

Zeitschrift: Bollettino della Società ticinese di scienze naturali
Herausgeber: Società ticinese di scienze naturali
Band: 36 (1941)

Artikel: Sul metamorfismo delle rocce nelle Alpi Ticinesi
Autor: Casasopra, Secondo
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1003629>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 31.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Dr. SECONDO CASASOPRA

Sul metamorfismo delle rocce nelle Alpi Ticinesi *)

Nell'onda pietrificata in cui l'arco alpino ritrae tuttora l'avanzata lenta e irresistibile della massa continentale africana da mezzodì a settentrione, il settore lepontino non è che un piccolo segmento. La sua importanza e la sua singolarità cominciano a trapelare quando vi scorgiamo l'infrangersi dei cavalloni rocciosi sulla fronte di vecchi tronchi d'una catena già da lungo assestata e comportante soltanto più una resistenza passiva.

Ecco percepire l'eloquenza strana di queste vicissitudini nel muto linguaggio delle rovine, dei resti sminuzzati e denudati dalle forze incessanti dell'esogenia terrestre. E i residui dell'antica struttura evocano l'atmosfera comune che tutti avvolse e di cui ora portano le tracce indelebili anche al di là d'ogni diversità d'aspetto. E' un carattere plasmato nel loro più remoto divenire: nella trasformazione, nella rigenerazione, o, in termine proprio, nel metamorfismo subito durante il lungo periodo d'orogenesi alpina. Questa impronta, unitaria e generale nella sua forma fenomenica, costituisce per qualsiasi osservatore, anche per il meno affiatato con il mondo geologico, l'attrattiva più viva capace di suscitargli subito la domanda dei primi perchè e forse anche di quelli lontani che potrebbero già saziarlo nel godimento intellettuale di una sintesi limpida e completa. Se non che tali desideri restano pegno di varie generazioni e soltanto piccole briciole soddisfano il desiderio continuo di conoscere il vero.

Oggi non è più la semplice descrizione della natura che può accontentare ma l'ordine di causalità dei fenomeni nella loro costante successione e interferenza, antecedente sincrona o posteriore a un determinato punto di osservazione. In questo modo la petrografia moderna affrontando lo spinoso problema del metamorfismo si rifà a quelle intuizioni dei primi scrutatori e indaga la natura intrinseca, il genere di trasformazione non solo in sè ma nel quadro di un complesso armonico qual'è l'evoluzione della crosta terrestre, quindi come

*) Quest'articolo è un breve rendiconto della relazione tenuta l'8 marzo 1942 all'Assemblea annuale ordinaria della S.T.S.N. a Bellinzona.

parte di un tutto organico. E in simil visione integrale il metamorfismo delle rocce assurge a un piano generale di prim'ordine, giacchè nell'incessante divenire degli elementi terrestri riafferma l'armonia che associa la vastità dei parossismi alle meraviglie del microcosmo. Dominando in questa ampiezza di dimensioni, sia di spazio che di tempo, ci palesa un nuovo aspetto dell'ordine universale — senza dubbio uno dei tanti stimoli che ci invitano a ritornare in noi e meditare con maggior consapevolezza sull'essenza delle cause ultime.

I. ALCUNI CONCETTI GENERALI.

Evitando di tratteggiare lo sviluppo storico della concezione di metamorfismo, che pur offrirebbe una gustosissima rassegna dei più opposti pareri, non possiamo tralasciare di fissare chiaramente il contenuto concettuale dei termini coi quali esprimiamo i nostri pensieri, poichè l'identificazione dei fenomeni realmente occorsi richiede un'adeguata limitazione dell'enunciato nel quale tutti si ritrovino a proprio agio e concordi. Le varie concezioni sul metamorfismo vennero formulandosi attraverso alle più disparate concomitanze di tempo e di luogo: sentiamo perciò parlare di metamorfismo di profondità, di metamorfismo chimico, regionale, di contatto o per effetto calorico, dinamico o per effetto meccanico, d'iniezione, d'assimilazione, ecc... e così via.

In tutte si nota lo sforzo dell'astrazione nel caratterizzare un fattore prevalente giungendo talora a ritenerlo quasi come discriminante assoluto d'una modalità rispetto a un'altra, sì da produrre non di rado l'irrigidimento di diversi indirizzi attenagliati a convinzioni non sempre persuasive.

Sono d'oggi le discussioni intorno a speciali stadi del metamorfismo ed è ancor oggi che si sente la necessità di chiarire i punti di partenza, di formulare definizioni semplici ma quanto più esaurienti onde evitare tanto vaniloquio.

La concezione che attualmente a tutte si impone integrandole nella sua netta organicità e comprensione è quella elaborata dalla scuola dei geologi svizzeri. Questi infatti procedendo con tutto rigore dall'osservazione globale e di dettaglio del divenire metamorfico nelle rocce alpine poterono individuare circostanze di spazio e di tempo, di causa e di effetto, tali che inquadrate e ricostruite nel loro logico concatenamento formano la base della concezione di metamorfismo.

La definizione ormai classica proposta da Grubenmann - Niggli domina tutte le opposizioni creatisi con lo spezzettamento dei fenomeni, riducendo all'unità ciò che in natura è tale. E non dimentichiamo che questa stabile quadratura prese forma anche attraverso lo studio delle nostre rocce lepontine. Esse, per lungo tempo trascurate poichè apparentemente mo-

notone restarono quasi sempre nella penombra della cenerentola; da esse invece scaturirono tanti fruttuosi spunti, e in esse son celati ancora tanti enigmi che ben valse (e vale tuttora) l'impresa del loro studio.

Veduto in questa luce il problema del metamorfismo delle rocce nelle Alpi Ticinesi assume nuovo interesse del tutto particolare e si proietta con maggior vivacità di contorni, condensando implicitamente il periodo più importante della loro genesi.

* * *

Per *metamorfismo delle rocce* intendiamo adunque secondo Grubenmann e Niggli, la somma di quei processi che causando una profonda modificazione del loro aggregato preesistente, si sviluppano al di fuori della comune zona di alterazione senza la partecipazione degli agenti atmosferici e senza che in qualsiasi momento della trasformazione la *massa totale* si trovi allo stato di soluzione.

Si tratta adunque di trasformazioni subite da aggregati minerali durante il cambiamento delle condizioni fisico-chimiche sotto cui si stabilizzò una loro fase genetica; trasformazioni che determinano perciò il passaggio degli aggregati minerali a diversi e successivi stadi di associazione. Questi stadi procedenti verso un equilibrio stabile non rappresentano che gli spostamenti interni del sistema di componenti di ciascun aggregato, secondo la ripartizione del dominio di concentrazione, di pressione e temperatura. Qui sta l'essenza fenomenica del metamorfismo delle rocce, anzi dell'origine di tutte le paragenesi minerali naturali e sintetiche, in quanto riproducono le innumerevoli combinazioni prodotte secondo la regola delle fasi.

Gli elementi che stabiliscono il movimento graduale di queste reazioni fisico-chimiche si possono ricondurre ai tre seguenti:

- la qualità dell'edotto primario (o sistema iniziale di componenti),
- l'intensità rigenerante (o campo d'oscillazione delle reazioni),
- la posizione regionale (od ubicazione spaziale della massa reagente).

Tutti e tre influiscono a vicenda, ma ciascuno abbraccia un movente del tutto particolare, di cui non si può fare astrazione senza incappare in gravi omissioni.

Ora l'insieme di questo divenire noi l'afferriamo soltanto nella fase ultima della sua stabilizzazione, cioè come ci si presenta attualmente in natura, sotto due aspetti fondamentali ben distinti: la composizione mineralogica e la composizione

chimica, aspetti che in sostanza non solo si integrano ma in certo senso tendono ad identificarsi.

Con l'osservazione della *composizione mineralogica*, oltre alla presenza di minerali caratteristici per una data zona di trasformazione (p. es. sillimanite, staurolite, distene, muscovite, epidoto ecc.) oppure per un determinato sistema iniziale (p. es. serpentino, talco, wollastonite, diopside ecc.) ritroviamo le tracce più significative dello stadio distruttivo (cataclasi) o costruttivo (crystalloblastesi) secondo l'ordine delle variazioni nello spazio e nel tempo: possiamo così stabilire alcune proprietà dell'edotto primario e anche i dati elementari della specie di trasformazione. Interpretando poi l'assetto strutturale e tessiturale possiamo risalire a una prima qualifica del grado d'intensità metamorfica, mentre la decifrazione dei legami sussistenti fra la ricristallizzazione e le deformazioni interne in rapporto ai lineamenti strutturali esterni (conformazione tettonica) riesce a chiarirci alcuni effetti della posizione regionale.

Attraverso la discussione della *composizione chimica* seguiamo invece gli agglomerati degli elementi chimici nei loro svariati spostamenti che condizionano le neoformazioni e la ricristallizzazione in situ, il tutto attuandosi senza intaccare il carattere del chimismo complessivo della specie.

Discendiamo così nell'ambito delle successive reazioni per renderci conto almeno in parte come delle molteplici possibilità di neoformazioni derivanti dalla combinazione delle variabili si realizzi quella soltanto che soddisfa a tutti i fattori influenti sulla statica dell'equilibrio fisico-chimico. In questo modo siamo condotti ad identificare la qualità e la modalità di tutta la trasformazione, o in altre parole ad impostare il problema della *specie di metamorfismo*.

I dibattiti su questo argomento furono sempre assai vivaci, appunto perchè non conoscendosi a fondo le ferree leggi che regolano il divenire fisico-chimico era più che spontaneo deviare verso interpretazioni abbastanza unilaterali e in fine anche ingenue.

L'identificazione della specie di metamorfismo presuppone in realtà un estesissimo apparato documentario e soprattutto un'equilibrata valutazione di tutti i fattori nel loro accordo più armonico. E ciò non corrisponde che a distinguere le osservazioni fenomenologiche e analitiche secondo due criteri:

1) qualsiasi specie di metamorfismo è subordinata a processi geologici ben determinati (posizione regionale); 2) indipendentemente da questa causalità geologica la classificazione dei prodotti del metamorfismo, strettamente legata alle condizioni fisico-chimiche, può determinare da sè una distinzione della specie.

Posta in questi termini, la prima distinzione globale si riferisce al metamorfismo delle strutture di fondo (cristallino antico o primitivo) da un lato e al metamorfismo delle strutture di ricoprimento (falde orogeniche) dall'altro, essendo i rispettivi ambiti talmente differenti nella loro funzione rispetto al divenire dalla litosfera, da subire lo sviluppo della rigenerazione sotto condizioni completamente diverse.

Nel campo del metamorfismo di strutture di ricoprimento la separazione è altrettanto semplice:

1) l'autometamorfismo ossia la trasformazione totale o parziale di un complesso roccioso legato simultaneamente all'origine del medesimo; p. es. la trasformazione in seguito a raffreddamento (nelle rocce magmatiche, nella metasomatosi submarina, nelle rocce sedimentarie) ecc.;

2) l'allometamorfismo ossia la trasformazione totale o parziale di un complesso roccioso effettuata indipendentemente dalla formazione originaria del medesimo. Questa specie di rigenerazione si presenta secondo la natura della causale geologica sotto forma di tre modi tipici:

a) metamorfismo geotermico o di carico e scarico (spostamenti radiali dei blocchi continentali, collegati a variazioni termiche, a mutamenti dei livelli in seno alla litosfera, senza il concorso di movimenti differenziali;

b) di metamorfismo dislocativo (o dinamo-metamorfismo) ad opera di movimenti differenziali e interni alla massa rocciosa colpita, però senza apporto di soluzioni magmatiche;

c) di metamorfismo di contatto ossia sotto l'influsso di soluzioni magmatiche e della loro sfera d'azione, specialmente termica, senza che si verifichino movimenti differenziali in seno alla roccia.

E' poi evidente che l'azione simultanea di diversi fattori può generare diverse possibilità di combinazioni, costituendo così altrettanti casi particolari. L'importanza ora di raggiungere una chiara identificazione della specie di metamorfismo risiede nel conoscere la stretta connessione che lo ricollega all'intera evoluzione geologica, chè in sostanza la ricostruzione organica di tutto questo divenire è il fine precipuo della disciplina geologica.

Di qui l'imprescindibile compito di affrontare il problema del metamorfismo in tutta la sua portata se si vuole asserire qualcosa sulla natura geologica di un territorio cristallino o in genere di rocce metamorfosate. Essendo poi questo il caso proprio delle rocce ticinesi, ci è sembrato opportuno accennare sia pure molto rapidamente ai concetti fondamentali, anche in una breve relazione dedicata a chiarire il loro aspetto generico.

II. IL PROBLEMA DEL METAMORFISMO NELLE ROCCE LEPONTINE

Nel suo complesso esterno l'edificio montuoso lepontino è caratterizzato da una struttura di ricoprimenti orogenici addossati e rovesciati sul versante di un blocco relativamente fisso e affioranti sino negli elementi inferiori grazie a una culminazione longitudinale (sud-nord) di tutta l'ossatura sovrastante.

La giacitura delle unità rocciose sebbene risenta in modo apparentemente uniforme dello sviluppo di questo crinale trasversale all'arco, ha potuto suscitare in certi osservatori l'impressione che l'assenza di fenomeni ben pronunciati di sgretolamento o di semplice disturbo tettonico potesse distinguere da sè la massa cristallina ticinese da quelle di altre regioni alpine, avvicinandola più verosimilmente ad altri complessi extra-alpini, come per es. a quello dello Foresta nera, dei Vosgi, e via dicendo. Se ciò corrisponde a verità anche solo in senso limitato alla considerazione di termini analoghi a strutture di fondo, resta pur sempre indiscutibile il fatto che le alpi ticinesi offrono ad ogni passo tracce innegabili di forte rimaneggiamento tettonico, anche là dove meno lo si avrebbe atteso, e in generale ovunque non appena si scenda ad esaminarne i dettagli. Da questa divergenza iniziale sull'osservazione in natura sorge la prima opposizione che non tarda ad irrigidirsi in una interpretazione del metamorfismo affatto singolare. Così si cerca di giustificare il carattere di fondo attraverso l'ipotesi di un *metamorfismo di puro contatto* quale causa efficiente della ricristallizzazione delle zone micascistose, attribuendolo a un'intrusione granitica normale, d'età terziaria, mentre nello stesso periodo le falde di ricoprimento s'accavalcavano su di essa. Nel medesimo ordine d'idee si muove poi tanto la concezione di un *plutonite ticinese d'iniezione* come centro del processo di gneissificazione generale, quanto l'ipotesi di una cristallizzazione totale ex novo che parla esplicitamente di *cristallizzazione migmatite*, cioè d'una consolidazione del complesso di rocce passate dal dinamometamorfismo iniziale alla rifusione completa durante il periodo orogenico.

Come si vede l'atmosfera s'addensa e le contraddizioni in cui s'agita il problema generico del metamorfismo delle rocce lepontine manifestano la sopravvalutazione di aspetti diversi dello stesso oggetto. Pertanto l'obbligo inevitabile di creare una solida base di discussione, la quale assommando tutti i fenomeni locali resti spoglia di interpretazioni preliminari o di semplici confronti. Si tratta di un lavoro immenso non ancora compiuto se non per piccole zone ma che rimarrà sempre il punto di partenza per qualsiasi ricerca scientifica.

Per ragioni ovvie non è questa la sede acconcia a dare un resoconto anche minimo di quanto s'è fatto finora, nulladimeno cerchiamo con uno sguardo panoramico di abbracciare i risultati essenziali delle indagini eseguite su varie unità petrografiche regionali, onde poter dedurre nelle grandi linee i caratteri reali del metamorfismo in ciascun settore e nel collegamento evolutivo generale *).

III. IL METAMORFISMO NEI VARI SETTORI DELLE ALPI TICINESI

Considerando strettamente come Alpi Ticinesi la parte di catena situata a settentrione della linea geologica San Jorio-Tonale (limite alpidico-dinarico), che nel settore leponzino coincide con il limite orografico tra alpi e prealpi, possiamo individuare in questi due grandi complessi:

a nord: il massiccio del S. Gottardo con la zona sinclinale lungo il suo bordo meridionale; a sud: la regione dei ricoprimenti pennidici. Il primo appartiene al gruppo dei massicci centrali disseminati lungo l'arco alpino (Mercantour, Gran Paradiso, Monte Bianco, Tauri, ecc.); il secondo è un settore della struttura orogenica alpidica, sospinta e sovrapposta alla struttura di fondo precedente e incassante gradatamente verso meridione.

1. Il metamorfismo nel massiccio del S. Gottardo

Gli elementi rocciosi che costituiscono il *massiccio del Gottardo* sono tre: le rocce cristalline pretriassiche, i depositi triassici e la serie dei calcescisti. Le rocce cristalline pretriassiche, rappresentate dai graniti propriamente detti di Cristallina e di Medels, dagli ortogneiss intercalati ai primi (Cadlimo) e dalla serie della Val Tremola, rispecchiano tutte le prerogative del metamorfismo.

I graniti, sebbene conservino il loro carattere strutturale originario (biotitico-orneblendico, a grana media nella varietà del Pizzo Cristallina, e porfiroide a grana grossa nel cosiddetto « Protogino » di Medels) manifestano soltanto neoformazioni di minerali proprii delle zone superiori di ricristallizzazione, dove cioè la fase distruttiva è prevalente (« quarzo arenaceo » con estinzione ondulata). Non cessano quindi di restare dei gra-

*) Ci permettiamo ricordare che il lettore può ritrovare un primo saggio descrittivo e sintetico nella memoria unica dei vari autori, pubblicata dalla Commissione Geologica della S. S. S. N. (serie nuova, N. 71) edita nel 1936. A quest'opera seguirono soltanto più tre studi dettagliati: due sulla zona meridionale delle radici dei ricoprimenti (zone di Bellinzona e Locarno), l'altro sull'unità più profonda della culminazione ticinese (Gneiss granitico della Riviera e della Leventina), apparsi nel Boll. svizz. di Min. Petr., Vol. XVI e XIX (1936, 1939).

niti, anche assumendo un'impronta complementare di gneiss, assai pronunciata nella struttura e nella tessitura, per cui si giustifica la loro designazione di graniti-epigneiss.

Gli ortogneiss, in prevalenza gneiss listati, qua e là anche gneiss d'iniezione, sono invece il prodotto della rielaborazione di antichi graniti sodici arricchiti di abbondanti minerali d'epizona (sericite, epidoto).

La serie della Val Tremola comprende una zona di rocce originariamente sedimentarie di tipo argillo-marnoso, oggidì altamente metamorfe sotto forma di parascisi, gneiss micacei, micascisti, anfiboliti, scisti a covoni d'orneblenda ecc...., nei quali vi si riscontrano antiche iniezioni ed apporti pneumatolitici, generatori di altre specie rocciose (gneiss a due miche con pegmatiti, apliti e lamprofiri, gneiss ricchi di feldispato, miche, granato, scisti granatiferi, ecc.).

I depositi triassici abbracciano quarziti (Trias inferiore della Val Rondadura), dolomie, dolomie cariate qua e là cosparsa di breccie, e soprattutto la serie dei cosiddetti « Quartenschiefer », cioè la serie di rocce formate dal passaggio di facies dalle dolomie alle arenarie, alle argille e alle marne della primitiva sedimentazione e tuttora rappresentate da scisti alternanti e ripiegati con dolomie e calcescisti, contenenti come minerali essenziali granato, distene staurolite e orneblenda, attinoto, grammatite, cloritoide e miche. Sono questi minerali disseminati isolatamente o in piccoli nidi nella massa scistosa che rispecchiano in modo univoco con la loro struttura porfiroblastica l'origine immediata dal metamorfismo più recente, mentre l'insieme del loro aggregato nelle condizioni di giacitura e di tessitura dà a riconoscere alcuni elementi sulla loro età.

Il gruppo dei calcescisti è determinato da scisti filladici grigio-neri, con tenore variabile di calce, in parte arenacei o granatiferi, con staurolite e distene, contenenti letti di marmo e scisti nodulosi con belemniti, nonchè banchi di arenarie quarzitiche in cui non mancano resti di echinodermi. Tutto ciò non rappresenta che la trasformazione di resti mesozoici depositati in trasgressione sulle rocce cristalline pretriassiche e coinvolti ad esse durante un'orogenesi successiva. Quest'ultima però non è sufficiente per spiegare tutte le facies metamorfiche delle rocce cristalline pretriassiche. L'esistenza di un rimaneggiamento analogo ma anteriore deve infatti ammettersi per spiegare diverse circostanze. Anzitutto l'esistenza di Verrucano (formazione di conglomerato permiano) nella zona a NE dell'attuale massiccio e contenente materiale delle zone centrale e meridionale ora ora descritte ci dimostra un'erosione permiana. L'alternanza poi di orto e paragneiss in un sistema di zone susseguentisi secondo il motivo tipico di anticli-

nale e sinclinale e in parte in posizione discordante rispetto ai complessi analoghi delle rocce posttriasiche ci indica un ripiegamento anteriore a queste ultime. Oltre a ciò i fenomeni d'iniezione nella zona meridionale accusanti di per sè un'intrusione dei magmi granitici ercinici a una profondità non considerevole, e la presenza di questi stessi graniti nel Verrucano settentrionale induce ad ammettere un'accentuarsi della erosione in seguito ad orogenesi. Da ultimo la natura granitica degli gneiss listati contrapposti alla stessa lievemente alterata dei graniti di Cristallina e di Medels dimostra l'esistenza di un periodo orogenico fra le due intrusioni, capace di giustificare il rifacimento metamorfico dei primi, pur restando sicuramente distinto da quello posteriore d'epizona comune ad entrambi. Tutto quest'insieme evolutivo s'accorda adunque nel confermare l'esistenza di un'orogenesi pre-permiana (ossia la Ercinica) sviluppatasi in guisa tale da ripiegare gran parte delle rocce formatesi nei periodi antecedenti, rigenerandole parzialmente secondo modalità diverse, ma proprie di ciascuna regione e profondità.

Quale fu la specie di metamorfismo dominante in questi terreni? Notiamo anzitutto ch'essa non avrà potuto differire gran che dalle modalità ricostruite dalle ricerche odierne, in quanto lo sviluppo fenomenologico che accompagnò il parossismo ercinico non poteva scostarsi dalle circostanze analoghe di quello alpino (assai meglio conosciuto e studiato), avendo dato dei prodotti strutturali d'ogni ordine di grandezza perfettamente analoghi. Sta di fatto che i sedimenti depositati prima dell'orogenesi ercinica subirono un metamorfismo di contatto ad opera delle intrusioni magmatiche corrispondenti e indipendentemente dalle trasformazioni verificatesi nei precedenti periodi d'orogenesi. Fra questi non sono da escludersi i primitivi depositi dell'attuale Serie della Val Tremola compresi nell'aureola di contatto dell'intrusione granitica tuttora tipica al pizzo Cristallina e a Medels. D'altra parte negli gneiss listati non si può trascurare una metamorfosi cataclastica (milonitizzazione) che precedette immediatamente la ricristallizzazione totale e commista ad accenni strutturali di metamorfismo dislocativo d'età ercinica.

I sedimenti triasici e i loro successivi (gruppo dei calcescisti) si rivelano per contro rigenerati unicamente durante l'orogenesi alpina e secondo l'ordine dislocativo, ossia subendo il dinamometamorfismo proprio di questo parossismo, dato che dopo il periodo triassico non si registrò nell'ambito della catena attuale alcun disturbo magmatico tale da creare ampie aureole di contatto od altre fasi di metamorfismo. Le piccole masse ofiolitiche (cioè prodotti metamorfi di corpi eruttivi basici) sono penetrate tra le falde di ricoprimento e nei lobi periferici dei massicci soltanto all'inizio del corrugamento alpino

e soltanto localmente, venendo subito metamorfosate in situ, senza più influire come masse intrusive normali con capacità metamorfizzante; e nemmeno i piccoli sfoghi postalpini (Val Bregaglia, Adamello, ecc.) ebbero un'ampia aureola di contatto.

Sicchè la posizione a ventaglio dell'attuale massiccio del S. Gottardo (pendenza verso N a sud e verso S a nord) non è che il risultato della spinta delle fronti penniniche (falde orogeniche meridionali) a sud e della resistenza opposta a nord dal massiccio dell'Aare, il tutto avvenuto durante il ripiegamento alpino. E' insomma il sollevamento finale in cui è sboccata la compressione orogenica di questo complesso relativamente inerte.

In sostanza si tratta di una parte di una catena montuosa pretriassica (catena ercinica) ripiegata durante l'orogenesi ercinica pianeggiante ospitò i depositi mesozoici; il tutto venne poi sospinto, compresso e sollevato nelle ultime fasi dell'orogenesi alpina, sì da risultare nell'attuale posizione e struttura. Infatti le conseguenze di queste ultime dislocazioni si profilano con grande chiarezza nelle rocce poco fa accennate.

Così, nei graniti si registra la scissione delle molecole fondamentali dei feldspati alcalini dando luogo a strutture pertitiche di varie specie, inizia poi l'idrolisi che trasforma parte delle miche in sericite, e associandosi talvolta al tenore potassico uscente dalle medesime forma clorite; l'idrolisi continua generando dalle parti anortitiche dei plagioclasti nuovi minerali accessori della serie zoisite - epidoto, affatto estranei alla primaria consolidazione magmatica. E' questa la facies epi-zonale del metamorfismo che si attua nei graniti del San Gottardo e in parte anche in quelli dell'Aare, e dovuta unicamente all'orogenesi alpina.

Gli ortogneiss listati già trasformati durante l'orogenesi ercinica subiscono una nuova ricristallizzazione, questa volta d'età alpina, che imprime loro l'attuale scistosità molto spiccata e la tipica regolarità tessiturale in strisce e liste allungate, fittamente serrate in successioni continue; all'interno invece si effettua tutta la serie di scissione molecolare riscontrata nei graniti.

Nella serie rocciosa della Val Tremola il quadro strutturale generale si dimostra omogeneo ovunque, quasi come parallelo dell'invariabilità del chimismo altrettanto analogo a quello della zona più a sud; ambedue le circostanze riaffermano come l'attuale stato delle rocce sia il prodotto del metamorfismo alpino.

Le primitive arenarie triasiche si trasformano in banchi di quarziti assai tenaci, le dolomie altresì triasiche, perdono in parte il loro tenore di solfato che si raccoglie in cumuli locali

formando tasche di anidrite e di gesso; altrove la dissociazione chimica sottrae loro il carbonato di magnesio e rigenerando i residui insolubili dà nuove dolomie saccaroidi a grana variabile, mentre il dilavamento interno produce le dolomie cariate. E così via innumerevoli reazioni sincronizzate con le possibilità di cristallizzazione generano nuovi aggregati rocciosi, anche con nuovi minerali determinati dalle variate condizioni di coesistenza delle componenti iniziali. Ciò avviene per i « Quartenschiefer » e per i calcescisti, due gruppi pienamente concordi nel manifestare l'impronta dell'unico rifacimento alpino, di fronte ai complessi polimetamorfi ad essi attigui. Sono membri della sedimentazione posttriasica, già in trasgressione sui graniti del massiccio del S. Gottardo dopo l'orogenesi ercinica (protogino di Medels nella zona del Lucomagno). La presenza di neominerali come il distene, la staurolite, il granato, immersi come porfiroblasti in un ambiente filladico prettamente sedimentario, attesta a sufficienza la rigenerazione sotto l'azione dislocativa delle diverse fasi orogeniche alpine.

* * *

La *zona sinclinale* lungo il bordo meridionale del massiccio del S. Gottardo (Airolo-Piora-Olivone) segna la zona intermedia o limitare fra quest'ultimo e la fronte delle coltri penniniche. Essa comprende tutte le rocce di sedimentazione recente (posttriasica) rigenerate unicamente durante il dinamismo metamorfismo alpino. Tutte le specie rocciose presentano infatti i tratti di perfetta ricristallizzazione avvenuta nel corso di movimenti tettonici che vi provocarono profondi e intensi pieghettamenti.

In questa trasformazione generale di ciascun aggregato si ebbe un perfetto accordo tra la fase deformativa e quella costruttiva (o blastica): ne fanno prova i porfiroblasti (ossia i neominerali cristallizzati isolatamente a spese del tessuto fondamentale) ritorti come una « s » (splendidi esempi nei granati della Val Piora) e le strutture regolate secondo i lineamenti tettonici dominanti in ogni regione (si pensi agli scisti biotitici trasversali, ecc.). In una parola, questa serie di rocce contiene gli esemplari più significativi di una intensa metamorfosi quali non esistono in nessuna altra parte di tutte le Alpi svizzere.

Se si esamina il chimismo di tutta la serie e la dipendenza da questa della nuova composizione mineralogica non si può a meno di identificare i caratteri di una chiara « Provincia metamorfa » per eccellenza, abbracciante diversi gruppi. Infatti nelle rocce d'alumosilicati con forte eccesso d'allumina, provenienti perciò da sedimenti argillosi, con lievi risonanze

marmo-dolomitiche, si distinguono nella nuova composizione mineralogica tutte le sfumature dell'edotto primario.

Così, dal tipo argilloso medio, contenente sericite, muscovite, quarzo, biotite o clorite come elementi preponderanti si passa gradatamente al tipo argillo-marnoso, lievemente dolomitico, contrassegnato dalla presenza di granato e di orneblenda, per giungere ad altri tipi che immettono direttamente ai calcescisti comuni, segnando così la transizione verso il gruppo delle rocce d'alumosilicati di calcio, (micascisti con carbonato, gneiss, albito-sericitici con epidoto-zoisite, micascisti a covoni d'orneblenda ecc.).

Seguono inoltre le rocce d'alumosilicati alcalini, quali gli gneiss a doppia mica, gli gneiss a semplice muscovite o biotite; le rocce di calcio-alumo-silicati passanti dagli gneiss orneblendici alle anfiboliti vere e proprie, accompagnate anche da granato, epidoto e zoisite. Infine appartengono alle stesse condizioni fisico-chimiche le rocce di silicati femici a base di attinoto, biotite-clorite, nefrite, antofillite, serpentino e talco.

Tutti i membri di questa provincia metamorfa rispecchiano univocamente tre momenti essenziali del comune metamorfismo alpino:

1) un insieme di circostanze favorevoli alla ricristallizzazione totale, più spiccata verso meridione che non nella parte adiacente al massiccio del S. Gottardo,

2) in generale un ambiente di trasformazione mesozonale, cioè intermedio a quello di elevate profondità (e perciò stesso sottoposte a condizioni di cristallizzazione analoghe a quelle della segregazione magmatica allo stato liquido-viscoso) e allo stadio delle paragenesi idrotermali proprie dell'epidermide rocciosa, perciò epizonale. Esso è caratterizzato dalla concomitanza di biotite e muscovite, d'epidoto e di albite solo in scarsa quantità, di quarzo e calcite nonchè dalla presenza di granato almandino (Fe^{+++}) di staurolite e di distene, d'orneblenda comune e di grammatite. Nella periferia verso l'epizona si riscontra la formazione di piccole squame di sericite, di clorite e cloritoide.

3) una stretta e tipica dipendenza di determinati minerali dal chimismo complessivo della roccia, tale da permettere l'induzione di eventuali tipi rocciosi qualora fosse esistito un chimismo iniziale diverso. L'attribuire al metamorfismo la composizione mineralogica attuale potrebbe risultare soltanto una possibilità e non una necessità, nel caso di rocce polimetamorfiche, in cui l'attuale associazione fosse stata determinata in precedenza. Tuttavia la forte deformazione che tutte le specie esaminate presentano simultaneamente alla struttura perfettamente cristalloblastica, ci costringe ad ammettere una ri-

cristallizzazione totale avvenuta di certo durante il metamorfismo alpino, lasciando sussistere il polimetamorfismo od altra modalità di rigenerazione a singoli casi, comunque in periodi antecedenti.

2. Il metamorfismo nelle falde orogeniche

Nella zona dei ricoprimenti pennidici occupanti l'area maggiore di tutte le Alpi, conviene distinguere le rocce metamorfe ivi presenti nei due campi fondamentali para ed orto, cioè secondo il carattere originario dell'edotto sedimentario od eruttivo; ciascuno d'essi verrà poi considerato secondo la distribuzione geografica. Un gruppo a sè figura costituito dai derivati metamorfici a carattere basico, per i quali la determinazione dell'edotto non risulta senz'altro univoca, e anche la parte meridionale, allineata e continua formante le cosiddette radici, avverte particolari condizioni dello sviluppo metamorfico.

a) *Le rocce sedimentogene (Paragneiss e parascisti)*

abbracciano le serie metamorfiche del Lucomagno, del settore ad occidente della Valle Leventina e di quello ad oriente della Val Blenio.

La serie dei parascisti e paragneiss della *coltre del Lucomagno* è contrassegnata da un intenso pieghettamento conforme ai terreni sedimentari metamorfosati di recente, il quale sta a dimostrare la forte sollecitazione meccanica subita durante l'orogenesi alpina. Si tratta di rocce rigenerate secondo ricristallizzazione totale e particellare dell'aggregato primario, simultaneamente alla deformazione imposta loro dall'assetto tettonico della fase corrispondente d'orogenesi. Costituiscono un esempio assai significativo di ciò che attualmente si designa come « deformazione paracristallina » di una roccia metamorfa.

La presenza della tormalina in cumuli raggiati abbastanza grossolani è da ricondursi ad apporti pneumatolitici pre-triasici, in quanto vi si riconosce chiaramente la ricristallizzazione totale, spesso anche delle parti ritorte o infrante in precedenza, o persino di neoformazione locale assieme a distene e staurolite nei noduli di silice, secreti in occasione del rifacimento generale della composizione mineralogica, variata sotto l'influsso di tali apporti. Per contro dovendosi ammettere in generale che l'attuale composito di minerali è recente, anche se prima della metamorfosi avesse potuto sussistere nella stessa forma di scisti cristallini, non si può disconoscere l'esistenza di struttura di relitto a diverso grado, le quali aggravano assai l'identificazione di tutte le fasi genetiche della roccia.

Siamo dinanzi a fenomeni di sicuro polimetamorfismo, sopraffatti secondo le odierne osservazioni da una forte e decisa neoformazione recente qual'è stato l'ultimo metamorfismo alpino. Predominano i micascisti con granato distene e staurolite, e gli scisti muscovitici con magnetite, mentre gli gneiss biotitici bruni si associano a quelli plagioclasici con orneblenda derivanti sicuramente da depositi marnosi ed alternano con quarziti sericee e gneiss nodulosi, completando così tutta la ricca serie dei vecchi sedimenti.

Il complesso delle rocce sedimentogene affioranti nel *settore ad occidente della Valle Leventina* annovera i medesimi tipi già incontrati nella coltre del Lucomagno, intercalati però da altri cosiddetti a carattere misto, giacchè rispecchiano in più una debole influenza d'iniezione o di pneumatolisi.

Sebbene ricoprano un'area abbastanza vasta di oltre 350 kmq. non furono ancora oggetto di studi particolari tali da permettere chiare visuali sulla loro natura. Nondimeno la nota prevalente del metamorfismo di questo settore sta nel tono spiccatamente sodico di tutte le rocce in generale, tono assai più pronunciato che non l'apporto sodico riscontrato nella serie della Val Tremola.

Simile carattere, per quanto non ancora ben definito per il motivo testè accennato, si manifesta anzitutto nelle lenti di scisti paragonitici, individuati sui fianchi meridionali del Pizzo Forno. In queste lenti l'elevato tenore in sodio sembra infatti esser contenuto, a quanto consta tuttora, nelle fogliette bianche di mica intrecciate ai granuli di quarzo e di un eventuale plagioclasio albitico.

A parte questo fenomeno che manca ancora della sua giusta valutazione o semplicemente interpretazione nei riguardi della petrogenesi generale, si riconosce che la fase cataclastica propria delle grandi deformazioni quivi esplicatesi, indietreggia ovunque a favore di una ricristallizzazione totale, il cui prodotto s'adeguа perfettamente alle condizioni del periodo orogenico corrispondente.

Oltre agli scisti si ritrova in questo settore una zona limitata divenuta ormai celebre per l'abbondanza di minerali ben cristallizzati ch'essa ospita: è la zona delle dolomie triasiche fra il Campolungo e il Cadonighino.

Il loro aspetto saccaroide apparentemente uniforme ma ravvivato dai numerosi cristalli ha sempre porto l'occasione a diverse ipotesi sulla genesi locale e generale. Si parlò di una diretta influenza magmatica-pneumatolitica, ma ciò non può sostenersi non appena si osservi il semplice aggregato di minerali. Infatti è risaputo che il corindone può subentrare al posto del distene già a temperatura relativamente bassa, allorchè manchi la silice SiO_2 ; anche la tormalina risulta cristal-

lizzata ex novo già nei calcescisti mesozoici del massiccio del S. Gottardo, i quali peraltro non subirono alcuna azione di metamorfismo di contatto, e d'altronde pure l'elevato contenuto di boro viene riscontrato dalle più recenti indagini anche nei sedimenti marini. I singoli giacimenti di berillo sono insignificanti e la scapolite è essenzialmente una scapolite a base di carbonato che non richiede pertanto per la sua genesi nessun apporto di materiale estraneo. Orbene una cosa è certa circa la genesi di questa singolare corona ed è che i minerali ben cristallizzati cosparsi nelle dolomie del Campolungo si sono generati *durante* il ripiegamento alpino, in parte come porfiroblasti della roccia che li ospita, in parte come incrostazione delle fessure ivi apertesi per effetti di distensione tettonica.

Un metamorfismo di contatto più antico non è ammissibile per veruna ragione anche se con ciò non resti esclusa la possibilità che nel corso dell'orogenesi alpina si sia sviluppato particolarmente in questo ambito un influsso telemagmatico, p. es. attraverso l'ascensione di soluzioni termali; questa ipotesi richiede però il suffragio di uno studio dettagliato di tutto il territorio e per ora non risulta accettabile per nessun riguardo. Che anzi se si tien conto dei caratteri dell'irradiazione telemagmatica nelle unità rocciose sottostanti, quali si rivelano nello zoccolo gneiss granitico leventinese, ci si trova ancora lungi dall'ammettere la plausibilità di tale asserto.

Nel *settore a levante del Brenno* le rocce sedimentogene sono diffuse specialmente nella parte settentrionale con facies analoga a quelle del Lucomagno. Ricorderemo quali elementi locali gli gneiss oligoclasici del ricoprimento Adula, mancante nei settori più ad occidente. In generale si nota però come la composizione mineralogica dei ricoprimenti superiori (prevalenti in questo settore) si sposti più verso le condizioni di stabilità epizonale, variando sensibilmente dal basso verso l'alto il rapporto quantitativo di biotite-muscovite e clorite-muscovite. Vediamo così come il grado dell'intensità metamorfica sia anche subordinato allo sviluppo spaziale e alle condizioni di carico locale.

Confrontando ora i caratteri delle varie rocce sedimentogene facenti parte delle coltri penniniche, constatiamo come l'aggregato di minerali dominante nelle unità tettoniche più profonde (Lucomagno) sia il medesimo di quello delle rocce più intensamente metamorfosate della sinclinale mesozoica sul bordo del massiccio del S. Gottardo, mentre nelle unità superiori (Adula) si ritrova non di rado una trasformazione in parte epizonale, analoga al metamorfismo del margine settentrionale del massiccio del S. Gottardo.

La composizione mineralogica dei sedimenti più antichi (permo-carboniferi) più volte rigenerati si è adattata in pieno alle esigenze del metamorfismo alpino, distinguendosi da quella dei più recenti in una maggiore uniformità e nell'assenza di relitti di struttura tipicamente sedimentogena. L'estrema difficoltà che s'incontra nel separare le influenze dei metamorfismi più antichi dagli effetti della recente metamorfosi alpina, di gran lunga più profonda ci impedisce di delineare con precisione la storia complicata di tutte le trasformazioni realmente occorse.

b) Le rocce d'origine eruttiva (Ortoscisti e ortogneiss)

Passando in breve rassegna le rocce metamorfe derivate da primitivi corpi intrusivi rileviamo sin da principio due complessi ben distinti, ampiamente diffusi, specie nella regione centro-meridionale delle Alpi ticinesi:

- l'uno costituito dagli ortogneiss granitici della Leventina, Riviera, della Verzasca e da altri ortogneiss aplitici sparsi irregolarmente nelle coltri superiori, tutti appartenenti alle rocce d'alumosilicati alcalini,
- l'altro costituito dalle quarzo-dioriti più o meno metamorfosate della zona di Cocco-Alpigia-Ruscada, appartenenti alle rocce d'alumosilicati calcio-alcalini.

Nello gneiss granitico *Leventina* si avverte continuamente un tenore spiccato di sostanze alcaline che messo in relazione alla composizione mineralogica esistente, impone senz'altro il predominio dei feldispati alcalini e conferma la paragenesi di trasformazione meso-zonale.

In un recente studio dettagliato su questa parte basilare della culminazione ticinese si pervenne a riconoscere come attraverso le diverse intensità metamorfiche sviluppatesi sulla stessa massa originaria, si manifesti anche la primitiva struttura del corpo intrusivo, la quale mentre si modifica localmente, detta pur sempre le condizioni alle ulteriori facies metamorfiche, qualunque esse siano. Risulta dimostrato che nello gneiss granitico *Leventina* sussiste in modo spiccatissimo la quadratura di una massa granitica prettamente intrusiva e che il suo rifacimento, improntato al più chiaro dinamometamorfismo, è sempre nettamente distinto dagli accenni di rifusione parziale, avvenuti singolarmente e in quantità trascurabili, a carattere puramente accessorio, ma sempre al di fuori dell'orogenesi alpina. Si è infatti riscontrata qua e là nelle zone periferiche la possibilità di margini polimetamorfici, comunque restano sempre subordinati all'impronta unitaria alpina, che essi subiscono in tutta a sua portata. Questa fondamentale messa a punto era indispensabile alla chiarificazione della natura del metamorfismo non solo dello gneiss grani-

tico Leventina ma anche dell'intera culminazione ticinese, di cui la massa leventinese forma lo zoccolo più profondo, accessibile all'indagine scientifica.

Posizione analoga ma sinora meno dibattuta assume la massa d'ortogneiss *Verzasca*, la quale forma una potente coltre di ricoprimento rovesciata e stirata sul dorso del blocco Leventina - Riviera. In questa s'aggiunge però in modo inequivocabile il problema dell'iniezione e con esso dei rapporti fra metamorfismo dislocativo e metamorfismo d'iniezione, problema che solo dopo un diligentissimo e minuzioso studio potrà avviarsi verso una soluzione definitiva. La natura rocciosa è in gran parte simile a quella dello Gneiss granitico leventinese, e specialmente l'affinità chimica generale offerse da lungo tempo l'occasione a varie congetture sui legami genetici in generale.

Anche per quanto concerne il complesso delle quarzodioriti di *Cocco* (Valle Maggia) e delle sue rocce affini ci troviamo dinanzi a una serie di intricati problemi che attendono l'elaborazione di studi profondi e scrupolosi. La storia della intrusione è documentata da contatti di zolle e di filoni, resta però da stabilire se l'epoca di tale intrusione precede o segue il Trias. Se ciò riesce, saranno virtualmente fissati i tratti più importanti del metamorfismo nella grande sinclinale della Maggia, causa sicura di tanti altri enigmi nelle coltri superiori. L'esame dei singoli caratteri di struttura e di chimismo resta senza dubbio la chiave che scioglierà l'intimo legame, l'armonia mirabile che esiste nella coordinazione dei fenomeni tettonici e petrografici.

c) Le rocce metamorfe di tipo basico

formano un gruppo poco diffuso ma assai eterogeneo secondo l'età e la genesi. Sono le peridotiti, i talco-cloritoscisti e le anfiboliti sparse un po' dappertutto fra gli elementi delle coltri pennidiche, spesso affiancate le une alle altre, talora anche isolate in mezzo a complessi sedimentogeni (S. Gottardo, Loderio, Cima Giù - Olivone). Il loro chimismo generale le accosta alle rocce di silicati femici (olivine e derivati), di silicati ferro-magnesiaci (pirosseni) con alcali e infine alle rocce di calcio-alumosilicati, informandoci sui minerali tipomorfi di ciascuna regione con particolare chimismo iniziale.

Le *condizioni di giacitura* del loro complesso rivelano inoltre un'influenza sensibile della specie di metamorfismo subito. Così nel nucleo centrale delle lenti peridotitiche l'olivina e l'augite restano spesso conservate allo stato iniziale di idiomorfia, mentre lungo le superfici marginali di movimento si riscontrano quasi sempre nuovi prodotti: antofillite, grammatite, attinoto, serpentina, talco, clorite, mica (biotite). Senza

dubbio l'intensa dislocazione, specie sotto pressione orientata, per cui si direbbe meglio schiacciamento laminare, ha favorito la neoformazione dei sopradetti minerali sfogliosi o aciculari, e si può anche supporre che l'intensità del movimento radente, provocando una maggiore diffusione delle particelle in via di scissione e di simultanea ricristallizzazione, abbia causato una differenziazione locale del corpo intrusivo primitivo, quindi una differenziazione da interpretarsi come conseguenza del dinamometamorfismo.

Di frequente si trovano associate delle anfiboliti o altre pietre verdi da esse derivate, facenti parte dello stesso corpo magmatico in via di differenziazione primaria, mentre altre volte (p. es. Cima Giù, la Colma-Olivone, ecc.) la presenza di margini ricchi di carbonati suscita l'importante problema dell'età di queste intrusioni basiche, lasciando postulare ora una sicura attività magmatica posttriasica (fase alpina ofiolitica) ora una certa connessione immediata a complessi sedimentari intensamente rimaneggiati e probabilmente pretriasici.

Anche in questo settore il lavoro costante di ricerca e d'indagine ha da assolvere molti compiti di dettaglio; a noi basti constatare qui come il metamorfismo non risparmi questi elementi sì diversi per origine ed età, ma tutti li modifichi secondo le modalità comuni.

d) Il metamorfismo nella zona delle radici

delle falde orogeniche completa i fenomeni sinora schizzati con aspetti particolari ma perfettamente coordinati allo sviluppo delle singole fasi e posizioni locali. Scendiamo infatti sulla catena montuosa che congiunge Domodossola - Locarno-Bellinzona - Chiavenna, immediatamente a settentrione della linea del San Jorio o del Tonale, cioè del limite che separa il sistema strutturale settentrionale (o alpidico) da quello meridionale (o dinarico *).

In questo lembo meridionale delle Alpi Lepontine, rinserantesi in una piccola area, dominano profondi rifacimenti, ai quali fanno seguito le ultime pulsazioni magmatiche dopo il massimo parossismo.

Si tratta anzitutto di un *metamorfismo d'altissimo grado*, esplicatosi con sorprendente molteplicità di forme grazie all'incremento evolutivo di nuove intrusioni basiche e acide, accompagnate da abbondanti iniezioni, e di ampie dislocazioni nelle ultime fasi d'assestamento tettonico.

Infatti, mentre l'elevata temperatura sviluppata nel poderoso addossamento delle masse sospinte dalle forze orogeniche determinava un ambiente catazonale prossimo a quello

*) Cfr. sopra, p. 59.

di segregazione magmatica, le *intrusioni basiche* trasformavano i primitivi sedimenti calcarei in calcefiri e in altre rocce di calcio-silicati, subendo esse stesse una lieve autometamorfosi, quale reazione normale.

Le *iniezioni acide* dal canto loro conducevano, specie nelle zone di contatto alla ricristallizzazione degli aggregati minerali già iniettati in precedenza.

In alcuni punti le ultime pulsazioni di simili iniezioni assumono anche carattere pneumatolitico-idrotermale e parecchie rocce, fra cui quelle della stessa iniezione, subiscono una ulteriore metamorfosi di stampo epizonale.

Ora, mentre le intrusioni basiche ebbero luogo all'inizio dell'orogenesi causando il consolidamento del magma già sotto forma di anfiboliti, le iniezioni acide granito-pegmatitiche penetrarono in maggior parte verso la fine dell'orogenesi e risultarono perciò tardo-alpine o anche postalpine, di guisa che in parecchi punti le prime non mancarono di venir nuovamente metamorfosate da quest'ultime, generandosi così un complesso polimetamorfo.

A questo si aggiungono ancora le rocce che parteciparono già all'orogenesi ercinica o ad altre metamorfosi ancor più antiche e figurano pertanto talmente pressate e laminate da non potersi distinguere dalle rocce recenti d'iniezione.

Assistiamo dunque in questa area a una straordinaria molteplicità di fenomeni metamorfici, sicuramente del più alto interesse, ma altrettanto complessa. Se infatti ci domandiamo fino a qual punto fosse giunto il metamorfismo dislocativo prima della fase d'iniezione, eventualmente già accentuato dalla vicinanza dell'ascensione magmatica in profondità, dobbiamo accontentarci di esaminare caso per caso senza poter ancora tessere la trama generale dell'avanzamento. I vari stadi del metamorfismo produssero in tutta la zona disparità locali, condizionate però non alla distinzione del chimismo degli edotti primari, ovunque sempre ricristallizzati con pari intensità, quanto più da trasformazioni incompiute dei vari minerali, i quali non potevano subito raggiungere lo stato di equilibrio ad essi necessario per la propria formazione, a causa del rapido variare di condizioni fisico-chimiche, in conformità al fluttuante stabilirsi di qualsiasi iniezione nel nuovo medio.

L'ampiezza di questa iniezione granito-pegmatitica non si limita d'altronde alla fascia marginale delle radici dei ricoprimenti, ma si estende in tutto il sostrato e in varie unità tettoniche, sia a nord che a sud della linea del Tonale.

Arrestandoci ora alla banda settentrionale che è l'ambito di questa breve indagine, vediamo le sue emissioni a spingersi non solo a quote inaspettate (oltre 1800 m. nella Val Drosina)

ma altresì irradiarsi in lunghezza oltre 30 km. dal suo centro. Questa dispersione laterale è accertata nella massa gneiss granitica leventinese nella serie filoniana postmetamorfa, dove lascia inoltre percepire chiaramente la propria distinzione rispetto alla fase principale di metamorfismo dell'intero corpo montuoso, e succedendo a questa soltanto dopo il rifacimento completo del granito primitivo. Tuttavia non è ancor assodato se tale risultato sia conforme allo svolgimento plurimetamorfo di tutta la zona delle radici.

L'irradiazione idrotermale, quale ultimo sfogo dell'iniezione postalpina, interferisce spesso con le impregnazioni locali di carattere parametamorfo ed allora ben difficilmente si riesce a identificare la pertinenza dei *minerali a fessura* quivi depositatisi all'una o all'altra fase.

Simile difficoltà conferma d'altra parte la continuità del fenomeno di metamorfismo nelle Alpi Ticinesi, continuità non tanto nel senso temporale fra i periodi del grande parossismo, bensì nella transizione graduale di fase in fase. Quest'estinzione lenta della rigenerazione alpina si dispiega con uno strascico temporale assai marcato nelle zone di maggior sforzo dislocativo, corrispondente tuttora al territorio di culminazione tettonica, dove una spiccata abbondanza di minerali a fessura esumano con la loro incrostazione gli ultimi residui delle soluzioni circolanti, proprie di qualsiasi metamorfismo.

IV. IL METAMORFISMO FATTORE EVOLUTIVO

Da questa rapidissima rassegna sui caratteri del metamorfismo nei vari settori delle Alpi Ticinesi possiamo risalire a valutarne l'importanza fondamentale nel quadro dell'evoluzione geologica.

Oggetto primo delle nostre considerazioni è però la qualifica della specie di metamorfismo in base ai dati analitici, giacchè come vedemmo in principio, la sua connessione con i processi geologici di vaste proporzioni forma un criterio essenziale per la sua piena interpretazione e spiegazione.

L'esame delle rocce poco fa descritte permette infatti di rilevare le *caratteristiche generali seguenti*: la ricristallizzazione totale o parziale di qualsiasi aggregato roccioso preesistente, la simultaneità di deformazioni strutturali e tessiturali di varie dimensioni con questa ricristallizzazione e l'assenza di trasformazioni radicali delle rocce attraverso contatti immediati con magmi ascendenti durante la fase orogenica principale. In una parola, le rocce delle Alpi Ticinesi si presentano attualmente come il prodotto di profonde modificazioni di tessitura, di struttura o di composizione mineralogica variamente combinate fra loro, dovute al ciclo orogenico più re-

cente (alpino), però restando sempre estranee ad influenze rigenerative d'ordine magmatico.

Nelle unità superiori la scistosità di cristallizzazione risulta molto pronunciata, e si accentua in modo straordinario in vicinanza ai limiti di contatto tettonico, lungo i quali si è verificato uno spostamento tangenziale di masse cospicue; segno evidente di un sincronismo fra ricristallizzazione e dislocamento. Questa prerogativa non è un fenomeno locale ma si afferma costantemente lungo tutti i margini delle unità rocciose, rientra perciò nell'ordine evolutivo generale; anzi, spesso si riscontra il sopravvento della laminazione tangenziale sulla ricristallizzazione in modo da ottenere rocce intensamente sollecitate (tettoniti laminari). Nelle unità inferiori sussistono i medesimi rapporti fra le masse centrali e periferiche di uno stesso complesso, e talora si verificano in seno alla medesima unità, documentando la partecipazione generale di tutti i settori alla rigenerazione, a quelle determinate condizioni di dislocazione.

Sebbene l'intensità dei movimenti non fosse egualmente ripartita, si constata una rigenerazione totale in quasi tutti i punti di un'unità rocciosa, e ciò deve ascriversi a speciali condizioni locali di distensione tettonica. Dunque alla radice del processo di metamorfismo di queste rocce sta il fattore meccanico quale iniziatore del fenomeno, e lo sviluppo chimico particellare è l'inevitabile conseguenza che integra la sollecitazione primitiva. Se poi teniamo conto in questa evoluzione del fattore tempo sia in misura relativa che assoluta perveniamo alla conclusione ch'essa coincide con un determinato processo orogenico, di lunga durata attuatosi in diverse fasi ora di riposo ora di parossismo, incidendo così il suo succedersi alla materia che usufruì.

Il fattore meccanico è dato dalle componenti di pressione idrostatica quale simbolo di carico uniformemente distribuito e della pressione orientata o spinta tangenziale (Stress) quale simbolo delle forze tangenziali e la sua azione immediata si rispecchia nelle varie forme di struttura e tessitura. A questo fattore esterno precede lo stato d'aggregazione, di giacitura quale predisposizione naturale della roccia a subire l'azione esterna. Un altro fattore fisico-chimico di notevole portata è la temperatura, e in particolare la temperatura d'attrito quale espressione delle contrastanti energie, incrementata dalla temperatura di profondità secondo il gradiente geotermico dello spazio in cui s'effettuò la ricristallizzazione.

Comunque il suo effetto è mediocre se non viene sostenuto dalle circostanze favorevoli che solo la combinazione delle forze dinamiche con le energie intrinseche può fornire. La sua influenza è in questo caso assai significativa nella variabilità di composizione mineralogica, allo stesso modo in cui la pres-

sione idrostatica influisce sulle resistenze dei singoli minerali componenti.

Tutto quest'insieme di forze fisiche sviluppano evidentemente l'energia chimica di ciascun componente in guisa da variare le condizioni d'aggregamento di determinati gruppi molecolari, i quali scindendosi secondo i legami di coordinazione si ricompongono in nuove associazioni, formanti appunto i neominerali. La loro disposizione nel tessuto fondamentale, ricristallizzato così in parte o totalmente, diventa indi una conseguenza del predominio di una o più componenti fisiche nello stretto ambito locale di trasformazione; perciò incontreremo diversi tipi di struttura e tessitura a seconda delle tensioni che si esercitano su un determinato composito (edotto primario) già dotato di particolari caratteristiche strutturali in precedenza.

Insomma si tratta di molteplicità di dettagli e di fenomeni secondari che scaturiscono da un complesso unitario di condizioni fisico-chimiche che può riassumersi in questi tratti: ricristallizzazione particellare (grano a grano) in seguito a tensioni dislocative sviluppate da orogenesi, associata a nuova distribuzione ed eventualmente neoformazione delle componenti nell'ordine spaziale.

Ciò non è che l'espressione più genuina, che il concetto più integro di quanto si intende per metamorfismo dinamico o dislocativo.

Le varie fasi e le varie zone d'intensità non corrispondono che alla distribuzione locale e temporale delle suddette tensioni, per cui in casi di intensificazione locale non si esclude una maggior plasticità, una maggior deformabilità dell'aggregato, provocatrice a sua volta anche di autosecrezioni, che restano regolarmente inserite nell'assetto strutturale, rimanendo escluso qualsiasi apporto esterno.

Ora le rocce delle Alpi Ticinesi non stanno che a dimostrare passo passo in ogni angolo questi rapporti, queste modalità attraverso la loro composizione mineralogica, attraverso la loro struttura e la loro tessitura. Ovunque la uniformità di questa specie di metamorfismo si rispecchia nelle più svariate qualità rocciose, nelle transizioni costanti e gradualali secondo le plausibilità degli equilibri iniziali e successivi e senza modifiche sostanziali del chimismo. Ovunque portano impresse le tracce dei grandi accavalcamenti di unità tettoniche, le insegne delle fronti avanzanti dietro le spinte orogeniche, testimoniando l'organico sviluppo dei periodi di evoluzione e di rivoluzione.

Riconoscendo così il dinamometamorfismo come modalità di rigenerazione in tutte le unità tettoniche lepontine svaniscono da sè le supposizioni di una ricristallizzazione di sem-

plice effetto termico (metam. di contatto) o di iniezione simultanea. Ambedue i fenomeni si riscontrano sì nell'ambito delle Alpi Ticinesi, ma nettamente subordinati alla ricristallizzazione dinamometamorfa. Nel caso delle rocce più antiche si delinea un rifacimento dislocativo sovrapposto a trasformazioni locali di siffatte specie, mentre nelle rocce più recenti la rigenerazione per contatto o per iniezione succede univocamente alla fase dinamometamorfa. Questa limitazione si restringe poi al solo periodo premetamorfo dell'orogenesi alpina quando si passa a considerare la possibile migmatizzazione di alcuni lembi dei vari settori. Di fatto la rifusione di zolle rocciose può ritenersi possibile in certi punti caratteristici dell'intrusione dei primitivi lacoliti granitici in un medio sedimentario sicuramente almeno pretriassico, onde le eventuali migmatiti ivi formatesi avrebbero subito allo stato solido la normale rigenerazione dinamometamorfa del ciclo orogenico alpino. Ma anche ciò presenta serie difficoltà ad esser dimostrato.

Vediamo insomma come l'essenza del processo metamorfico nelle Alpi Ticinesi sia radicalmente legato al movente tettonico - orogenetico, e soltanto in fasi anteriori o posteriori allo sviluppo di questo sia possibile ammettere in determinati punti altre modalità basate sull'apporto immediato di emissioni magmatiche, o sullo stesso avanzamento di un fronte di rifusione. Ciò riafferma l'evoluzione minero-tettonica del settore lepontino secondo le linee fondamentali intuite e assodate da molti studiosi, e superando gli interrogativi di sempre nuove obiezioni l'avvalora e la perfeziona in una determinazione sempre più chiara e completa.

Le rocce frattanto, racchiudendo in sè il divenire quasi fantasmagorico che la mente umana tenta di ricostruire, continuano il loro incessante adattamento alle variazioni d'ambiente, oggi dominate dalle forze esogeniche. Tutto subiscono e conservano nella fredda impassibilità del loro aggregato, giacchè tale è un modo nel quale son chiamate a proiettare le meraviglie del Creato.
