

ANGELO BIANCHI e GIAMBATTISTA DAL PIAZ

**Differenziazioni petrografiche e metamorfismi selettivi
di contatto nel Massiccio dell'Adamello (*)**

Il massiccio intrusivo dell'Adamello, che sorge nelle Alpi Meridionali a cavallo fra la Lombardia e il Trentino, è costituito essenzialmente da una cospicua massa granodioritico-tonalitica di età terziaria, compresa entro formazioni scistose del Cristallino antico e terreni permo-triasici di svariata composizione.

Questo imponente massiccio alpino è già stato oggetto, fra la fine del secolo scorso e l'inizio di questo, di una fondamentale monografia geologica da parte di W. SALOMON e di vari importanti lavori di C. RIVA, G. B. TRENER, H. P. CORNELIUS, M. FURLANI ed altri autori. Tuttavia questo ciclo di ricerche non ha esaurito lo studio geologico-petrografico dell'Adamello e molto è rimasto ancora da fare: sia per quanto riguarda il rilevamento geologico di dettaglio e l'esame approfondito delle condizioni tettoniche; sia per quanto si riferisce alle indagini sulla differenziazione chimico-petrografica della massa magmatica e sui complessi fenomeni metamorfici di contatto.

In questo intento già da vari anni, assieme ad alcuni nostri allievi e collaboratori, abbiamo iniziato un nuovo ciclo di ricerche geologiche e petrografiche di dettaglio, alcune delle quali già pubblicate e numerose altre in corso

(*) La presente nota rispecchia nelle sue linee essenziali e sviluppa la comunicazione da noi presentata al XVIII° Congresso Internazionale di Geologia, tenutosi a Londra nell'agosto del 1948, col titolo « Metamorfismo selettivo e processi metasomatici di contatto nel Massiccio dell'Adamello ».

di esecuzione (v. *Bibliografia*). A conclusione di tali studi, contiamo di poter presto pubblicare una monografia sintetica di carattere moderno su questo interessante plutone, che assume tanta importanza nel quadro della geologia alpina (1).

La massa intrusiva e le sue differenziazioni

Accenniamo qui brevemente alle caratteristiche essenziali della massa magmatica e delle sue differenziazioni, quali risultano dagli studi geologico-petrografici finora compiuti e da un complesso di oltre sessanta analisi chimiche eseguite in quest'ultimo decennio.

Le facies più caratteristiche del plutone sono le seguenti:

a) *Granodiorite biotitica* a grana media o medio-minuta, che predomina nella parte centrale del massiccio, costituendo le cime elevate del gruppo dell'Adamello, e affiora altresì su larghe aree verso il margine settentrionale (per es.: Val d'Avio e valle del Pisgana) e verso l'estremità nord-orientale. Differenziazioni a tendenza granitica si trovano sul lato meridionale del massiccio in corrispondenza del M. Bruffione, del M. Laione, di Valfredda e Val Cadino.

(1) Questo ciclo di ricerche venne iniziato alcuni anni or sono da noi e dai nostri collaboratori sotto gli auspici del Magistrato alle Acque per il rilevamento del foglio *Monte Adamello* della «Carta Geologica delle Tre Venezie», diretta da Giorgio Dal Piaz. Esso venne successivamente sviluppato e approfondito per incarico del Consiglio Nazionale delle Ricerche, rappresentando un fondamentale argomento di indagini del Centro Studi di Petrografia e Geologia, istituito dallo stesso C. N. R. presso l'Università di Padova.

Nell'esprimere la nostra profonda gratitudine ai due benemeriti Enti sopra indicati, desideriamo rinnovare un vivo ringraziamento anche agli Ingegneri C. MARCELLO e R. RAMACCIOTTI per la cortese e larga ospitalità a noi accordata nelle sedi d'alta montagna della Società «EDISON» sul versante lombardo dell'Adamello.

b) *Tonalite biotitico-anfibolica a grana medio-grossa* con plagioclasio andesinico-labradoritico fortemente zonato e con una certa tendenza porfirica per l'idiomorfismo dei vistosi cristalli di orneblenda (= «tonalite tipo Adamello» di TRENER). Questa bella roccia, con chimismo intermedio fra i tipi «tonalitico» e «leucotonalitico» di NIGGLI, prevale nel gruppo della Presanella, sul fianco destro della Val Nambrone, sul versante sinistrò dell'alta e media val di Genova e in tutte le altre valli che irradiano a ovest, sud e sud-est dall'acrocòro centrale dell'Adamello (Baitone, Miller, Salarno, Adamè, Fumo, Cavento-Valletta ecc.). Degno di rilievo il fatto che questa bella tonalite presenta, nelle valli del Miller, di Salarno e di Adamè, una graduale variazione periferica verso termini un poco più femici, ricchi di orneblenda e poveri o privi di biotite.

c) *Tonalite biotitico-anfibolica a grana più minuta* (= «tonalite tipo Monte Re di Castello» di TRENER), che si sviluppa nella Valle di Daone, nel gruppo del M. Re di Castello e nei contrafforti meridionali del massiccio, dove offre varie transizioni, da un lato verso facies leucotonalitiche (Lago della Vacca) e granodioritiche (M. Laione, Val Cadino) e dall'altro verso facies dioritiche a grana fine (M. Costone, Passo Cadino, Passo di Campo-Passo Casinelle).

d) *Nuclei granito-granodioritici marginali* del Corno Alto-Sostino, Sabion, Madonna di Campiglio, Meledrio-Spolverin ecc. sul lato orientale e nord-orientale del massiccio. Queste masse periferiche a tendenza sialica presentano una certa individualità geologica, che consiglia a tenerle distinte da analoghe facies del corpo principale del plutone.

e) *Zolle di concentrazione femica*. La zona più ricca di differenziazioni basiche di varia composizione è quella che trovasi al margine meridionale dell'Adamello e precisamente nel settore compreso fra la Val Stabio e l'alta

Valle del Caffaro, ove si notano: il nucleo dioritico del M. Costone; la diorite del Lago Frerone; la massa dioritica e gabbrodioritica del M. Blumone; la complessa area basica del M. Cadino, costituita da innumerevoli lenti e zolle dioritiche e gabbrodioritiche disseminate in una massa di fondo granitica; e infine la massa gabbbrica anfibolico-pirosenica del M. Mattoni, che presenta nuclei ultrafemici di orneblendite e geodi pegmatitiche a grandi cristalli allungati di anfibolo.

Altre facies basiche, di prevalente composizione dioritico-anfibolica, segnalate da G. B. TRENER si trovano sul fianco destro della Val di Daone, a nord del Lago di Campo, nonchè alla Bocca della Cunella fra la Valle di S. Valentino e l'alta Val Breguzzo. Zolle gabbrodioritiche marginali e concentrazioni di inclusi femici vennero recentemente rilevate da D. COLBERTALDO nell'alta valle di Breguzzo presso Cima Agosta e Cima Uzza.

Nuclei dioritico-anfibolici affiorano pure fra gli scisti cristallini al margine nord-occidentale della massa tonalitica, sul fianco sinistro della Valcamonica (M. Marser-Val Malga, conca del Baitone, Val Moja ecc.), nonchè al margine orientale, sulla sinistra della Valle di Borzago.

Mentre le facies basiche finora ricordate si possono considerare essenzialmente come differenziazioni periferiche del plutone, altri minori nuclei femici si trovano sparsi nell'interno della massa eruttiva principale e sono costituiti per lo più da concentrazioni biotitiche nella granodiorite (Val d'Avio) e da concentrazioni anfiboliche o anfibolico-biotitiche nella tonalite (Pantano d'Avio, alte valli di Miller, Salarno e Adamè, zona Lago Nero-rifugio Mandrone nell'alta Valle di Genova). Queste rocce sono caratterizzate da un netto idiomorfismo dei cristalli di orneblenda verde ad abito prismatico tozzo e della biotite a lunghe pile di lamelle sovrapposte.

Meritano di essere poste in particolare rilievo la fre-

quenza e la varietà di queste facies femiche periferiche, comprese entro la massa eruttiva principale oppure localizzate al limite di questa o anche intrusive come apofisi nelle formazioni incassanti.

Solo per alcune di esse, come ad esempio nel caso della grande zolla basica del Monte Blumone (vedi D. COLBERTALDO, bibl. 10), si è potuto invocare l'influenza di fenomeni di assimilazione di rocce calcareo-dolomitiche da parte del magma. La maggior parte di esse sembra corrispondere invece a prodotti di differenziazione magmatica marginale in senso femico, da porre in rapporto con condizioni di rapido raffreddamento ed eventualmente con processi di diffusione sul tipo di quelli considerati nel fenomeno del SORET. Ci limitiamo per ora a queste brevi considerazioni genetiche, riservandoci di ritornare più ampiamente in argomento quando sarà ultimato il complesso delle ricerche chimico-petrografiche tutt'ora in corso.

f) *Facies a tessitura orientata primaria.* Un motivo strutturale di notevole interesse è costituito dagli orientamenti paralleli di origine primaria, fluidale, che presenta la massa eruttiva lungo i margini del settore nord-orientale, sia in Val di Sole sia in Val Rendena, come pure nella bassa Val di Genova ove il fenomeno assume una particolare intensità ed evidenza. La tessitura parallela si si ritrova anche nell'alta Val Borzago e ancora più a sud nell'alta Valle del Caffaro e in Val Cadino.

g) *Filoni.* La massa eruttiva principale è accompagnata da un ricco seguito filoniano, che si sviluppa soprattutto alla periferia del massiccio e nelle formazioni circostanti. La zona più ricca di filoni è quella del settore meridionale fra la Valle di Stabio e l'alta Valle del Caffaro, già ricordata per la varietà delle segregazioni basiche. In quest'area relativamente ristretta abbiamo potuto rilevare oltre trecento filoni poco differenziati (graniti, microdioriti, malchiti e porfiriti plagioclasiche), o nettamente

differenziati sia in senso sialico (aplitici e quarziti feldispatiche) sia in senso femico (porfiriti orneblendiche, spessartiti anfiboliche, kersantiti anfibolico-biotitiche, porfiriti anfibolico-pirosseniche talora con olivina).

Fra le altre zone notevoli per numero e varietà di filoni possiamo citare: i dintorni di Braone, presso lo sbocco della Val Palobbia in Val Camonica; il gruppo del M. Re di Castello con il bacino del Lago di Campo; il gruppo del Corno Alto e la regione fra la Val Seniciaga e la Val di Borzago; il nucleo periferico del Doss del Sabion, ove sono frequenti facies aplitiche tanto filoniane quanto marginali del corpo granodioritico; l'alta Valle di Genova nei dintorni del rifugio e del ghiacciaio del Mandrone.

Piuttosto rare appaiono le pegmatiti, che tuttavia si possono qua e là osservare specialmente nelle valli di Genova, di Salarno e dell'Adamè.

La nuova serie di numerose analisi chimiche che abbiamo ormai a disposizione (eseguite da A. BIANCHI, M. BRUNO, A. CAVINATO, D. COLBERTALDO, G. DE LUCCHI, M. FENOGLIO, O. HIEKE, R. MALARODA, G. OGNIBEN, G. SCHIAVINATO), consente di riconoscere nella massa e nei suoi filoni un chimismo essenzialmente alcali-calcico, con lievi e locali deviazioni in senso alcalino.

Una certa tendenza alcalina si può riconoscere, per es.: in qualche filone pegmatitico di Val Salarno e di Valle Adamè, da noi rilevato; in alcune facies granitiche ed aplitiche del nucleo periferico del Sabion (Val Rendena), su cui sta particolarmente indagando il nostro allievo G. OGNIBEN; in qualche filone di kersantite biotitico-anfibolica che abbiamo potuto osservare sul versante meridionale del M. Frerone in alta Val Fredda; ed anche in alcune differenziazioni lamprofiriche della Val Nambrone, che M. FENOGLIO ha classificato come *minettes*.

Ma si tratta, come abbiamo sopra avvertito, di poche

e limitate deviazioni in senso potassico, o più raramente sodico, entro una vasta gamma di differenziazioni di spiccato carattere alcali-calcico.

Per quanto, a prescindere dalle analisi di vecchia data, si possa già contare su una sessantina di nuove analisi eseguite nell'ultimo ventennio, tuttavia riteniamo ancora prematuro tracciare un quadro completo del chimismo dell'Adamello, sia per la massa principale sia per il ricco seguito filoniano, in considerazione del fatto che rimangono ancora da studiare gli interessanti materiali recentemente raccolti durante il rilevamento geologico dei versanti settentrionale e occidentale del massiccio. Ci riserviamo quindi di ritornare prossimamente in argomento con maggiore compiutezza di dati.

Le formazioni incassanti

Il plutone dell'Adamello si è intruso in una potente serie di terreni che si estende dal Cristallino antico al Trias superiore, comprendendo i seguenti termini stratigrafici (dal basso in alto):

1) *Cristallino antico* prepermiano, verosimilmente archeozoico: filladi quarzifere, filladi cloritiche, quarziti sedimentogene, micascisti, paragneiss e scisti carboniosi della serie sudalpina; ortogneis di Stavel, micascisti, paragneiss e altre rocce della serie austroalpina del Tonale.

2) *Permiano*: arenarie minute, passanti a marne ardesiache e ad argilloscisti finemente stratificati, di colore grigio o verdastro e qualche volta anche rossastro (strati di Collio); porfidi quarziferi e tufi, talora in facies laminata (scisti sericitici di Rino in Valcamonica sec. W. SALOMON); arenarie di Gardena, per lo più rossastre, con letti di conglomerati a facies del « Verrucano »; calcare a *Bellerophon* (dove presente).

3) *Scitico (Werfeniano) inferiore*: arenarie minute, marne e argille scistose rosse del Servino, talora con intercalazioni calcaree.

4) *Scitico* (*Werfeniano*) *superiore*: calcare a cellette e dolomia cariata.

5) *Anisico inferiore*: dolomie (facies di scogliera); calcari scuri, finemente stratificati, nodulosi-lenticolari, in fittissima alternanza con sottili letti argilloso-marnosi (facies camuna); grossi banchi calcarei, compatti, chiari e scuri, a superfici piane, senza letti marnosi e argillosi (facies giudicariense).

6) *Anisico superiore*: calcari nerastri in ripetuta e regolare alternanza con letti marnosi, talora intercalati da banchi arenacei e conglomeratici.

7) *Ladinico inferiore* (strati di Livinallongo = Buchenstein, zona a *Protrachyceras reitzi*): calcari nodulari più o meno ricchi di lenti selciose e a sottili interstratificazioni argillose, che talora alternano con materiali tuffacei, scuri o verdastri (pietra verde); i calcari nodulari possono localmente far passaggio a banchi selciosi con arnioni e letti calcarei.

8) *Ladinico superiore* (strati di La Valle = Wengen, zona a *Daonella lommeli*): calcari finemente stratificati, marne e argilloscisti, per lo più di colore scuro fino a nero, tufi e arenarie rossastre in parte tufacee.

9) *Ladinico* (facies eteropica di scogliera): dolomie e calcari di Esino. Localmente questa facies deve estendersi anche a parte del Carnico.

10) *Carnico inferiore* (strati di S. Cassiano): dolomia cariata, giallastra, farinosa, presso la vetta del M. Frerone nell'Adamello meridionale.

11) *Carnico superiore* (strati di Raibl): nell'area interessata dall'intrusione il Raibliano sembra rappresentato da originari scisti arenaceo argillosi alternanti con arenarie minute, quali si osservano in facies fortemente metamorfica per contatto sul valico del Forcel Rosso, a cavallo fra la Valle di Adamè e l'alta Valle del Chiese.

12) *Norico*: dolomie e calcari dolomitici (dolomia principale).

13) *Retico inferiore*: calcari nerastri con sottili letti marnosi (in facies metamorfica per contatto sul fianco destro della Val di Fumo, presso Malga Breguzzo).

14 *Retico superiore* e *Lias* (?): al disopra dei calcari marnosi retici segue, in val di Fumo, una formazione calcareo-dolomitica che rappresenta secondo TRENER la parte alta del Retico e forse anche il Lias inferiore (dolomia a *Conchodon*).

Per quanto riguarda la distribuzione geologico-topografica dei terreni suelencati, che vengono a diretto contatto con la massa intrusiva, ci limitiamo a dare qui alcuni cenni necessari per la comprensione dei processi metamorfici di cui diremo in seguito.

Al margine settentrionale il plutone è direttamente incassato nella serie delle filladi quarzifere sudalpine e rocce associate ("scisti di Edolo", del SALOMON) e soltanto sull'estremità nord-orientale, in Val di Sole, raggiunge gli scisti della serie austroalpina del Tonale.

I parascisti di Edolo, fasciati da una sottile copertura di terreni permo-triassici in corrispondenza alla grande "anticlinale camuna", prevalgono pure sul lato occidentale fra Edolo e Capodiponte in Valcamonica. Più a sud fin oltre Breno e su tutto il settore meridionale, dalla Valcamonica alla valle delle Giudicarie, la massa eruttiva è contornata da vari termini della serie triassica sudalpina, a cui si accompagnano verso l'esterno le formazioni permiane.

Sul lato orientale, in val Rendena, prevalgono parascisti di varia composizione (filladi, quarziti, micascisti, paragneiss), che il SALOMON ha riunito sotto la denominazione complessiva di "scisti di Rendena". Dobbiamo aggiungere però che in tutto il settore da Pinzolo a Madonna di Campiglio e a Dimaro gli originari rapporti intrusivi fra la massa magmatica e le formazioni incassanti sono mascherati o addirittura sostituiti da nuovi contatti di natura tettonica, che hanno addossato al margine nord-orien-

tale del massiccio, oltre alle formazioni del Cristallino antico e del Trias superiore, anche terreni cretaceo-eocenici.

In conseguenza di queste dislocazioni, la massa tonalitico-granodioritica e le rocce incassanti appaiono qui intensamente deformate e ridotte allo stato di cataclasiti e miloniti post-cristalline, che hanno formato oggetto di una interessante memoria del Dott. R. MALARODA. Fenomeni analoghi si osservano anche lungo l'orlo settentrionale del plutone, sul fianco destro della Val di Sole, in rapporto alla vicinanza della linea tettonica del Tonale (= linea insubrica *auct.*).

Fenomeni metamorfici di contatto

La varia composizione della massa magmatica e dei suoi filoni e soprattutto la grande diversità dei terreni che costituiscono la ricca serie stratigrafica della regione, hanno dato luogo a una vastissima gamma di fenomeni metamorfici di contatto, che compongono un quadro di effetti selettivi di rara complessità e del più grande interesse.

Per il breve spazio accordato alla presente nota, non possiamo che limitarci a cogliere qua e là qualche motivo più saliente di queste multiformi azioni metamorfiche, che erano poco o nulla conosciute fino al tempo dei nostri studi sulla regione di Bazena, ove nel 1937 abbiamo guidato numerosi geologi italiani e stranieri in occasione della 50ª adunanza estiva della Società Geologica Italiana. La stessa regione abbiamo scelto a meta di recenti convegni internazionali per l'alto interesse presentato dai fenomeni geologico-petrografici che vi si possono rilevare con eccezionale chiarezza.

a) *Facies metamorfiche di contatto negli scisti cristallini.*

Avvicinandosi alla massa eruttiva, le filladi quarzifere e i micascisti della Valcamonica come pure i parascisti della Val Rendena appaiono sempre più intensamente induriti, silicizzati, e acquistano una cristallinità più spic-

cata assumendo una caratteristica tinta bruno-rugginosa a riflessi violacei per la diffusa e abbondante neogenerazione di biotite. Qua e là fanno passaggio a cornubianiti gneissiche contenenti minerali caratteristici di contatto, come andalusite, sillimanite, cordierite, granato, tormalina ecc. Fra le zone ove questi effetti si osservano su più vasta scala o con maggior intensità possiamo citare: la bassa Val d'Avio, la conca del Lago Baitone, l'alta Valsaviore, l'alta Valle di Breguzzo, i gruppi del Corno Alto e del M. Sabion.

b) *Facies metamorfiche nei terreni permiani.* In tutta la formazione permiana che si estende a margine della tonalite tipo M. Re di Castello, dal lago d'Arno al lago di Campo, l'influenza di contatto della massa magmatica si manifesta in modo vistoso per la caratteristica e diffusa macchiettatura, rappresentata da chiazze, efflorescenze dendritiche, mosche e lenticelle di tinta grigio-bruna o grigio-verdastra. Si tratta di quarziti e di cornubianiti quarzoso-feldispatiche, a biotite, clorite, muscovite e tormalina eterogeneamente distribuite. In modo analogo, i fenomeni metamorfici hanno trasformato le primitive arenarie permiane di Gardena in quarziti macchiettate anche al M. Ignaga e al Passo del Bos, sui due lati del vallone dell'Adamè.

A queste varie forme di quarziti cornubianitiche si accompagnano, sul fianco destro del lago d'Arno e soprattutto a nord del lago Baitone, eleganti facies più o meno distintamente metamorfiche di conglomerati del Verrucano

c) *Facies metamorfiche nei sedimenti del Trias inferiore (Scitico).* La successione dei terreni che forma la parte bassa del Trias inferiore, già costituita originariamente da arenarie minute e argille scistose, spesso con intercalazioni calcareo-marnose, è stata trasformata essenzialmente in una ripetuta e fitta alternanza di cornubianiti e scisti cornubianitici variegati, a liste o a chiazze bruno-

rossastre, grigie e verdi, nelle quali prevalgono talora la biotite e talora la fassaite come prodotti di neoformazione, accompagnate qua o là da tormalina, andalusite, sillimanite, flogopite, granato.

Con i materiali sopradetti alternano banchi sottili di marmi saccaroidi e calcefiri a granati, pirosseni, flogopite, epidoto e altri silicati. Le due zone più interessanti per la constatazione sul terreno di questi eleganti prodotti del metamorfismo sono la sponda destra del Lago d'Arno, il Passo di Campo e l'alto valico del Forcel Rosso fra la Val di Fumo e la Valle dell'Adamè.

Nelle stesse zone si può inoltre osservare lo scarso effetto risentito dalla dolomia cariata (parte alta del Trias inferiore), che tutt'al più assume una grana saccaroide senza acquistare di solito nè compattezza litoide nè minerali di nuova genesi, cosicchè rimane facilmente erodibile anche nelle zone di intenso metamorfismo.

d) *Facies metamorfiche nei terreni anisici.* La regione di Bazena, nell'Adamello meridionale, è senza dubbio quella che offre il maggior interesse per lo studio dei vistosi effetti selettivi di metamorfismo sui sedimenti calcarei, calcareo-dolomitici e calcareo-marnosi con qualche letto arenaceo, dell'Anisico.

La Valbona, l'alta Valfredda, la Val Cadino e le pareti meridionale e orientale del M. Frerone rivelano su larga scala la profonda trasformazione subita dai terreni dell'Anisico inferiore in facies camuna. Mentre i letti calcarei presentano essenzialmente un semplice processo di ricristallizzazione e sono in generale poveri di minerali nuovi (fra i quali possiamo annoverare flogopite, tremolite e rara scapolite), invece negli interstrati marnosi si sviluppano calcefiri e cornubianiti a granato, fassaite, epidoto e flogopite con vario gioco di associazioni e di aspetti.

Per la facies prevalentemente calcarea, giudicariense, dell'Anisico inferiore, possiamo assumere come tipico il

giacimento da noi rilevato lungo la strada carrozzabile presso Alpe Bazena, dove un grosso filone granodioritico-dioritico viene a contatto con i predetti terreni sedimentari inviando in essi alcune vene aplitiche. Il giacimento fu studiato in particolare da G. SCHIAVINATO, il quale vi riconobbe la presenza di "skarn", andraditico-hedenbergitici a plagioclasio di origine pneumatolitico-metasomatica, nonchè di cornubianiti e calcefiri vari a wollastonite, diopside, granato, vesuviana, epidoto, con tracce di brucite e di flogopite.

Per la facies calcareo-dolomitica di scogliera dell'Anisico inferiore possiamo invece ricordare un altro giacimento, da noi pure trovato nello stesso settore meridionale dell'Adamello. E' questo il giacimento di contatto del M. Costone, a cavallo fra la Valbona e la Val Stabio, che fu oggetto di una memoria dettagliata da parte di O. HIEKE. Si tratta di lenti di calcefiri e cornubianiti immerse in una massa dioritica, che presentano come minerali caratteristici di neoformazione metamorfica: fassaite, granato, xantofillite, spinello, epidoto, thulite, vesuviana e, talora, flogopite e brucite.

Influenze metamorfiche in complesso analoghe a quelle dell'Anisico inferiore calcareo-marnoso hanno subito anche i sovrastanti sedimenti dell'Anisico superiore, come abbiamo potuto rilevare sia sul M. Frerone nell'Adamello meridionale sia sul Forcel Rosso fra la Valle di Fumo e la Valle di Adamè. Come caratteristica differenziale rispetto ai terreni predetti si osserva qui una maggiore frequenza e un più rilevante spessore dei letti scuri silicatici a patina di alterazione rosso-bruna.

e) *Facies metamorfiche nei terreni del Ladinico inferiore (zona a Protrachyceras reitzi)*. Nelle stesse località testè menzionate del M. Frerone e del Forcel Rosso si possono osservare in facies altamente metamorfica gli strati di Livinallongo (Buchenstein), rappresentati da marmi

saccaroidi grigio-chiari o biancastri, da cornubianiti verdastre a diopside con anfibolo e vesuviana, e da cornubianiti rossastre a biotite e granato. A questi banchi che risaltano per la loro caratteristica struttura nodulare o lenticolare, si accompagnano anche letti di arenarie metamorfiche macchiettate (*Fleckschiefer*), a biotite, sillimanite, cordierite, tormalina e feldispato, e di conglomerati quarzosi minuti, che hanno assunto facies gneissica e tessitura scistosa.

f) *Facies metamorfiche nei terreni del Ladinico superiore* (zona a *Daonella lommeli*). Anche gli strati di La Valle (Wengen) appaiono sul M. Frerone in facies intensamente metamorfica, sotto forma di arenarie cornubianitiche, rosso-violacee scure, con pronunciata cristallinità e con una diffusa granulazione secondaria di biotite idiomorfa, accompagnata da plagioclasio, tormalina e zoisite.

g) *Facies metamorfiche nei calcari dolomitici di Esino (Ladinico)*. In genere, le masse calcareo-dolomitiche di Esino hanno subito per effetto del contatto un semplice fenomeno di ricristallizzazione, che le ha trasformate in marmi bianchi saccaroidi. E anche là dove la roccia sedimentaria sia a contatto diretto con quella eruttiva, come avviene in Val Cadino e in Val Fredda, l'alone metamorfico a silicati calcio-magnesiaci è per lo più limitato a uno spessore di qualche centimetro o di pochi decimetri al massimo. Non manca tuttavia anche nella dolomia di Esino qualche tipico giacimento particolarmente ricco di nuovi prodotti metamorfici. Uno di questi trovasi a quota 2591 del M. Frerone e fu da noi affidato in particolare studio al compianto allievo nostro G. DE LUCCHI. In questa località si sviluppano, su un'area relativamente estesa, caratteristici calcefirri disseminati di cristalli idiomorfi di granato, vesuviana e diopside accompagnati da epidoto o thulite.

Limitate ma eleganti aureole metamorfiche policrome si osservano alle salbande di sottili vene aplitiche, che

tagliano le zolle di marmo di Esino immerse entro la diorite di M. Cadino in Valfredda (Adamello meridionale). Sono cornubianiti pirosseniche e pirossenico-epidotiche, nelle quali si trovano come minerali accessori variamente distribuiti in zone: orneblenda, apatite, thulite, wollastonite, spinello, xantofillite, olivina e, attorno a questa, anche serpentino e calcedonio.

Il minerale xantofillite, che fu per la prima volta da noi segnalato in Italia fra i prodotti metamorfici di contatto del M. Costone, si ritrova pure nelle lenti di calcefiri e cornubianiti a silicati vari (fassaite, granato, spinello e pirosseno rombico) comprese in piena massa tonalitica presso il Rifugio Rosa al Lago della Vacca (Adamello meridionale).

Un'altra zona d'intenso metamorfismo è quella del Monte Sablunera, a sud-ovest del Lago d'Arno, dove il calcare dolomitico di Esino, presenta una vistosa grana cristallina e un'abbondante mineralizzazione a silicati calcio-magnesiaci di contatto.

h) *Facies metamorfiche nei terreni del Carnico*. La dolomia cariata degli strati di S. Cassiano, da noi individuata sulla cresta settentrionale del M. Frerone e sulla sella fra il Farinas del Frerone e la q. 2591, non presenta particolari facies mineralogiche di contatto, al pari della dolomia cariata del Trias inferiore. Invece gli strati di Raibl, che affiorano sul valico di Forcel Rosso, già preso in considerazione nelle pagine precedenti, sono rappresentati da originarie rocce pelitiche e psammitiche evidentemente metamorfiche, con tinta grigio-scura a riflessi violacei, con minuta tessitura filladonica o nodulare, e con diffusa mineralizzazione a biotite e tormalina attorno a isole granulari di plagioclasio e cordierite.

i) *Facies metamorfiche nella dolomia principale (Norico)*. A Forcel Rosso è messo a nudo per una notevole estensione il contatto diretto fra la tonalite della Cima di

Breguzzo è la dolomia principale dell' "anticlinale camuna". La zona d'immediata influenza è caratterizzata da una chiazzeria irregolarmente variegata, ove predominano volta a volta le tinte rosee del granato e della thulite, verdognole dell'anfibolo, del pirosseno e dell'epidoto, brune dell'olivina più o meno limonitizzata e gialle del serpentino, il quale ultimo deriva da un'evidente azione tardiva idrotermale sull'olivina stessa. Allontanandosi dalla roccia eruttiva, il grosso della formazione dolomitica consiste in un candido marmo saccaroide.

La stessa facies mineralogica di contatto si ritrova nell'Adamello meridionale, laddove la imponente massa dolomitica del Farinas del Frerone è intimamente permeata da vene e filoni dioritici. Alla serie di minerali sopra accennati si associano qui anche spinello, calcedonio e tracce di xantofillite e wollastonite, come risulta da uno studio particolare eseguito nell'Istituto Mineralogico di Padova dal Dott. M. KONSTANTINOV.

1) *Facies metamorfiche nel Retico*. Gli originari calcari marnosi nerastri, forse in parte magnesiaci, che rappresentano il Retico inferiore sulla destra della Val di Fumo fra malga Breguzzo e malga Casinelle, rivelano anch'essi l'azione metamorfica nella grana saccaroide degli straterelli calcarei e nella presenza di sottili letti silicatici con tremolite, olivina, flogopite ecc. All'estremità settentrionale della lingua di marmi bianchi dolomitici, che si protende entro la tonalite fin sopra malga Breguzzo rappresentando il Retico superiore e forse anche la base del Lias, si trovano calcefiri a diopside e spinello con epidoto e granato come accessori.

Effetti selettivi e convergenze metamorfiche nei fenomeni di contatto

Questa rapida rassegna delle principali formazioni metamorfiche di contatto offre una chiara idea della complessità di *effetti selettivi* esercitati dalla massa magmatica

sui varî termini della serie stratigrafica direttamente interessati dall'intrusione. La molteplicità delle facies metamorfiche di contatto si rivela anzitutto come conseguenza della svariata composizione dei materiali originari che hanno subito l'influenza del magma.

Riteniamo superfluo a questo proposito riprendere in esame gli effetti metamorfici ovviamente contrastanti offerti da materiali radicalmente diversi, come possono essere da un lato gli scisti del Cristallino antico e dall'altro i calcari e le dolomie del Trias. Intendiamo invece richiamare l'attenzione sulla grande varietà di facies metamorfiche presentata dai termini di una stessa formazione per l'eterogeneità delle rocce che li costituiscono.

Gli esempi più espressivi a tale riguardo sono dati dalle fitte e ripetute alternanze di marmi, calcefiri a silicati diversi e cornubianiti variegate che si osservano in seno al Werfen, all'Anisico e al Livinallongo: si rileva cioè, anche su breve spazio, una grande variabilità della primitiva facies sedimentaria, che le azioni metamorfiche hanno fissato e messo in particolare risalto accentuandone i motivi di contrasto. Per i dettagli mineralogico-petrografici, che valgono a precisare queste considerazioni, rimandiamo a quanto abbiamo già detto nelle pagine precedenti.

D'altra parte, ad arricchire il quadro delle manifestazioni, si contrappone a questi effetti selettivi una serie di *fenomeni di convergenza metamorfica*, per cui terreni molto diversi per età e struttura, ma affini per composizione, offrono attualmente una grande somiglianza di facies mineralogica. Basterà ricordare a questo proposito l'analogia di caratteri che presentano fra loro certi tipi metamorfici entro le formazioni psammitiche e pelitiche del Werfen, del Livinallongo e del Raibiano nella zona di Forcel Rosso, oppure nelle dolomie dell'Anisico, del Ladinico e del Trias superiore tanto a Forcel Rosso quanto nel settore meridionale dell'Adamello.

Molto meno evidente risulta un effetto selettivo in conseguenza della diversa composizione chimica della roccia magmatica. Tuttavia anche a questo riguardo si può notare un differente comportamento nei filoni acidi rispetto a quelli basici, che attraversano le formazioni sedimentarie al margine meridionale del massiccio. Infatti le apliti e le altre iniezioni leucocratiche esercitano una influenza di contatto generalmente assai più vasta ed intensa di quella dovuta ai filoni malanocratici. I più istruttivi esempi a questo riguardo sono offerti dalla parete meridionale del M. Frerone in alta Valfredda.

Processi metasomatici

In tanta ricchezza di manifestazioni metamorfiche dell'Adamello trovano posto anche *processi metasomatici di contatto*, per quanto gli scambi di sostanze non assumano generalmente grande intensità e largo sviluppo. Perlopiù si avverte come causa fondamentale dei fenomeni metamorfici l'azione termica, giacchè la maggior parte delle sostanze necessarie per impartire alle rocce la loro nuova facies mineralogica era già presente nelle formazioni incassanti. Ciò è stato dimostrato in particolare per quanto riguarda l'Anisico da R. MINOZZI, con lo studio chimico-petrografico di un interessante giacimento dell'alta Val Cadino, nel quale l'apporto di nuove sostanze da parte delle soluzioni magmatiche consiste essenzialmente in una limitata aggiunta di silice e allumina. D'altra parte, anche dov'è più fitta la rete di apofisi e filoni variamente differenziati, come per esempio nella regione compresa fra la Valle di Stabio e l'alta Valle del Caffaro, non si osserva in genere un intimo scambio di sostanze adeguato alla vastità e all'intensità dell'effetto metamorfico generale. Ciò riguarda soprattutto i filoni basici, che presentano margini nettissimi e senza alone metasomatico, mentre invece le iniezioni filoniane acide hanno esercitato una più evi-

dente azione metasomatica, che senza dubbio va messa in rapporto con una maggior ricchezza originaria di vapori, di gas e di soluzioni.

Poco penetrabili e quindi poco suscettibili di scambi, si dimostrano gli innumerevoli lembi calcareo-dolomitici dell'Esino immersi entro la massa granitico-granodioritica di Valfredda e Val Cadino, che non hanno risentito vistosi processi di assimilazione e di iniezione magmatica. Essi appaiono come candidi marmi saccaroidi con un'aureola metamorfica di pochi centimetri o al massimo di qualche decimetro di spessore. Un pò maggiore appare invece la penetrazione dei residui magmatici, in rapporto con la presenza di alcuni filoni acidi, nella già ricordata massa calcareo-dolomitica del M. Sablunera a sud-ovest del Lago d'Arno, come pure nel giacimento a q. 2591 del Farinas del Ferone studiato da G. DE LUCCHI.

Non mancano tuttavia, anche ai margini del plutone dell'Adamello, chiari esempi di processi metasomatici di varia natura. Il caso più interessante finora messo in evidenza dalle nuove ricerche è quello del giacimento a wollastonite e altri minerali di contatto presso Alpe Bazena, descritto da G. SCHIAVINATO. In seguito alle intime reazioni di scambio fra i calcari puri incassanti e il materiale eruttivo, si sono originati qui tipici « skarn » andraditico-hedenbergitici di origine pneumatolitico-metasomatica, nonchè cornubianiti e calcefiri vari a wollastonite, vesuviana, granato, diopside, epidoto, albite e brucite, che denotano una genesi pneumatolitico-idrotermale svoltasi secondo l'autore in condizioni di temperatura e di pressione piuttosto elevate.

Anche i calcefiri cornubianitici a xantofillite del M. Costone in Valbona e del Lago della Vacca, ove questo raro minerale è accompagnato da granato, fassaite, spinello epidoto e talora da vesuviana, thulite, flogopite e brucite, hanno tipico carattere di sostituzioni metasomatiche, che

hanno quasi completamente trasformato lembi di calcari dolomitici compresi in rocce dioritiche.

L'intima penetrazione di diorite nella dolomia principale del Farinas di Stabio e del Frerone attraverso una fitta rete di apofisi filoniane e di vene, ha prodotto un altro interessante giacimento di contatto, il cui studio di dettaglio fu da noi affidato al dott. Metodi KONSTANTINOV di Sofia come tema per il suo perfezionamento in Scienze geologiche presso l'Università di Padova. In questo caso i processi metasomatici hanno dato luogo in un primo tempo a calcefiri a olivina, granato, fassaite, thulite, epidoto con tracce di xantofillite, spinello e wollastonite, mentre in una fase tardiva a carattere idrotermale si è avuta la sostituzione del peridoto con serpentino, calcedonio, pennina, talco e magnetite.

Analoghi scambi di sostanze abbiamo recentemente constatati al contatto fra tonalite basica e dolomia principale sul valico di Forcel Rosso fra le valli di Fumo e di Adamè.

In qualche caso è avvenuta addirittura una sostituzione radicale, che ha lasciato lenti di granatite nei marmi di Esino dell'alta Val Bazenina, oppure noduli e letti irregolari di cornubianiti granatifero-piroseniche ad epidoto sui fianchi del M. Frerone.

Anche in tutt'altro settore dell'Adamello, cioè nel gruppo del Baitone, vennero già osservati e descritti da W. SALOMON e da C. GOTTFRIED lenti e vene di granatite nonchè di «skarn» granatiferi a diopside hedenbergitico e biotite, che i suddetti autori interpretarono come prodotti di origine pneumatolitico-metasomatica.

Una diffusa penetrazione di vapori e soluzioni di origine magmatica si può pure invocare per la genesi della scapolite e del dipiro, talvolta accompagnati da un anfibolo tremolitico, nei calcari marnosi dell'Anisico in Valbona e in Valcamonica.

Presso l'immediato contatto con le formazioni mar-
nose, calcaree e dolomitiche del Trias, la roccia eruttiva
presenta ordinariamente come caratteristica variazione en-
dometamorfica, un alone più chiaro di qualche decimetro
fino a qualche metro di spessore, nel quale si rileva un
netto impoverimento di componenti femici, una sostituzione
quasi totale dell'orneblenda con augite e un arricchimento
di titanite, oltrechè la saltuaria presenza di thulite e
granato all'estremo limite della massa magmatica. Questo
fatto induce ad escludere un vasto e considerevole assor-
bimento di sostanze estranee da parte del magma. Tut-
tavia, al margine meridionale dell'Adamello, abbiamo po-
tuto osservare anche esempi innegabili di assimilazione su
larga scala. È questo il caso della massa dioritico-gabbro-
dioritica del M. Blumone, caratterizzata da una grande
instabilità di facies e di grana cristallina, nonchè dall'in-
clusione di lenti cornubianitiche e dalla presenza di fre-
quenti brecce di contatto a fassaite, orneblenda, antigorite
ecc. In seguito a un approfondito studio chimico-petrogra-
fico, l'allievo nostro dott. D. COLBERTALDO ha potuto di-
mostrare l'arricchimento di calcio e magnesio e la perdita
di potassio subiti da questa massa dioritica, che occupa
quindi un posto particolare nell'ampia gamma delle diffe-
renziamenti femiche dell'Adamello.

Padova, Ottobre 1948.

*Istituti di Mineralogia e Geologia dell'Università di Padova - Centro
Studi di Petrografia e Geologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche.*

BIBLIOGRAFIA

Nell'impossibilità di riportare la vastissima bibliografia geologico-
petrografica sull'Adamello, che del resto è contenuta nei ben noti la-
vori di W. SALOMON, C. RIVA, G. B. TRENER, H. P. CORNELIUS, M.
FURLANI e altri autori, riteniamo opportuno dar qui l'elenco delle

nuove pubblicazioni comparse in questi ultimi anni ad opera degli studiosi italiani.

1. BIANCHI A. *Ricerche petrografiche compiute nell'estate 1946 con il contributo straordinario del C. N. R. Ricerca Scientifica e ricostruzione*, anno XVI, Roma 1946, p. 1683.

2. BIANCHI A e DAL PIAZ Gb. *Il settore meridionale del massiccio dell'Adamello, Relazione sul rilevamento e studi preliminari della zona compresa fra la valle di Stabio e l'alta valle del Caffaro*. Boll. Ufficio Geol. d'Italia, vol. LXII, Roma 1937, pp. 1-87, con 7 fig. e 5 tav.

3. BIANCHI A. e DAL PIAZ Gb. *Atlante geologico-petrografico dell'Adamello meridionale. Regione fra lo Stabio ed il Caffaro*. Mem. Ist. Geol. Univ. Padova, vol. XII, Padova 1937, pp. 1-16, con 15 tav. e una carta geol. alla scala 1: 12.500.

4. BIANCHI A e DAL PIAZ Gb. *Guida alle escursioni della 50ª riunione estiva della Società Geologica Italiana (Padova - Adamello - Trentino - Alto Adige, 1-8 settembre 1937)*. Padova, 1937, pp. 1-89, con 12 fig. e un panorama.

5. BIANCHI A. e DAL PIAZ Gb. *Il settore nord-occidentale del massiccio dell'Adamello. Relazione preliminare sul rilevamento e sugli studi geologico-petrografici compiuti durante l'anno 1939 nell'alta val Camonica*. Boll. Ufficio Geol. d'Italia, vol. LXV, 1940, pp. 1-18, con 4 fig.

6. BIANCHI A. e DAL PIAZ Gb. *Centro Studi di Petrografia e Geologia. Programma generale di ricerche e attività svolta nell'anno 1947*. Ricerca scientifica e ricostruzione, anno XVIII, Roma 1948.

7. BIANCHI A. e HIEKE O. *La xantofillite dell'Adamello meridionale*. Periodico di Mineralogia, anno XV, Roma 1946, pp. 87-134, con 4 fig. e 3 tav.

8. BRUNO M. *Un caratteristico filone basico zonato a noduletti quarzosi del M. Frerone (Adamello meridionale)*. Rend. Soc. Mineral. Ital. anno III, Pavia 1946, pp. 87-106, con 1 tav.

9. CAVINATO A. *Studio petrografico di alcune rocce dell'Adamello*. Studi Trentini, Cl. II Anno VIII, Trento 1927, fasc. II, pp. 129-156, con 1 tav.

10. COLBERTALDO D. *Petrografia del Monte Blumone (Adamello meridionale)*. Mem. Ist. Geol. Univ. Padova, vol. XIV, 1940, pp. 1-51, con 9 fig., 1 cartina e 3 tav. Rec. dell'a. in Studi Trentini di Sc. Nat., anno XXI, Trento 1940, pp. 223-233.

11. COLBERTALDO D. *Relazione preliminare sul rilevamento geologico del settore orientale dell'Adamello compreso fra la Val di Genova e l'alta Valle di Breguzzo - campagne 1939-40*. Padova 1940, ed. Istit. di Mineral. e Petr. Università, pp. 1-13.

12. COLBERTALDO D. *Ricerche geologico-petrografiche sul settore orientale dell'Adamello fra Val di Genova e Val di Breguzzo.*

Mem. Ist. Geol. Univ. Padova, vol. XIV, 1942, pp. 1-44, con 5 fig. 1 panorama, una carta alla scala 1: 50.000 e 3 tav. Rec. dell'a. in Studi Trentini di Sc. Nat., anno XXIII, 1942, pp. 143-156.

13. COLBERTALDO D. *Ricerche geologico-petrografiche sulla Valle di Breguzzo (Adamello sud-orientale).* Studi Trentini di Sc. Nat. anno XXIV, 1943, pp. 15-32, con 6 tav.

14. DAL PIAZ Gb. *Antichi depositi morenici presso Madonna di Campiglio nel Trentino occidentale.* Boll. Comitato Glaciologico Ital., n. XV, Torino 1935, pp. 57-60.

15. DAL PIAZ Gb. *Scoperta di nuovi affioramenti di Verrucano e di Trias inferiore nell'alta valle Camonica.* Atti e Memorie R. Accad. Sc. Lett. ed Arti di Padova, vol. LVI, 1939-40, pp. 1-5.

16. DAL PIAZ Gb. *Ricerche geologiche nella regione dell'Adamello compiute durante i mesi di agosto e settembre 1946 dal personale dell'Istituto di Geologia dell'Università di Padova.* Ricerca scientifica e ricostruzione, anno XVII, n. 4, Roma, aprile 1947, pp. 448-449.

17. DAL PIAZ G. *Il confine alpino-dinarico dall'Adamello al massiccio di Monte Croce nell'Alto Adige.* Atti Acc. scient. ven. trentino-istriana, serie 3^a vol. 17, Padova 1926, pp. 1-7

18. DAL PIAZ G. *Sommatoria relazione sui lavori della Sezione geologica del Magistrato alle Acque nel biennio 1931-32.* Atti Soc. Ital. per il Progresso d. Scienze, XXI Riunione (Roma 1932), vol. I, Roma 1933, pp. 432-435

19. DAL PIAZ G. *Cenni geologici sull'Adamello,* preparati nell'anno 1935 per la Guida del gruppo dell'Adamello del Club Alpino Italiano, sezione di Brescia.

20. DE LUCCHI G. *Il giacimento di contatto di quota 2591 del M. Farinas del Frerone.* Atti Ist. Veneto Sc. Lett. ed Arti, vol. XCVIII, Parte II, Venezia 1939, pp. 79-98, con 2 fig.

21. FENOGLIO M. *Sulla presenza dell'epidoto nella tonalite di Val Nambrone (Gruppo dell'Adamello).* Periodico di Mineralogia, anno IX, Roma 1938, pp. 19-23, con 2 fig.

22. FENOGLIO M. *Sopra due «minettes» della Val Nambrone (Gruppo dell'Adamello)* Rend. Acc. Lincei, vol. XXVIII, ser. 6^a, Roma 1938, pp. 100-106.

23. FENOGLIO M. *Studi geologico-petrografici sulla Val Nambrone (Massiccio dell'Adamello).* Mem. Ist. Geol. Univ. Padova, vol. XIII, 1938, pp. 1-93, con 6 figg. nel testo, 1 tav., e 1 carta geologica alla scala 1: 25.000. Rec. dell'a. in Studi Trentini di Sc. Nat., XX, 1939, pp. 155-161.

24. HIEKE O. *I giacimenti di contatto del M. Costone (Adamello meridionale)*. Mem. Ist. Geol. Univ. Padova, vol. XV, 1945, pp. 1-44, con 8 figg. e 1 tav.

25. KONSTANTINOV M. *Le formazioni metamorfiche di contatto nei calcari dolomitici del Farinas di Stabio (Adamello meridionale)*. Dissertazione di laurea in Scienze Geologiche presso l'Università di Padova, 1943.

26. MALARODA R. *Studi petrografici nell'Adamello nord-orientale*. Mem. Ist. Geol. Univ. Padova, vol. XVI, 1948, pp. 1-104 con 5 figg. e 3 tav.

27. MALARODA R. *Morfologia e terreni quaternari nella zona ad oriente del Passo del Tonale con particolare trattazione del morenico stadiale*. Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, vol. I, 1948, pp. 311-328, con una carta alla scala 1: 50.000.

28. MALARODA R. *Condizioni tettoniche della zona di Prestine (media Valcamonica)*. Rend. Acc. Naz. Lincei, Cl. sc. fis. mat. e nat. serie VIII, vol. VI, Roma 1949, pp. 102-108, con 3 figg. e una cartina geologica.

29. MINOZZI R. *Azioni metamorfiche di contatto fra tonalite e calcari marnosi anisici in alta Val Cadino (Adamello meridionale)*. In corso di stampa.

30. OGNIBEN G. *Studio chimico-petrografico sul Doss del Sabion in Val Rendena* (in corso di preparazione).

31. RIEDEL A. *Primi risultati di uno studio geologico sulla media Val Camonica a sinistra del fiume Oglio*. Rend. Acc. Naz. Lincei, Cl. sc. fis. mat. e nat., serie VIII, vol. VI, Roma 1949, pp. 97-101.

32. SANERO E. *Stilbite nella tonalite di Val Nambrone*. Periodico di Mineralogia, anno IX, Roma 1938, pp. 205-212, con 1 fig.

33. SANERO E. *La struttura della xantofillite*. Periodico di Mineralogia, anno XI, Roma 1940, pp. 53-77, con 5 tav.

34. SCHIAVINATO G. *Il giacimento a wollastonite ed altri minerali di contatto presso Alpe Bazena (Adamello meridionale)*. Mem. Ist. Geol. Univ. Padova, vol. XV, 1946, pp. 1-61, con 5 figg. e 1 tav..