alle forti compressioni, l'afflusso di nuova acqua, che potesse esistere libera nelle rocce o parti di rocce circostanti, sospendendo localmente i processi metamorfici.

Considerando ora i processi che si effettuano coll'intermediario di una quantità di acqua o appena sufficiente od insufficiente alla metamorfosi completa di una roccia, non riesce difficile il concepire come si possano avere delle rocce compatte e senza sensibile laminazione le quali, come le porfiriti delle figure 1 e 4 e la variolite della figura 3 (Tav. VIII) di cui si parlò in questo lavoro, conservino apparentemente la struttura primitiva, a causa dal limitato spazio in cui avvennero gli scambi di elementi chimici, necessari per la formazione dei minerali secondari.

Tutto quanto si disse sulla necessità dell'acqua per la metamorfosi delle rocce diabasiche si potrebbe ripetere per la metamorfosi delle rocce peridotiche in serpentine. Pure in queste si trovano frequenti vene (caratteristiche perfino di certe varietà) le quali contengono

alcuni dei minerali secondari che mostransi abbondantemente nel resto della roccia; ed essi pure sono in gran parte minerali con tenori considerevoli di acqua di costituzione; cosicchè anche per tali rocce serpentinosi, le cui masse hanno tanta importanza in certe regioni alpine ed appenniniche, l'acqua funse da agente e da costituente chimico nei processi metamorfici da cui ebbero origine.

Per le rocce che si dissero di origine mista, derivanti cioè da depositi nei quali figuravano in certa quantità detriti tufacei di rocce massiccie, quali sono certe anfiboliti sodiche e prasiniti zonate con filaretti di calcare, il processo metamorfico dovette essere analogo; solo che nella formazione dei minerali metamorfici dovevano entrare in parte elementi chimici nuovi quali la calce, la magnesia e il ferro dei carbonati, ed i vari elementi dei diversi silicati che trovavansi nel deposito originario.

Analogo, se pure meno concepibile, dovette essere il processo della metamorfosi dei depositi propriamente detti, dai quali dovettero derivare molti dei micascisti, gneiss minuti, filladi e calcescisti, nei quali riscontransi alcuni minerali comuni nelle forme metamorfiche di rocce eruttive, come albite, glaucofane, epidoti, zoisite, cloriti, miche, senza contare i minerali accessori, ed alcuni altri come i granati che in quelle rocce sono poco frequenti, mentre sono frequentissimi nei depositi metamorfosati; ed altri come le ottreliti che possono dirsi esclusive di queste ultime rocce.

Rimarrebbe ora a spiegare come abbiano potuto verificarsi la temperatura e la pressione atte a soprariscaldare l'acqua che imbeveva le rocce durante il periodo della loro metamorfosi.

Escluso per quanto è stato detto che le sorgenti calorifiche possano essere state le masse di rocce eruttive durante il periodo di loro intrusione, rimangono come cause possibili di elevazione di temperatura le due seguenti: 1° la trasformazione in calore di una parte della forza viva delle masse rocciose in movimento durante i processi orogenici; 2° il grado geotermico a cui furono portate le stesse masse

rocciose per il loro sprofondamento sotto la superficie terrestre, durante i movimenti orogenici.

Senza volere escludere che in molti casi e sopra zone limitate quella trasformazione di energia dinamica in calore possa essere avvenuta, ed abbia potuto produrre e mantenere per un certo tempo elevate temperature in limitate masse di rocce, costituendo così uno dei fattori locali del metamorfismo, sembrami che il secondo modo di elevare la temperatura delle rocce sia il solo che abbia potuto manifestarsi sopra potentissime ed estese masse rocciose, quali sono quelle delle Alpi, di cui ora particolarmente ci occupiamo. Questo modo di concepire l'elevazione di temperatura ed il conseguente metamorfismo è il solo che si concili coll'esistenza nella stessa catena montuosa di zone tettoniche con pari intensità ripiegate e parallele, costituenti un solo sistema, delle quali una non presenta metamorfismo nemmeno locale mentre l'altra mostra un metamorfismo profondo e generale; quando, come nel caso nostro, siano escluse le influenze di ingenti masse eruttive di età posteriore alle formazioni metamorfosate, e che abbiano potuto agire come sorgenti di calore.

Ora per avere una elevazione di temperatura di 100° per la sola virtù del grado geotermico occorrono sprofondamenti di circa 3500 m., posto che il suo valore si mantenga fino a quelle inesplorate profondità in media sui 35 m. In verità mancano i documenti geologici atti a provare che tali grandi sprofondamenti siano avvenuti sopra tutta l'estensione delle zone metamorfiche sulle quali è rivolta la nostra attenzione. Non essendo in queste compresi terreni che si possano dire con certezza posteriori al giurese, e comprendendo esse terreni metamorfosati che salgono almeno fino al lias, viene naturalmente a mancarci ogni criterio per stabilire la massima potenza delle formazioni più giovani che abbiano potuto ad una data epoca ricoprirli.

D'altra parte se si hanno esperienze rigorose che dimostrano l'attaccabilità del quarzo e di qualche silicato sotto l'azione di acqua sovrariscaldata a non alta temperatura ed in tempo brevissimo, rispetto

ad un qualsiasi più breve periodo geologico (Daubrèe, Spezia) mancano invece esperienze che stabiliscano l'attaccabilità relativa dei principali silicati delle rocce rispetto a quella del quarzo, e ci manca ogni dato per stabilire le minime temperature alle quali sotto l'azione dell'acqua soprariscoldata, con o senza gas in soluzione, possa iniziarsi l'attacco di quei medesimi silicati. È però presumibile che tali temperature siano sensibilmente inferiori a quelle che dettero risultati sensibili nelle esperienze cui si alluse dianzi. Inoltre non è forse fuori di posto la presunzione che l'attaccabilità dei diversi silicati sia più facile che quella del quarzo, quando si osservi che nelle alluvioni più antiche, profondamente alterate sotto l'azione di acque contenenti in dissoluzione acidi deboli (carbonico, umico, ecc.) il quarzo è quasi sempre poco alterato ed in elementi resistenti e solidi, mentre tutti gli altri elementi mineralogici, felspati, miche, anfiboli, pirosseni, ecc., sono totalmente decomposti, e in modo che blocchi conservanti ancora l'aspetto di gneiss ghiandoni, di graniti di porfidi, di dioriti, ecc., si tagliano al coltello come masse terrose ¹.

Intanto, in attesa che esperienze siano istituite per determinare l'attaccabilità dei vari silicati sotto l'azione dell'acqua a diverse temperature superiori a 100°, malgrado tutte le incertezze che avvolgono il quesito della causa del metamorfismo regionale alpino, *parmi si possa ritenere per esso come condizione necessaria e particolarmente efficiente, la presenza d'acqua soprariscoldata a non alte temperature, essendo una certa pressione necessaria solo pel fatto di mantenere liquida l'acqua sopra i 100°, ed utile col facilitare naturalmente il più intimo contatto tra l'acqua e la superficie dei minerali, e, nel caso in cui essa giunga a pro-*

¹ La grande scala nella quale si osserva il fenomeno dell'argillificazione e ferretizzazione delle alluvioni antiche (ferretto o diluviale inferiore) che si ostendono lungo tutto il versante padano delle Alpi, induce necessariamente ad escludere da esso l'intervento di cause locali, quali emanazioni di gas, presenza di speciali sorgenti minerali, ecc., e conforta invece la supposizione che l'agente sia stato l'acqua recante in soluzione acidi organici, sotto l'impero di condizioni climatiche forse alquanto diverse dalle attuali.

durre frantumazione e laminazione della roccia, coll'aumentare quella stessa superficie di attacco ¹.

La realizzazione di quelle condizioni sopra zone tettoniche estese centinaia di chilometri e comprendenti migliaia di metri di potenza di terreni differenti, quali sono quelle da noi considerate, sembrami non si possa ritenere verificata che coll'inabissamento a grandi profondità sotto la superficie terrestre di quelle zone, le quali sarebbero ricoperte o da potenti masse di terreni più giovani o da zone ripiegate in pieghe superficiali di quegli stessi terreni. In alcuni casi al calore raggiunto pel fatto dell'inabissamento si può aggiungere quello emanato da masse di rocce eruttive che contemporaneamente iniettino le zone di terreni in parola; ed allora è naturalmente necessario un assai minore sprofondamento, potendo bastare una profondità limite appena sufficiente per mantenere allo stato liquido l'acqua soprarisaldata ².

Ho già più volte espresso la mia convinzione che nella regione da noi presa in esame non si verifichi questo secondo caso, non essendoci note potenti masse diffuse in tutti i terreni metamorfosati di rocce eruttive di essi più recenti, al cui effetto si possa attribuire

¹ Sono così condotto dalle mie osservazioni ad un notevole accordo con alcune delle conclusioni formulate con grande chiarezza da R. Lepsius nel suo lavoro già citato: « Bei der Entstehung von metamorphen Gesteinen wirken also vier Ursachen zusammen: Wasser als chemisches Lösungsmittel der in den Gesteinen vorhandenen Substanzen; höhere Temperatur, um das Wasser zu erwärmen; mechanischer Druck, um das überhitzte Wasser in flüssiger Form in den Gesteinen festzuhalten und dessen Lösungsfähigkeit zu erhöhen; endlich auch eine lange Zeitdauer, während welcher die chemischen Umsätze in den Gesteinen vor sich gehen können. » (p. 194).

² Tale profondità può variare fra limiti molto estesi dipendentemente dalla frantumazione delle masse rocciose e dalla natura di queste; e tali limiti sono stabiliti da un massimo eguale all'altezza di una colonna idrostatica corrispondente alla tensione del vapore a quella data temperatura, nel caso che si suppongano come nulle le resistenze attraverso i meati della roccia e le fessure fino a raggiungere la superficie del suolo; e da un minimo che per rocce non fratturate e poco porose può essere una piccola frazione del massimo ora indicato.

il metamorfismo generale di cui abbiamo esaminato alcuni esempi. Nemmeno è ammissibile l'ipotesi di una unica contemporanea intrusione di tutte le masse di rocce verdi o di una buona parte di esse attraverso ai depositi in che noi le vediamo ora incluse, perchè la interstratificazione di quelle rocce e la loro distribuzione verticale sopra una serie di formazioni diverse, potenti in complesso qualche migliaio di metri, sono dei fatti fra i meglio accertati dal minuzioso rilevamento in grande scala, eseguito nelle Alpi occidentali dai miei colleghi e da me.

Non mi pare adunque applicabile al caso nostro le piezocristallizzazione come la intende Weinschenk, la quale sembra verificarsi in alcuni casi, come ad esempio nell'Attica, dove delle formazioni cristalline con tipi litologici molto simili a quelle della zona delle pietre verdi, dovrebbero secondo Lepsius il loro metamorfismo alle iniezioni ed alla presenza ad una certa profondità di ingenti masse di granito ¹.

Per le stesse ragioni dette sopra non posso trovarmi sotto questo rispetto in accordo colle idee espresse dal mio chiaro collega e amico P. Termier, laddove egli dice che « les amas intrusifs de gabbros, de péridotites ou de diabases, les intercalations de micaschistes, de gneiss et d'amphibolites variées, et enfin la cristallinité générale des assises, seraient des effets différents d'une seule et même cause: la filtration tranquille, *per ascensum*, de vapeurs, au travers de la formation sédimentaire ². » E non dubito che se il mio valente collega avesse avuto nel suo campo di rilevamento e di studio una regione come quella del Monviso, o come quella del più piccolo ma istruttivo gruppo del Rocciavrè, o come quella che comprende la

¹ Debbo alla somma cortesia del prof. Lepsius una collezione dei suoi *Allueuer-sch.efer* di età cretacea, in cui si notano dei tipi litologici identici a quelli della zona delle pietre verdi e segnatamente quarziti a glaucofane e sericitico, calcescisti, prasiniti e scisti cloritico-anfibolici con o senza glaucofane.

² P. TERMIER, *Quatre coupes à travers les Alpes franco-italiennes* (Bull. Soc. géol. de France, 4^e série, tome II, année 1902, p. 418-419).

valle di Susa e le valli di Lanzo, la ordinata, costante, chiarissima intercalazione delle diverse, soventi grandissime e talora enormi, masse di rocce verdi fra calcari, calcescisti e micascisti, non gli avrebbe suggerita quella sua concezione, il cui enunciato venne ora testualmente riportato, la quale non sarebbe stata in nulla suffragata dai fatti che vi avrebbe osservati.

Si potrà obiettare che dell'inabissamento sotto migliaia di metri di terreni delle zone di terreni metamorfosati in questione non si hanno prove di fatto; ma almea a tale ipotesi nessun fatto osservato si può contrapporre, mentre molti ne spiega in modo soddisfacente.

Si obietta l'assenza di camini che possano permettere di ritenere di origine vulcanica per colate tutte le masse di rocce verdi della zona che ne prende il nome, e che non sia provata la esistenza di masse di tufi. Ma la mancata constatazione di camini se può essere un fatto un po' stupefacente sopra una così grande distesa e sviluppo di formazioni raddrizzate e denudate, non è una prova che quei camini non esistano in punti inaccessibili o non abbiano esistito nelle parti erose. Non sono pochi gli esempi di regioni vulcaniche profondamente erose, dove o non si hanno o sono rarissimi i camini visibili dei centri eruttivi.

D'altronde la stessa obiezione si può fare e con molto maggior fondamento all'ipotesi che si fonda sopra una generale intrusione, qualunque sia lo stato fisico delle materie intruse, quando si consideri l'assenza quasi completa di manifestazioni filoniane, le quali invece secondo quell'ipotesi dovrebbero essere la regola. E ciò senza tener conto dell'inconcepibile ipotesi che, masse di vapori le quali dovrebbero filtrare, uniformemente suddivise, attraverso a migliaia di chilometri quadrati di terreni abbiano potuto produrre, secondo i luoghi, serpentine, peridotiti, eufoditi, diabasi, porfiriti e variofiliti, colle loro costituzioni mineralogiche e chimiche, nonché colle loro strutture caratteristiche. Per di più queste rocce dovrebbero dagli stessi vapori essere trasformate nei modi precedentemente indicati.

Alla affermata assenza di tufi chiaramente riconoscibili si può rispondere che essa è spiegabile, se in molti casi non sono riconoscibili le rocce massicce stesse, a causa delle profonde metamorfosi subite; mentre certe estese masse prasinitiche zonate e calcarifere, sfumanti con calcescisti, accennano chiaramente a masse di depositi, misti con parte di materiali di quelle rocce basiche.

Per ciò che riguarda la affermata necessità dell'intervento di azioni vulcaniche per spiegare la ricchezza in alcali di quei depositi, che trasformati dettero luogo a micascisti ed a gneiss (non parlo delle anfiboliti la cui origine mi sembra ormai abbastanza nota), basta osservare i risultati delle analisi di certi depositi argillosi ed arenacei, i cui tenori in alcali raggiungono non di rado il 4 e 5 per cento. Una melma argillosa presa alla profondità di 5422 metri fra Tahiti e la Nuova Zelanda contiene 4.92 di soda e 2.82 di potassa, e uno scisto argilloso del carbonifero presso Lafayette negli Stati Uniti contiene 0.412 soda e 3.16 di potassa; i quali tenori in alcali non sono inferiori a quelli di certi micascisti e gneiss (vedi le analisi date da Rosenbusch in *Gesteinslehre*, p. 437 e 485).

Quanto alla obbiezione che nasce dalla natura delle rocce basiche come eufotidi e peridotiti, che formerebbero *ammassi e non colate*, e che hanno strutture « de roches abyssiques ou hypoabyssiques, non de roches volcaniques » molti fatti permettono di rispondervi vittoriosamente.

Per alcune delle masse di eufotidi e di diabasi, quelle al cui contatto esistono i depositi a radiolarie indicati nella prima parte di questo scritto, noi dobbiamo ammettere che esse siano state immediatamente precedute o ricoperte da depositi marini, quelli silicei con radiolarie. Il quale fatto esclude necessariamente la origine loro filoniana o laccolitica e ci porta inevitabilmente alla origine per colate sottomarine; a meno che si voglia attribuire al puro caso il contatto delle eufotidi e diabasi con quei diaspri a radiolarie. Questi però in alcuni casi, come ad esempio al M. Cruzeau, sopra Cesana, sono così intimamente legati con lenti, strisce e noduli di diabasi e varioliti

che la formazione concomitante dei due materiali apparisce come evidente.

D'altra parte in questo argomento mi vengono a soccorso le osservazioni fatte nell'Appennino da molti geologi italiani, sulla frequente associazione di scisti a radiolarie con serpentine, eufotidi e diabasi, i quali tre tipi di rocce, le quali qui pure non si presentano mai in dicchi, debbono essere considerati come originati per colate sottomarine ¹. Non meno convincenti sono alcuni risultati delle ricerche di Bréon provanti la presenza di diabasi ofitiche in colate recenti ², di quelle di Judd sull'associazione di gabbri olivinici, di doleriti, di basalti e di vetri basaltici *di origine vulcanica, intercalati* in strati terziari in Scozia ed in Irlanda ³, e di quelle di A. Geikie sui gabbri a struttura gneissiforme delle colate dei vulcani delle Ebridi ⁴.

Da tutto quanto è stato precedentemente esposto sembrami si possa dedurre, che al metamorfismo, al quale è dovuta la grande cristallinità dei depositi primari e secondari delle Alpi occidentali e centrali e dell'Appennino ligure, convenga ancora meglio di ogni altro il nome di *metamorfismo regionale* degli antichi autori, sotto il quale erano già da essi sottointesi come agenti quei fattori, il cui concorso vediamo necessario scendendo all'analisi più minuta dei fenomeni e dei processi metamorfici. I nomi nuovi che si fosse tentati di adottare di *metamorfismo per sprofondamento* od *inabissamento*, o di *profondità* o *abissale* od *hypometamorfismo*, quando si volesse tener conto delle circostanze di posizione, o quello certo troppo lungo di *idro-termo-piezo-*

¹ B. LOTTI, *Paragone fra le rocce ofiolitiche terziarie italiane e le rocce basiche pure terziarie della Scozia e dell'Irlanda* (Boll. R. Com. geol., anno 1886, p. 76).

² R. BRÉON, *Notes pour servir à l'étude de la géologie de l'Islande et des îles Fœroë*. Paris, 1884.

³ I. W. JUDD, *On the Gabbros, Dolerites and Basalts of Tertiary Age in Scotland and Ireland* (Quart. Journ., Vol. XLII, n. 165, p. 49).

⁴ *Sur la structure rubanée des plus anciens gneiss et des gabbros tertiaires*. Conferenza letta al Congresso geologico internazionale di Zurigo (1894).

metamorfismo, quando si volessero nel nome inclusi i principali fattori di esso, non sarebbero forse giustificati da alcun concetto veramente nuovo che siasi aggiunto alla concezione di alcuni di quegli autori che primi hanno sviluppata la dottrina del *metamorfismo regionale*.

Comè dalla metamorfosi delle diabasi
si possono avere prasiniti ed anfiboliti sodiche.

Ora è il momento di tentare se sia possibile il farsi un concetto delle cause per cui le rocce diabasiche, od i loro tufi possono dar luogo per metamorfismo secondo i casi ad *anfiboliti sodiche* od a *prasiniti*.

Ho detto precedentemente come l'osservazione ci mostri in uno stesso campione sottili zonature riferibili ai due tipi di rocce ora indicati, nonchè masse di rocce vicine sul terreno di quei due tipi rocciosi, ed infine i due tipi rocciosi rispettivamente nelle variole e nelle masse fondamentali di certe varioliti. Perciò mi sembra debbansi escludere e l'ipotesi di Rosenbusch e quella di S. Washington, sulle quali si è riferito precedentemente a pag. 12 e 15, essendo quelle zone e quelle masse *nella stessa posizione nel profilo verticale della formazione che le comprende e nelle stesse condizioni fisiche rispetto agli agenti del metamorfismo*. Converrà quindi vedere se le cause della formazione dei due tipi di rocce possano essere cercate in differenze insite nelle rocce primitive, cioè nella costituzione chimica complessiva, ovvero nella loro costituzione mineralogica.

Noi abbiamo descritti precedentemente due tipi di rocce massicce metamorfosate profondamente, le quali per la loro costituzione attuale sono riferibili nettamente l'una alle anfiboliti sodiche e l'altra alle prasiniti; e queste sono rispettivamente la porfirite di Comba Grande (Valgrana) e la porfirite di Collegno (erratica).

A dir vero noi non possiamo affermare, non conoscendo precisamente il luogo di origine di questa ultima roccia, che le due masse rocciose fossero nelle stesse condizioni fisiche rispetto agli agenti

esterni del metamorfismo. Però dato il fatto che i due gruppi di roccie in tutta la catena alpina occidentale hanno caratteri abbastanza uniformi e sono soventi associati, noi possiamo con una certa verosimiglianza supporre che in tutta la zona delle pietre verdi le roccie si siano trovate in condizioni pressochè uniformi sotto quel punto di vista.

Ora se noi osserviamo le analisi chimiche di quelle due roccie attualmente tanto differenti nelle loro forme metamorfiche, come certo erano differentissime di aspetto e di costituzione mineralogica primitivi, non si può a meno di essere colpiti dalla loro grande analogia.

Se eccettuansi gli ossidi di ferro le cui proporzioni relative non sono note, essendosi solo dosato il ferro totale, la differenza più saliente nella costituzione delle due roccie sta nei tenori in calce i quali pure differiscono di meno di due unità, e nei tenori in soda.

Quelli della silice si possono dire identici, malgrado che, come venne osservato nelle descrizioni petrografiche, gli inclusi felspatici dovessero ritenersi di basicità molto diversa.

Si può obiettare che potrebbe darsi che vi sia stato scambio di elementi fra le roccie massiccie ed i calcescisti incassanti; però i tenori in alcali, e specialmente quelli in soda, già molto alti per roccie di questo gruppo, mi sembra che stiano a dimostrare che se scambio vi fu, il che non è possibile escludere in modo assoluto, tale scambio debba essere praticamente trascurabile, essendo gli alcali i primi ad essere asportati nei possibili scambi accennati sopra. Così pure i tenori in calce sono quelli normali delle roccie del gruppo.

Dopo queste considerazioni e dopo riflettuto al fatto che la metamorfosi avvenne solo con degli scambi di elementi chimici da punti a punti vicini delle roccie, essendo gli inclusi felspatici quasi esattamente sostituiti dai minerali secondari che da essi derivarono e gli elementi ferro-magnesiaci secondari a loro volta sostituendosi all'incirca al posto degli elementi analoghi primitivi, mi sembra non sia arrischiato il supporre che in questo caso almeno *le due forme differenti di roccie metamorfiche siano l'effetto della differente costituzione mineralogica primitiva delle due roccie.*

Vediamo ora se sia possibile se non generalizzare dare almeno un po' più di estensione a questo concetto.

Esaminando al microscopio i preparati sottili della porfiriti metamorfosata di Collegno o di quella analoga per aspetto macro e microscopico di Pontestura, noi vediamo che le aree dei piccoli microliti felspatici si distinguono ancora, essendone conservati fino ad un certo punto i contorni, e che al loro posto sono in grande prevalenza i prodotti diretti della loro metamorfosi, albite, zoisite, con rari aciculi di anfibolo e di clorite od epidoto. Lo sfrangiamento del contorno è solo dovuto allo sviluppo dei tre ultimi minerali irregolarmente dalla massa di fondo della roccia verso l'area del microlite (vedi le figure 4, 5 e 6 della Tav. VIII e le figure 3 e 4 della Tav. IX).

Analogamente nella roccia di Comba Grande noi vediamo gli spazi dei felspati riempiti da poca albite e da abbondante lawsonite, due minerali prodotti esclusivamente dalla trasformazione degli elementi di plagioclasio coll'aggiunta di acqua (vedi fig. 1 e 2 della Tav. IX).

Se ora noi supponiamo di avere una roccia analoga a quella di Collegno ma con quantità di felspato di gran lunga inferiore, dopo il processo di metamorfosi al quale fu soggetta quella prima roccia, noi avremmo pure una roccia metamorfosata in cui l'albite sarebbe essenzialmente ristretta agli spazi occupati dai felspati; si avrebbe così una roccia metamorfica assai meno ricca in albite e relativamente assai più ricca in elementi ferro-magnesiaci, cioè un tipo di passaggio dalle prasinitì alle anfiboliti. E se noi supponiamo ancora che quella seconda roccia ipotetica abbia la composizione chimica di quella di Collegno, e che quindi la differenza in soda che si ha in essa per minor tenore in plagioclasio debba essere compensato da un certo tenore in soda degli elementi pirossenici, gli anfiboli secondari saranno in parte anfiboli sodici e la roccia derivata potrà essere una roccia a glaucofane od a gastaldite, costituente un termine di passaggio alle anfiboliti sodiche

L'ipotesi ora fatta supponeva nella roccia minore quantità che in quella di Collegno di uno stesso plagioclasio.

Si può invece supporre che la quantità di plagioclasio sia all'incirca la stessa, ma che si tratti di un plagioclasio molto più basico, pur conservando la roccia a un dipresso la stessa composizione chimica, con tenore in soda alquanto minore e più forte tenore in calce. In tal caso dalla metamorfosi del plagioclasio risulterà una minor quantità di albite e quantità maggiore di zoisite o di lawsonite, mentre il pirosseno, che sarà un pirosseno sodico, potrà dare origine ad anfiboli sodici. Questo caso ipotetico ci darebbe come forma metamorfica derivata una *amfibolite sodica lawsonitica*.

Ora si possono affacciare diverse obiezioni:

1° È egli possibile che due rocce diabasiche abbiano composizioni chimiche tanto vicine e costituzioni mineralogiche tanto differenti?

A questa obiezione rispondesi col paragone delle due rocce di Comba Grande e di Collegno, la prima delle quali appunto corrisponde alla roccia ipotetica ultima considerata

2° Il fatto di avere nella roccia di Comba Grande una produzione di abbondante lawsonite, mentre questo minerale manca nei prodotti della metamorfosi dei felspati della porfirite di Collegno, non starebbe forse a provare che le due rocce si trovavano in condizioni di metamorfismo differenti?

Questa obiezione ha un certo valore, tanto più che esistono delle prasiniti a lawsonite nella regione, e quindi è dimostrato quello che sembra logico debba essere, che anche plagioclasii acidi possono nelle loro metamorfosi produrre della lawsonite.

Dobbiamo però riflettere che appunto la formazione della lawsonite o della zoisite richiedono oltre alle molecole anortitiche che si liberano dai plagioclasii, degli elementi estranei diversi. Per la formazione di lawsonite da plagioclasii basta l'intervento di una certa quantità di acqua, mentre per la formazione di zoisite occorre una molto minore quantità di acqua ma inoltre una certa quantità di calce. Si concepisce perciò che anche in condizioni fisiche esterne uguali rispetto al metamorfismo possa avvenire la produzione di lawsonite secondaria in una roccia e quella invece di zoisite in un'altra.

Parrebbe ad ogni modo che nei processi metamorfici che stiamo esaminando, le molecole di albite dei plagioclasti delle rocce diabasiche si mettano in libertà, scindendosi dalle molecole anortitiche, manifestando una forte tendenza a conservarsi come tali nelle rocce metamorfiche derivate.

A me sembra dunque, supponendo pel momento che si tratti di metamorfismo senza scambio di elementi colle rocce incassanti, che si possa in modo generale enunciare questa ipotesi:

Nella metamorfosi delle rocce diabasiche massiccie o tufacee le rocce che ne derivano saranno prasiniti od anfiboliti a seconda della maggiore o minore quantità di molecole di albite che entrano nella costituzione dei loro plagioclasti; si avranno cioè prasiniti quando i felspati sono in certa quantità e relativamente acidi, si avranno anfiboliti più o meno sodiche, lawsonitiche, zoisitiche, epidotiche, ecc., quando i plagioclasti sono in molto minore quantità o per lo meno relativamente molto più basici.

Si verrebbe quindi alla conclusione, che: *la forma della roccia metamorfica dipenderebbe non solo dalla composizione chimica, ma dalla costituzione mineralogica, cioè dal tipo della roccia primitiva; sicchè per rocce prodotte dalla consolidazione in condizioni diverse di magma identici si avrebbero forme metamorfiche le quali sarebbero sotto un certo rispetto dipendenti dalle condizioni fisiche nelle quali avvenne il consolidamento delle rocce primitive.*

Si avrebbe così il fatto interessante che nella roccia metamorfica la quale non conserva più traccia nè della struttura nè dei costituenti mineralogici originari, sarebbe tuttavia conservato un carattere dipendente strettamente, quantunque in modo indiretto, dalle condizioni fisiche in cui avvenne il consolidamento della roccia primitiva: la percentuale delle molecole albitiche.

Quanto venne finora detto si riferisce al caso ipotetico in cui non avvenga scambio di elementi fra le rocce massiccie e le rocce incassanti, caso ipotetico che, per certe masse di rocce molto compatte o di grandissime dimensioni, può fino ad un certo punto ritenersi verificato in modo generale.

Però se noi supponiamo che questo scambio avvenga i prodotti possono essere molto differenti. Così ad esempio la metamorfosi di un tufo di diabase con forte prevalenza di pirosseno, se questo è sodico e il tufo è incluso in rocce quarzose, per apporto di silice può anziché una anfibolite produrre invece una roccia prasinitica, per effetto della *felspato-uralitizzazione* dei pirosseni.

Roma, dicembre 1902.

SPIEGAZIONE DELLE TAVOLE.

TAVOLA VIII.

- Fig. 1.* — Superficie levigata (grandezza naturale) della porfirite metamorfosata di Comba Grande. Il fondo violaceo scuro è costituito essenzialmente da anfibolo secondario verde o violetto, nella maggior parte dei casi isorientati e sfumanti l'uno nell'altro, da clorite e lawsonite. Gli inclusi bianchi, già plagioclasti molto basici, sono ora costituiti essenzialmente da lawsonite con poca albite.
- Fig. 2.* — Preparato sottile della roccia precedente visto a nicol incrociati con ingrandimento di 50 D. Si distinguono gli abbondanti elementi di lawsonite colle fitte geminazioni polisintetiche in una o due direzioni, secondochè le sezioni loro sono parallele od oblique rispetto all'asse del prisma.
- Fig. 3.* — Superficie levigata (grandezza naturale) di una variolite metamorfosata di Comba Peraegue (V. Mulasco, Acceglio); la parte superiore fu tagliata trasversalmente, quella inferiore parallelamente alla lunghezza delle variole, di forma affusolata per stiramento e laminazione. Il fondo è verde-violaceo, le parti più scure, di color viola intenso, sono costituite prevalentemente da glaucofane. Al microscopio la massa fondamentale presenta la costituzione mineralogica di una anfibolite sodica a piccoli elementi; mentre le variole, che qua e là mostrano ancora la loro struttura raggiata o palmare caratteristica, presentano nella maggior parte della loro massa la struttura di prasinite a minuti elementi.
- Fig. 4.* — Superficie levigata (grandezza naturale) della porfirite diabasica di Collegno, metamorfosata in prasinite. Le zone in cui non è visibile la struttura porfirica corrispondono a zone di laminazione della roccia, nelle quali la trasformazione in prasinite è più avanzata, presentando un maggior grado di cristallinità.

Fig. 5 e 6. — Preparato microscopico della roccia precedente con nicol paralleli (fig. 5) e incrociati (fig. 6), ingrandimento 50 D. Le aree chiare corrispondenti a due inclusi felspatici, i cui contorni sono ancora conservati (fig. 5) sono intorbide dagli elementi secondari, attinoto, zoisite, sericite, ecc. La fig. 6 mostra il mosaico degli elementi albitici secondari che si sostituì ai singoli elementi primitivi di andesina.

TAVOLA IX.

Fig. 1. — Preparato sottile di una porzione della porfirite metamorfosata di Comba Grande, luce naturale, ingrandimento 50 D. Si notano in mozzo a parti più scure con grandi elementi anfibolici due zone chiare, l'una verticale, l'altra (a destra) obliqua, corrispondenti a due cristallotti di felspato (bitownite?) metamorfosati essenzialmente in lawsonite, che vi ha struttura granulare minuta.

Fig. 2. — Preparato sottile di altra porzione della stessa roccia, luce naturale ingrandimento 50 D. La parte più chiara corrisponde ad un cristallo di felspato metamorfosato, circondato dal fondo della roccia, ricco in elementi anfibolici secondari. Nella parte chiara si distinguono, a causa del loro rilievo, gli elementi di lawsonite, possedenti un grossolano orientamento, risaltare sul fondo più chiaro di albite.

Fig. 3 e 4. — Preparato sottile della porfirite metamorfosata di Pontestura, visto al microscopio con nicol paralleli (fig. 3) ed incrociati (fig. 4), con ingrandimento di 50 D. In luce naturale (fig. 3) l'albite che ha sostituito l'andesina permette di riconoscerne ancora i contorni; mentre in luce polarizzata a causa dell'orientamento capriccioso a mosaico degli elementi di albite secondaria che sostituiscono l'andesina e si sviluppano nel fondo della roccia, la struttura di alcune parti di questa si rivela profondamente modificata.

Fig. 5. — Preparato sottile della prasinite del ghiacciaio di Lavago, in luce polarizzata, con ingrandimento di 50 D. La grande ricchezza in albite con struttura a mosaico spiccatissima, senza accenno a scistosità, sono le caratteristiche di questa roccia.

Fig. 6. — Preparato sottile della prasinito cloritica di Campo Ligure, in luce naturale, con ingrandimento di 50 D. Gli elementi di albite sono come isolati gli uni dagli altri dagli elementi ferromagnesiaci, attinoto e clorite, parte dei quali compenetra gli stessi elementi albitici con un grossolano orientamento, simulante certe strutture fluidali.

Fig. 1

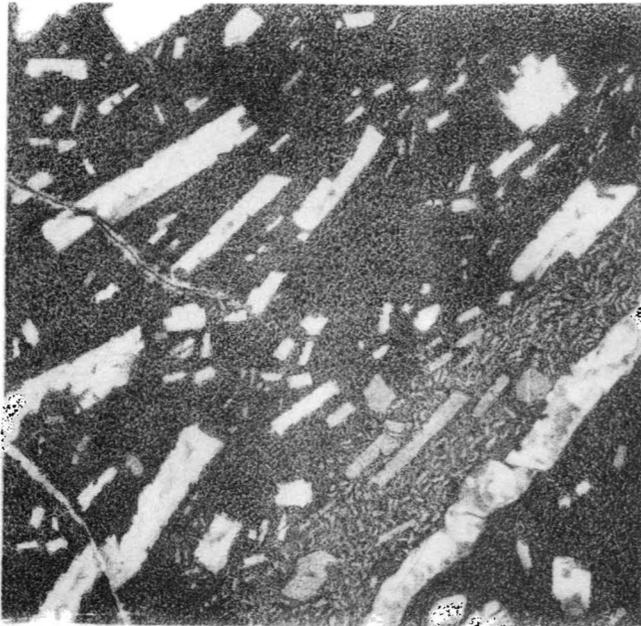


Fig. 3

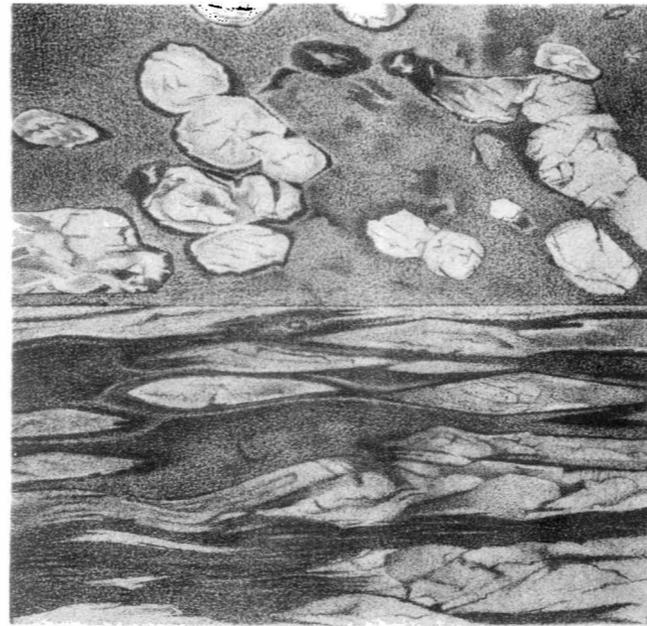


Fig. 5

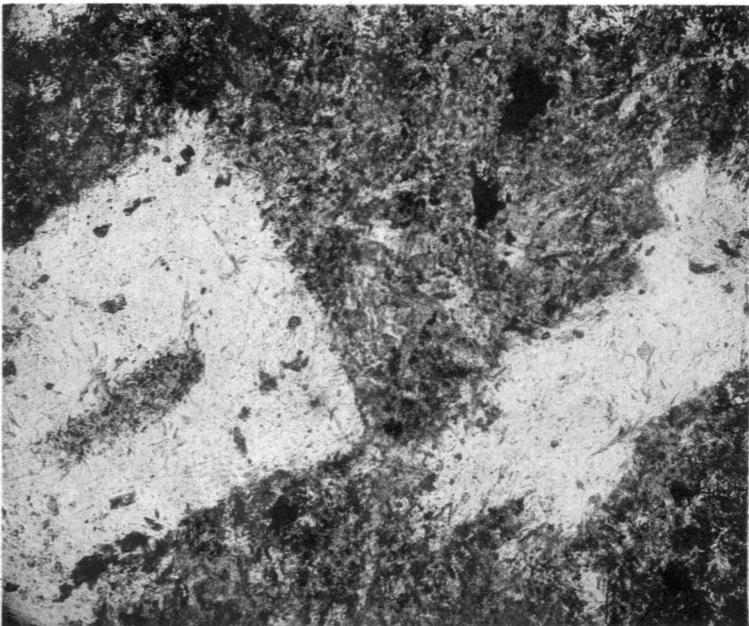


Fig. 2

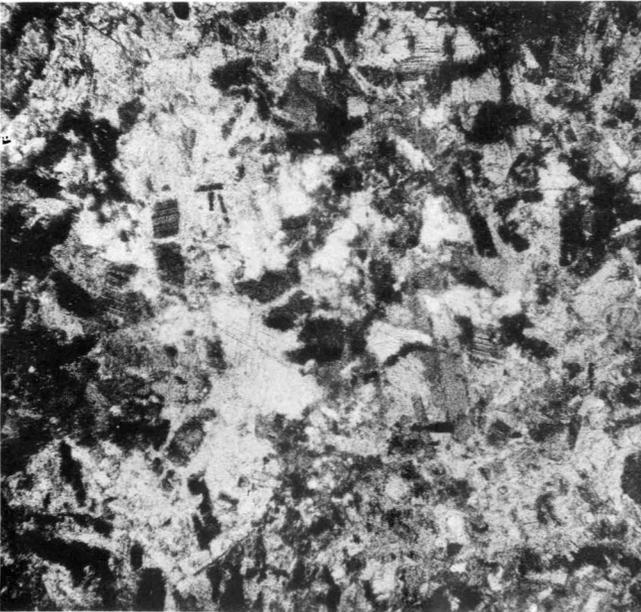


Fig. 4

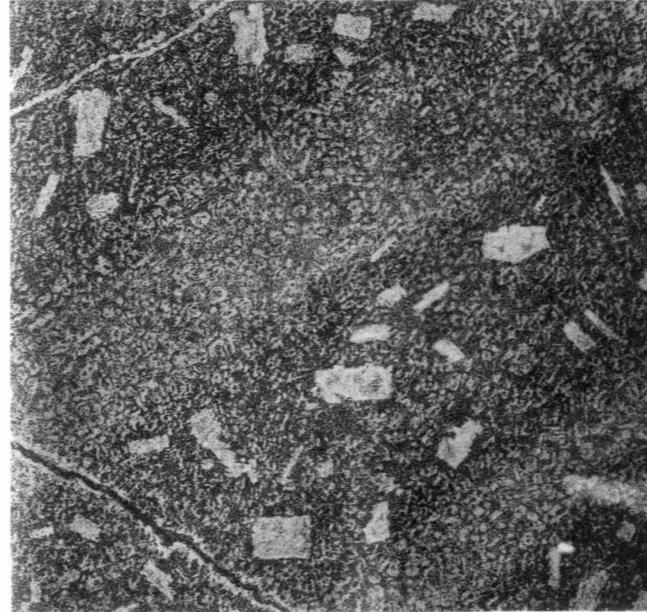


Fig. 6

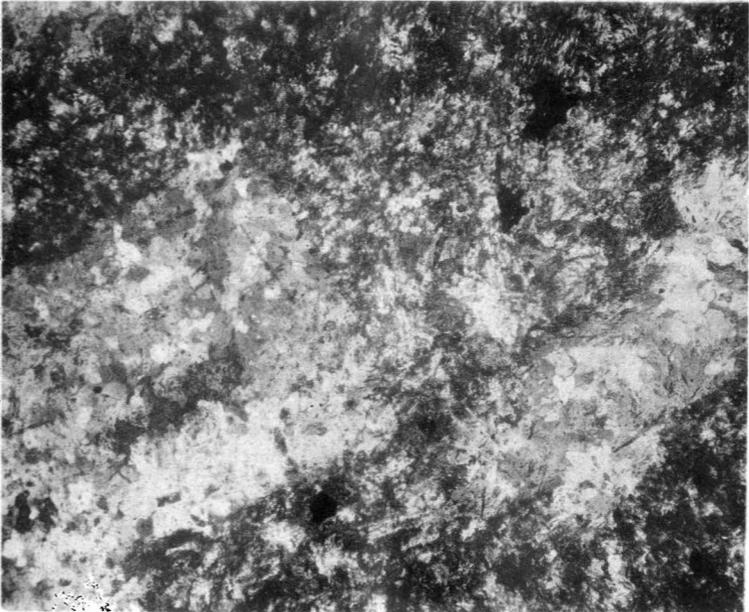


Fig. 1

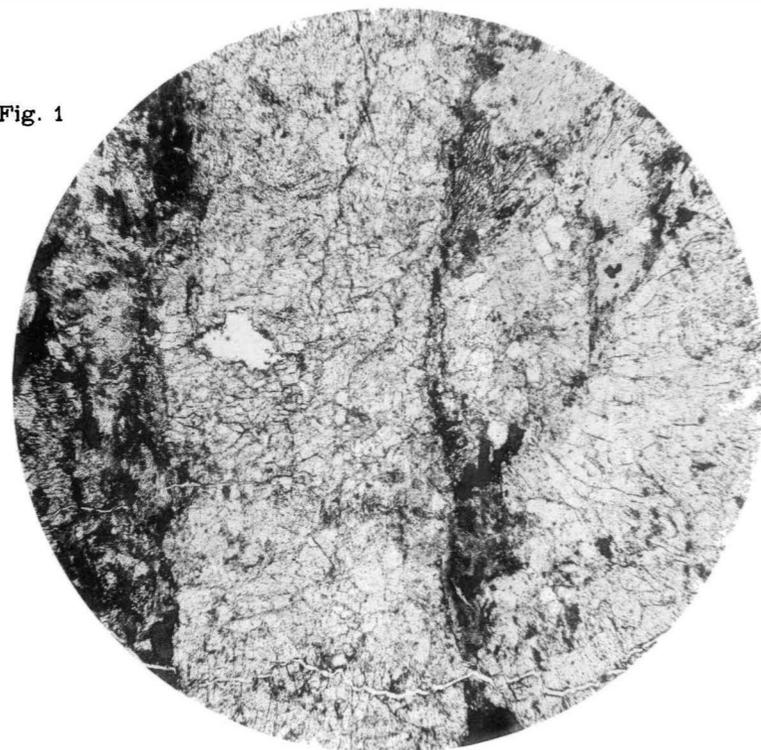


Fig. 3

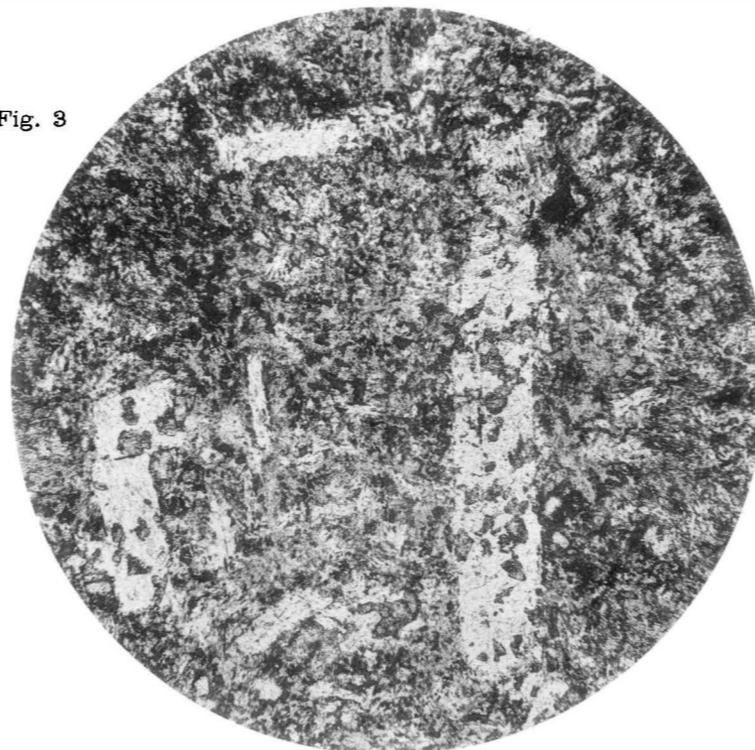


Fig. 5

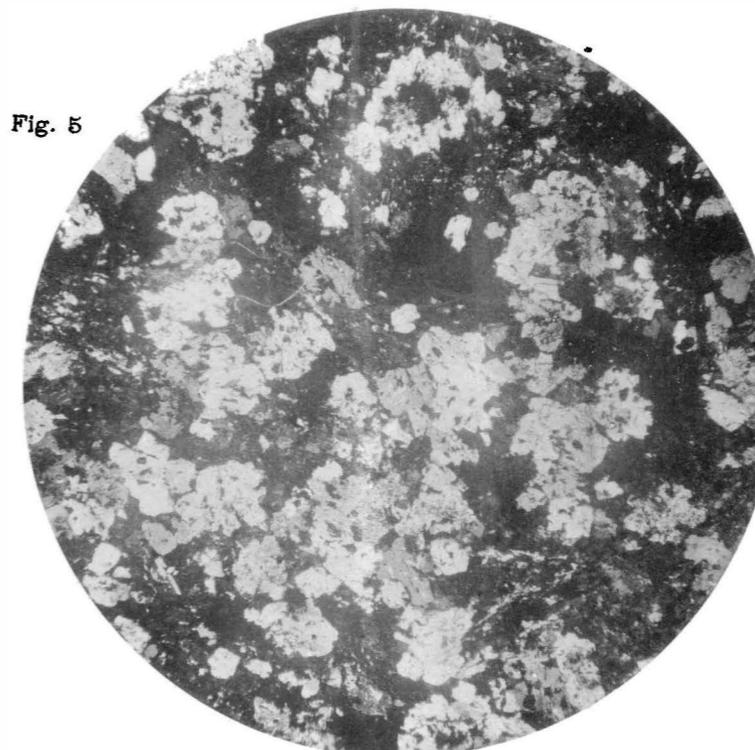


Fig. 2

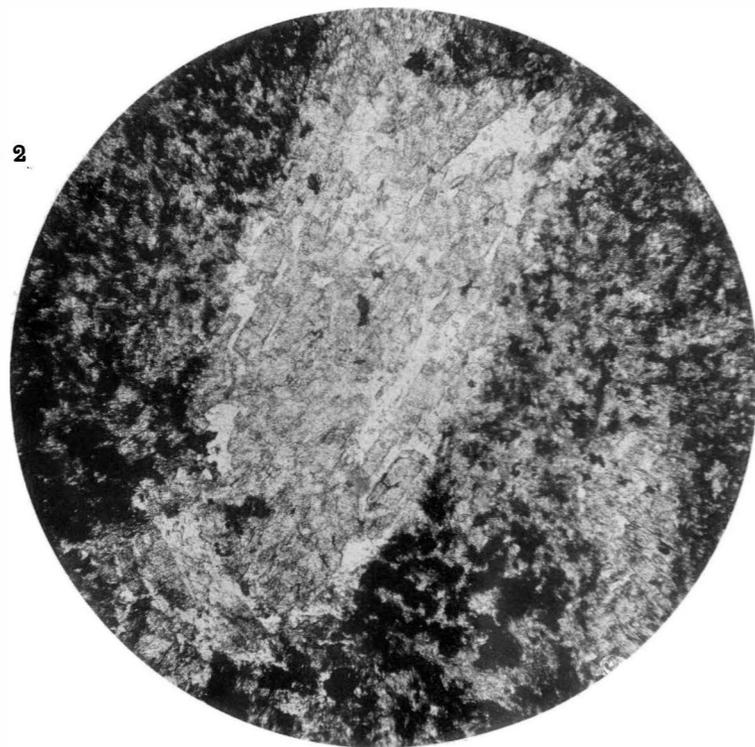


Fig. 4

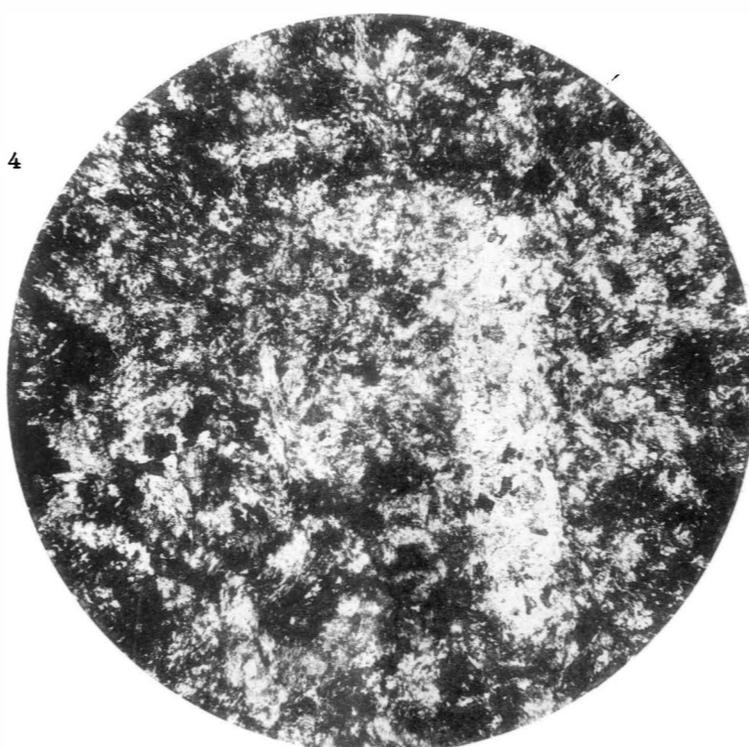


Fig. 6

