

SERGIO CHIESA *, LUCIANO CORTESOGNO **, FRANCO FORCELLA ***

CARATTERI E DISTRIBUZIONE DEL METAMORFISMO ALPINO
NEL GRUPPO DI VOLTRI E NELLE ZONE LIMITROFE
DELLA LIGURIA OCCIDENTALE CON PARTICOLARE
RIFERIMENTO AL METAMORFISMO DI ALTA PRESSIONE ****

Introduzione

Il Gruppo di Voltri rappresenta un'area di forma quadrilatera della Liguria occidentale i cui vertici sono stati ubicati (ISSEL, 1892) a Voltri, Voltaggio, Valosio e Montenotte. Tale area, che dal punto di vista geologico materializza l'estremo tratto sud-orientale delle Alpi occidentali, rappresenta uno dei più estesi affioramenti del « Complesso dei Calcescisti con Pietre Verdi » dell'intero arco alpino.

In questa relazione vengono espone in modo sintetico le conoscenze finora acquisite su tale porzione dell'arco alpino rimandando ai contributi che verranno via via citati per un'esposizione più dettagliata dei singoli argomenti e delle problematiche connesse.

La relazione si compone di tre parti: nella prima (Chiesa e Forcella) vengono esaminate le varie sequenze litologiche, la loro pertinenza paleogeografica e le loro attuali relazioni geometriche; nella seconda (Cortesogno) le paragenesi mineralogiche sviluppatasi nel corso del metamorfismo polifasico alpino con particolare riguardo a quelle indicative dell'alta pressione e bassa temperatura; nella terza infine (Chiesa, Cortesogno, Forcella), sulla base dei dati geologici e petrologici precedentemente esposti, verrà proposta un'interpretazione geodinamica dell'area esaminata.

I PARTE

Sequenze litologiche e loro pertinenza paleogeografica

Nell'ambito dell'area in esame possono essere distinte varie associazioni litologiche:

* Istituto di Geologia dell'Università di Milano, sezione di Bergamo.

** Istituto di Petrografia dell'Università di Genova.

*** Istituto di Geologia dell'Università di Milano.

**** Lavoro eseguito con il contributo finanziario del C.N.R..

A) *Rocce di tipo acido*, rappresentate da: gneiss e micascisti cui sono associati marmi, serpentiniti e prasiniti. Affiorano in lembi d'estensione piuttosto limitata e in posizione marginale dell'area in esame.

Una di queste associazioni affiora a Valosio ed è stata oggetto di una recente monografia (FORCELLA et Al., 1973) nella quale è stata evidenziata l'analogia delle associazioni petrografiche e dell'evoluzione metamorfica con il massiccio cristallino Dora-Maira e quindi proposta la correlazione con i massicci cristallini perimetrali interni dell'arco alpino, cioè il ruolo di basamento sialico della Zona Piemontese.

La seconda associazione affiora ad Arenzano, anch'essa è stata ritenuta testimone del basamento sialico piemontese (F. « Genova », II ed., 1971), mancano però fino a questo momento moderni studi atti a suffragare tale attribuzione.

B) « *Complesso dei Calcescisti con Pietre Verdi* », Auct. — Costituisce la maggior parte dell'area in esame, formando l'ossatura del Gruppo di Voltri stesso. Per sottolineare la completa indipendenza genetica e stratigrafica dei due termini di tale « complesso », GELATI & PASQUARÉ (1970) hanno introdotto, in tale area, due unità di rango formazionale: le formazioni dei *Calcescisti del Turchino* e delle *Ofoliti di M. Beigua*.

Ancor più recentemente nell'ambito di entrambe le formazioni sono state riconosciute associazioni litologiche di diversa appartenenza paleogeografica e crostale.

Entro la formazione dei Calcescisti sono state distinte (CHIESA et Al., 1975, 1976) due associazioni litologiche, molto simili dal punto di vista puramente petrografico: — l'una è rappresentata da scisti calcareo-micacei sovrapposti a calcari e dolomie d'ambiente epineritico e metaarenarie quarzitiche, — l'altra è rappresentata da scisti calcareo-micacei con interposti livelli prasinitici e calcarei d'esigua potenza sovrapposti a scisti quarzitici e a prasiniti.

Mentre la prima sequenza descritta denuncia la sua deposizione sopra una piattaforma continentale e verosimilmente costituisce la copertura della crosta continentale piemontese presente al margine esterno della fossa oceanica, la seconda, per la presenza di minerali manganesiferi entro i quarzoscisti e l'attribuzione a basalti tholetitici di fondo oceanico per le vulcaniti originarie (MAZZUCOCELLI et Al., 1976), è paragonabile alla sequenza non metamorfica Diabasi-Diaspri-Calcarei a Calpionelle-Argille a Palombini dell'Appennino ligure e, come quest'ultima, indicativa di copertura di crosta oceanica: nel caso in esame di crosta oceanica piemontese.

Entro la formazione delle Ofoliti di M. Beigua è stata invece introdotta, sulla base delle caratteristiche metamorfiche e strutturali, la suddivisione tra associazioni ofiolitiche vere e proprie ed ultramaftiti a strutture tettonitiche (MESSIGA & PICCARDO, 1974; CHIESA et Al., 1975). Alle prime appartengono serpentiniti, metagabbri e metabasiti attribuiti a mantello e crosta oceanica piemontese, mentre le seconde sono state attribuite a mantello marginale insubrico.

C) *Associazioni di argilloscisti, marmi, scisti diasprigni, metabasiti e serpentiniti*: costituenti lembi affioranti lungo il margine settentrionale ed occidentale del Gruppo di Voltri. Tale associazione, per lungo tempo indicata in letteratura come «Serie di Montenotte» per la pretesa continuità stratigrafica con i Calcescisti di cui avrebbe rappresentato le sequenze basali, è da qualche tempo più correttamente denominata Falda di Montenotte (PASQUARÉ, 1961, 1968); questa nuova denominazione evidenzia la completa estraneità delle associazioni litologiche in esame rispetto ai Calcescisti piemontesi; esse sono invece correlabili alle unità ofiolitiche della attigua zona Sestri-Voltaggio e dell'Appennino ligure e costituiscono crosta e copertura oceanica di pertinenza insubrica.

D) *Rocce calcareo-dolomitiche*. — Lungo la fascia Sestri-Voltaggio affiora una sequenza carbonatica abbastanza potente comprendente formazioni di età triassico-giurassica che sono correlabili alle analoghe serie presenti sul margine continentale insubrico (Servizio Geol. It., 1971). Analoga attribuzione viene proposta per i numerosi ma esigui ammassi meccanicamente sovrapposti alle ofoliti del Gruppo di Voltri stesso e alla Falda di Montenotte. È talvolta possibile la ricostruzione dei rapporti stratigrafici primari, altre volte appaiono come corpi completamente disarticolati. I calcari e le dolomie presenti invece a ovest del Gruppo di Voltri al di sopra delle coperture paleozoiche rappresentano una porzione stratigrafica del Brianzonese Ligure cui si accenna più sotto.

E) *Associazioni di granitoidi, ortogneiss, anfiboliti, paragneiss, filladi, metaconglomerati polimetamorfici e relative coperture sedimentarie*. — Sono note come Massiccio cristallino Ligure e Brianzonese Ligure. Tutti gli autori vi hanno riconosciuto la presenza di uno zoccolo cristallino e di una copertura permocarbonica.

Su questo complesso polimetamorfico poggiano serie stratigrafiche di vario significato paleoambientale che sono correlate con analoghe serie presenti nel Brianzonese classico delle Alpi Occidentali (DEBELMAS & LEMOINE, 1970; VANÓSSI, 1971).

Assetto strutturale del Gruppo di Voltri

Un recente lavoro (CHIESA et AL., 1975) ha individuato, nell'ambito delle associazioni ofiolitiche, ultrabasitiche e metasedimentarie dell'area in esame (Complesso dei Calcescisti con Pietre Verdi, AUCL.) alcune associazioni litologiche definenti diverse unità strutturali sulla base delle rispettive caratteristiche geometriche e petrografiche.

Mentre si rimanda all'opera citata per la descrizione particolareggiata delle varie unità distinte (pagg. 569-572) sembra qui più utile richiamare i raggruppamenti maggiori che è stato possibile istituire ed indicare, tra parentesi, le unità litostratigrafiche che concorrono alla loro formazione (¹):

(¹) Sono quelle proposte da GELATI & PASQUARÉ (1970) ed usate per la redazione del F. «Genova» (II ed., 1971).

- 1) Unità formate da ultramafiti tettoniche e brecce da esse derivate: Unità Erro e Tobbio (impropriamente ascritte alle Ofioliti di M. Beigua *p.p.*);
- 2) Unità formate da associazioni metasedimentarie e metabasitiche: Unità Ortiglieto, Voltri-Rossiglione, Alpicella e Palmaro-Caffarella (cui concorrono le formazioni dei Calcescisti del Turchino, le Dolomie di Cogoletto e le Quarziti di Fosso Angassino);
- 3) Unità formate da associazioni serpentinitiche e metabasitiche: Unità Beigua, Ponzema, S. Luca-Colma e Varazze (formate dalle Ofioliti di M. Beigua *p.p.*).

Le loro attuali reciproche relazioni si sono venute via via configurando nel corso di un'evoluzione tettonogenetica piuttosto complessa di cui evidenzieremo le varie fasi dopo aver brevemente tratteggiato l'assetto strutturale risultante. Il suo aspetto più significativo è progressivamente emerso nel corso di questi ultimi anni (GELATI & PASQUARÉ, 1970; MESSIGA & PICCARDO, 1974; CHIESA et AL., 1975) ed è rappresentato dai rapporti di sovrapposizione delle diverse associazioni litologiche che costituiscono il Gruppo di Voltri stesso.

Nel settore nord-occidentale all'appilamento partecipano anche le associazioni litologiche appartenenti a domini paleogeografici originariamente limitrofi; ivi a partire dall'unità più elevata si possono osservare (fig. 1, sezione A):

- rocce carbonatiche di piattaforma ed ofiolitiche a diverso grado di metamorfismo considerate associazioni litologiche di pertinenza insubrica (Falda di Montebotte; PASQUARÉ, 1961, 1968);
- ultramafiti tettoniche e relative brecce (Unità Erro) attribuite a mantello superiore marginale insubrico (MESSIGA & PICCARDO, 1974; CHIESA et AL., 1975);
- sedimenti grossolani postmetamorfici costituiti da elementi di ultramafiti e pietre verdi indicanti l'inizio dello smantellamento dell'edificio strutturale (FORCELLA, 1976);
- serpentiniti, metabasiti e metasedimenti costituenti le unità ofiolitiche (Unità Ortiglieto e S. Luca-Colma) provenienti dal metamorfismo polifasico di crosta e copertura oceanica del bacino ligure-piemontese (CHIESA et AL., 1975);
- gneiss, micascisti e metabasiti polimetamorfici (Cristallino di Valosio) considerati un frammento di crosta continentale europea (FORCELLA et AL., 1973).

Queste unità sono ricoperte in discordanza dai sedimenti trasgressivi oligo-miocenici del Bacino Terziario Piemontese.

Il settore descritto è delimitato verso sud da una dislocazione subverticale tardiva (linea Pra Vallarino-Tiglieto) che lo separa da un'estesa unità serpentinitica (Unità Beigua) con lenti eclogitiche (membro delle anfiboliti eclogitiche di Vara) caratterizzata da una bancatura serpentinitica a curvatura antifforme particolarmente evidente sui lati meridionale ed orientale. Sulla parte occidentale del dorso di tale struttura sono tettonicamente sovrapposti sottili lembi di metabasiti e metasedimenti (Unità Alpicella) a loro volta ricoperti in discordanza dai sedimenti oligocenici dei bacini di Sassello e Santa Giustina (fig. 1, sezione C).

Una seconda faglia, subparallela alla precedente (linea Ellera-Arenzano), deli-

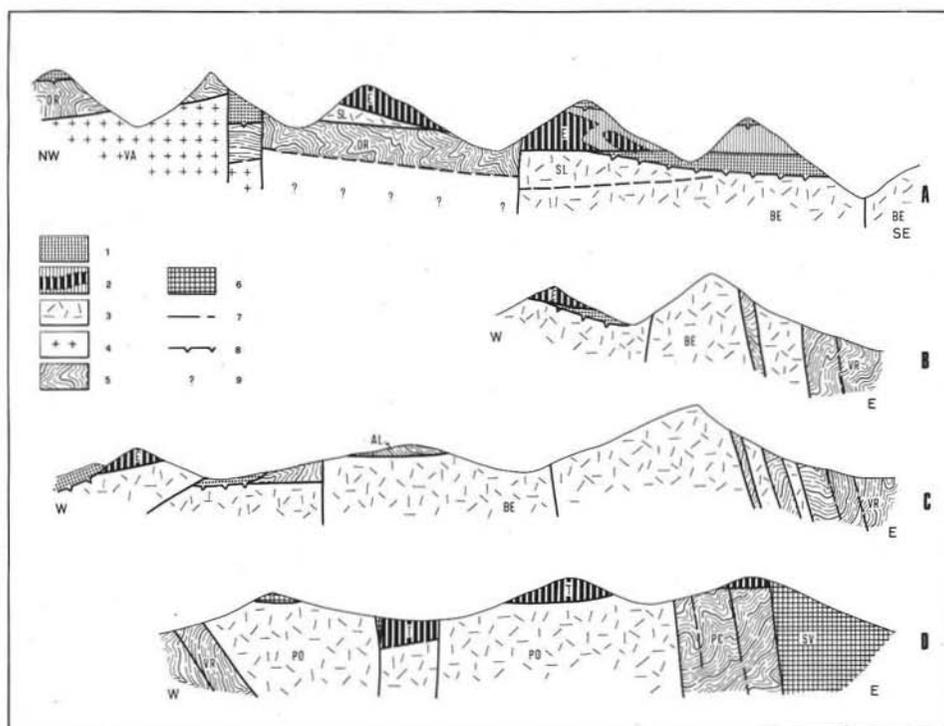


Fig. 1. — Relazioni geometriche tra le varie unità del Gruppo di Voltri; le sezioni geologiche sono indicative delle relazioni visibili nel settore nord-occidentale (A), centrale e centro-occidentale (B e C) e nel settore orientale (D).

Sedimenti postmetamorfici: 1) Sedimenti oligo-miocenici del Bacino Terziario Piemontese e Conglomerati di M. Calvo.

Unità di crosta oceanica e/o mantello superiore sottocontinentale: 2) Ultramafiti e breccie da esse derivate prive di paragenesi coalpine d'alta pressione e bassa temperatura: Unità Erro (E), Unità Tobbio (T). 3) Serpentiniti e metabasiti con paragenesi coalpine d'alta pressione e bassa temperatura per lo più retrocesse dal susseguente metamorfismo in facies Scisti Verdi: Unità S. Luca-Colma (SL), Unità Beigua (BE), Unità Ponzema (PO).

Unità di crosta continentale: 4) Gneiss, micascisti e metabasiti prive di chiare paragenesi coalpine d'alta pressione e bassa temperatura: Cristallino di Valosio (VA).

Unità di copertura continentale ed oceanica: 5) Metasedimenti e metabasiti con paragenesi coalpine d'alta pressione e bassa temperatura per lo più retrocesse dal susseguente metamorfismo in facies Scisti Verdi: Unità Ortiglieto (OR), Unità Voltri-Rossiglione (VR), Unità Alpicella (AL), Unità Palmaro-Caffarella (PC). 6) Formazioni carbonatiche ed ofiolitiche (queste ultime comprensive anche della sottostante crosta oceanica) di pertinenza insubrica: Zona Sestri-Voltaggio e Liguridi *p.p.* (SV), Falda di Montenotte (FM).

Simboli convenzionali: 7) Piani di contatto strutturale fra le varie unità (a tratto quelli presunti). 8) Superfici di trasgressione dei sedimenti terrigeni. 9) Zona di incerta attribuzione (attribuita a crosta continentale penninica nelle sezioni geologiche interpretative di CHIESA et AL., 1975).

mita infine una piccola unità serpentinitico-metagabbrica (Unità Varazze) alla quale è tettonicamente addossato il lembo sialico di Arenzano (2).

(2) L'appartenenza del lembo sialico di Arenzano, già attribuito alla zona piemontese (F. « Genova », II ed., 1971), è stata in seguito rimessa in discussione e tutt'ora non ben precisata.

Verso est tutte le zone fin qui descritte sono separate dal settore orientale del Gruppo di Voltri da un fascio di scaglie in cui prevalgono rocce metasedimentarie e metabasitiche (Unità Voltri-Rossiglione); l'assetto interno di tale unità è particolarmente complesso e tutt'ora non completamente chiarito, tuttavia si è potuto riconoscere un generale allungamento degli elementi strutturali in senso nord-sud con vergenza verso ovest. Tale disposizione meridiana degli elementi strutturali, immersi ad est e vergenti ad ovest, è una caratteristica del settore orientale del Gruppo di Voltri dove minor rilievo hanno le sovrapposizioni descritte per il settore occidentale.

Immediatamente ad est della fascia metasedimentaria citata affiorano associazioni serpentinitico-metagabbriche (Unità Ponzema), seguite da associazioni metasedimentarie-metabasitiche (Unità Palmaro-Caffarella); su entrambe sono tettonicamente sovrapposti lembi lherzolitici (Unità Tobbio) e formazioni carbonatiche di provenienza appenninico-ligure (fig. 1, sezione D); tale disposizione richiama dunque, seppure in modo incompleto, la struttura ad elementi sovrapposti del settore occidentale.

Tutte le unità in questione sono delimitate verso est dalla zona a scaglie Sestri-Voltaggio che rappresenta l'elemento separatore dell'edificio strutturale del Gruppo di Voltri nei confronti della Zona Ligure.

Le relazioni reciproche tra gli elementi strutturali presenti nell'area in esame permettono di ricostruire la seguente successione di eventi ⁽³⁾:

- forzato avvicinamento di associazioni litologiche di diversa pertinenza paleogeografica che porta alla loro embricazione, od anche sovrapposizione vera e propria, con abbozzo dell'appilamento descritto nelle pagine precedenti;
- mutua implicazione e scagliamento delle unità appilate, con successiva sovrapposizione di lembi ultramafici, nell'ambito di un regime dinamico che permane sostanzialmente compressivo.

In questa fase si generano dislocazioni a decorso NE-SO tendenti a N-S nella zona più orientale, esse sono particolarmente evidenti nell'Unità Voltri-Rossiglione e lungo i margini dei settori ofiolitici adiacenti (Unità Beigua ed Unità Ponzema) i cui rigetti ne denotano il carattere trascorrente con componente orizzontale destra (versante meridionale M. Colma, fosso Angassino, T. Acquasanta).

Durante questa fase si ebbe probabilmente l'inizio dell'orogenesi propriamente detta in quanto di poco posteriori (Oligocenici inf.?) sono i primi lembi di rocce clastiche grossolane sicuramente imputabili allo smantellamento dell'edificio strutturale. Tali lembi non sono uniformemente sparsi su tutto l'areale del Gruppo di Voltri ma, forse già in origine limitati al settore settentrionale ed occidentale (GNACCOLINI, 1974), sono ora conservati in posizioni depresse dell'area nord-occidentale;

(3) La loro interpretazione geodinamica sarà proposta in un capitolo successivo.

- una successiva fase tettonica rimobilizza poi alcune unità strutturali (Falda di Montenotte, Unità Erro, unità ofiolitiche del margine occidentale), o parti di esse, trasladole in posizioni più esterne sopra i sedimenti già depositati o sopra il basamento metamorfico. A tale fase è dovuta la definitiva configurazione dell'appilamento ora visibile nel settore nord-occidentale ed è databile all'Oligocene sup. (PASQUARÉ, 1968) se sincrona per tutti gli elementi strutturali coinvolti;
- all'ultima fase tettonica, attiva a partire dall'Oligocene e contemporanea alla sedimentazione delle sequenze clastiche del Bacino Terziario Piemontese e del margine meridionale del Gruppo di Voltri, sono infine imputabili faglie normali a decorso est-ovest responsabili della disarticolazione dell'edificio strutturale e della sua scomposizione in blocchi che condizionano l'attuale assetto morfologico dell'area. Queste dislocazioni, delle quali non si può escludere una componente trascorrente di senso opposto a quella sviluppatasi precedentemente, determinano gran parte dell'attuale contatto tra i sedimenti del margine padano e ligure e le unità metamorfiche, e, all'interno di queste ultime, il collasso differenziale dei vari settori che delimitano alti strutturali e favoriscono la venuta a giorno delle unità strutturali più profonde (Cristallino di Valosio).

II PARTE

Caratteri e distribuzione del metamorfismo alpino con particolare riferimento al metamorfismo di alta pressione

Nella Liguria occidentale si realizza l'accostamento di terreni di differente e complessa attribuzione paleogeografica, variamente coinvolti nei processi tetto-genetici dell'orogenesi alpina.

Gli elementi costitutivi le strutture fondamentali di quest'area, posta in prossimità della giunzione tra Alpi ed Appennini, possono così essere ricordati:

A - Elementi di crosta continentale:

- a) massicci cristallini « brianzonesi » e loro coperture premesozoiche;
- b) massiccio cristallino di Valosio;
- c) lembo sialico di Arenzano.

B - Sequenze mesozoiche di piattaforma:

- a) serie brianzonesi e « ad affinità brianzonese »;
- b) serie di piattaforma nella zona Sestri-Voltaggio e loro corrispondenti nella falda di Montenotte;
- c) serie di piattaforma nel Gruppo di Voltri.

C - Sequenze mesozoiche di crosta oceanica:

- a) sequenze ofiolitiche di « pertinenza piemontese » nel Gruppo di Voltri;
- b) sequenze ofiolitiche di « pertinenza ligure » nella zona Sestri-Voltaggio e falda di Montenotte.

D - Elementi di mantello lherzolitico pericontinentale.

E - Flysch ad elmintoidi.

F - Coperture terziarie.

I rapporti strutturali intercorrenti tra gli elementi sopra ricordati sono trattati in CHIESA et Al. (1975) cui si rimanda per la relativa bibliografia.

Vengono qui di seguito schematizzati i caratteri stratigrafici e litologici prealpini dei differenti elementi strutturali e ne viene delineata, nei tratti fondamentali, l'evoluzione metamorfica alpina, trascurando la falda del Flysch ad elmintoidi, praticamente esente da effetti metamorfici (vedi anche VENTURELLI & FREY, 1976) (4), e le coperture terziarie.

A-a) MASSICCI CRISTALLINI « BRIANZONESI » E LORO COPERTURE PREMESOZOICHE

Caratteri litologici prealpini del basamento cristallino

I massicci cristallini liguri sono costituiti principalmente da:

- 1) Paragneiss biotitico-muscovitici con intercalazioni di micascisti ed anfiboliti con metamorfismo prewestfaliano, caratterizzati da associazioni a plagioclasio (An 15-20) \pm k-feldspato \pm biotite \pm muscovite \pm orneblenda \pm clinopirosseno (sali-te) \pm granato \pm cianite \pm staurolite \pm sillimanite \pm rutilo \pm titanite \pm quarzo (CIMMINO et Al., 1976). Il metamorfismo ercinico di questi gneiss sembra presentare caratteri di polifasicità.
- 2) Graniti e rocce granitoidi spesso con concentrazioni di grandi individui di k-feldspato. In qualche caso sono riconoscibili contatti magmatici con intrusioni di apofisi filoniane su metapeliti biotitico-muscovitiche a granato e staurolite.

Evoluzione metamorfica alpina

Le strutture del metamorfismo alpino sulle rocce dei massicci cristallini indicano la presenza di azioni dinamiche anche molto pronunciate, talvolta con più fasi di milonisi, e contemporaneamente la presenza di masse anche estese riequilibrate in assenza di effetti deformativi.

Anche la riequilibratura metamorfica si manifesta in maniera molto discontinua (CORTESOGNO et Al., 1975).

Per quanto i dati a disposizione sulla distribuzione delle paragenesi metamorfiche siano tuttora molto scarsi e frammentari, risultano significative ad identificare il carattere prevalentemente di bassa temperatura e relativamente alta pressione la coesistenza di albite, pumpellyite, anfiboli sodici ed attinolit e la pur rara com-

(4) VENTURELLI G., FREY M. (1976) - *Anchizone metamorphism in sedimentary sequences of the Northern Apennines (preliminary results)*. Rend. S.I.M.P., in stampa.

parsa di lawsonite, accanto a cui sono molto diffusi epidoto, clorite, fengite, stilpnomelano. Un successivo episodio di fratturazione è caratterizzato da sviluppo di prehnite + laumontite (CORTESOGNO et Al., 1974).

Coperture premesozoiche: caratteri litologici e metamorfismo alpino

Le coperture premesozoiche sono rappresentate da serie trasgressive del carbonifero medio-superiore, molto tettonizzate e costituite prevalentemente da metaconglomerati e filladi con intercalazioni di porfidi riolitici e, meno frequentemente, di effusioni a chimismo andesitico.

Il metamorfismo alpino delle coperture risulta sostanzialmente assimilabile a quello del basamento cristallino. La deformazione è, salvo poche eccezioni, abbastanza intensa con scistosità marcata e localmente fasce fillonitiche o blastomilonitiche. Le paragenesi più frequenti sono costituite da albite, miche fengitiche, clorite, epidoto; più significativa appare la diffusione di cloritoide in livelli di scisti filladici, e la coesistenza di attinolite ed anfibolo sodico in rocce derivate da breccie vulcaniche a plagioclasio e biotite.

A-b) MASSICCIO CRISTALLINO DI VALOSIO

Il massiccio cristallino di Valosio (FORCELLA et Al., 1973), considerato come basamento tettonico delle unità ofiolitiche del Gruppo di Voltri, è costituito da paragneiss occhiadini passanti gradualmente a gneiss minuti con livelli di micascisti granatiferi, e da ridotti affioramenti di anfiboliti e marmi a silicati.

Le paragenesi prealpine, caratterizzate da coesistenza di plagioclasio, k-feldspato, biotite, miche bianche, orneblenda, diopside, granato, epidoti, mostrano deformazioni presumibilmente alpine molto marcate, talvolta con zone di miloniti tardo alpine. Il metamorfismo alpino sembra riflettere caratteri essenzialmente di scisti verdi.

A-c) LEMBO SIALICO DI ARENZANO

Il lembo sialico di Arenzano (CORTESOGNO e FORCELLA, in corso di studio) è costituito da:

- 1) Paragneiss biotitico-muscovitici a grana molto fine e tenori particolarmente bassi in k-feldspato, con livelli di micascisti e lenti di scisti biotitico-granatiferi, anfiboliti e marmi ad orneblenda.
- 2) Anfiboliti massicce a grana fine.

Il metamorfismo prealpino, con evidenti caratteri di polifasicità, è caratterizzato da associazioni a plagioclasio ($An \approx 20$) \pm biotite \pm muscovite \pm orneblenda \pm granato \pm cianite \pm staurolite \pm epidoti \pm rutilo \pm titanite \pm quarzo.

Il metamorfismo alpino, che è preceduto da locali intensi fenomeni di milonizzazione, porta allo sviluppo di paragenesi genericamente ascrivibili a condizioni di scisti verdi.

B-a) SERIE BRIANZONESI E « AD AFFINITÀ BRIANZONESE »

Costituite da conglomerati e arenarie a frammenti di rocce granitiche, calcari e dolomie, con minori intercalazioni pelitiche, queste sequenze si prestano assai poco al riconoscimento di caratteri metamorfici di bassa temperatura. Tuttavia la scistosità talvolta sensibile dei livelli quarzitici, le strutture saccaroidi frequenti nelle rocce carbonatiche, ma soprattutto la presenza di scisti ottrelitici intercalati entro a dolomie anisiche, mostrano come almeno alcuni elementi delle sequenze di piattaforma brianzonesi abbiano un'impronta metamorfica confrontabile con quella del basamento cristallino e delle coperture premesozoiche.

Le cosiddette sequenze ad « affinità brianzone » risultano ancora meno conosciute per quanto riguarda la presenza di eventuali processi metamorfici, sia perchè le loro complesse relazioni tettoniche appaiono tutt'altro che chiarite (tra l'altro alcuni elementi tettonici, costituiti da termini carbonatici presenti soprattutto nei settori più orientali, potrebbero appartenere a falde messe in posto con provenienza orientale assieme alla falda di Montenotte), sia perchè, stante la litologia e la natura dell'eventuale metamorfismo, soltanto accurate indagini sulla cristallinità delle illiti dei livelli pelitici potrebbero risultare significative.

B-b) SERIE DI PIATTAFORMA NELLA ZONA SESTRI-VOLTAGGIO E LORO CORRISPONDENTI NELLA FALDA DI MONTENOTTE

Alla falda di Montenotte sembrano appartenere elementi calcareo-dolomitici che occupano posizioni strutturali molto elevate all'interno del Gruppo di Voltri ed in prossimità del contatto tra cristallino del Savonese e Gruppo di Voltri; in tale caso essi andrebbero raccordati alle sequenze di piattaforma della zona Sestri-Voltaggio.

Tali sequenze, la cui pertinenza paleogeografica è tuttora in discussione, mancano di una base anteriore al trias medio e sono rappresentate da un trias prevalentemente dolomitico e calcareo-marnoso, ma con breccie calcaree, talvolta ricchissime in clasti di origine continentale, eteropiche. I termini superiori sono costituiti da calcari liassici, ricchi in ammoniti, coralli ed echinodermi, generalmente ricristallizzati e sensibilmente deformati, e da scisti filladici più o meno carbonatici.

Come per i termini precedentemente ricordati gli unici indizi di un metamorfismo alpino sono le deformazioni piuttosto spinte rilevabili nelle ooliti e nei fossili delle serie carbonatiche.

B-c) SERIE DI PIATTAFORMA NEL GRUPPO DI VOLTRI

Nel Gruppo di Voltri vanno distinte dai calcescisti ofiolitiferi almeno due sequenze paleogeograficamente attribuibili a termini di piattaforma e caratterizzate dalla successione di termini quarzitici, calcareo-dolomitici e pelitici (CHIESA et AL., 1976 b).

La sequenza meglio identificabile, affiorante nel settore meridionale tra Cogo-

leto ed Arenzano, presenta un modesto grado di ricristallizzazione con quarziti a scistosità non molto marcata e strutture blastopsammitiche riconoscibili. I livelli pelitici mostrano una notevole convergenza litologica coi calcescisti ofiolitiferi, da cui sono riconoscibili con molta difficoltà in base al loro carattere più filladico.

Un'indicazione piuttosto importante sul metamorfismo di questi terreni è offerta dalla presenza, all'interno dei banchi calcareo-dolomitici, di sottili intercalazioni costituite da scisti ricchi in quarzo e clorite in cui si rinvengono pseudomorfo di minerali micacei su individui deformati di lawsonite. Ciò sembra poter indicare una prima fase metamorfica di relativamente alta pressione con successiva modesta ricristallizzazione a pressioni più basse.

La seconda sequenza è intercalata nei calcescisti dall'unità Voltri-Rossiglione. I termini quarziticci presentano marcata scistosità e coesistenza di miche bianche e biotite verde-bruna, mentre i termini carbonatici si presentano come marmi, talvolta debolmente micacei, a struttura saccaroide. I termini pelitici presentano una completa convergenza litologica con i calcescisti ofiolitiferi.

C-a) SEQUENZE OFIOLITICHE DI « PERTINENZA PIEMONTESE » NEL GRUPPO DI VOLTRI

Litologia e rapporti giaciturali primari

Le ofioliti del Gruppo di Voltri sono costituite in prevalenza da complessi femici-ultrafemici, mentre sono quantitativamente subordinati complessi calcescisti che rappresentano sequenze vulcano-sedimentarie metamorfiche.

I complessi femici-ultrafemici sono costituiti in massima parte da metamorfiti ultrafemiche rappresentate da serpentinoscisti e serpentiniti talvolta con relitti paragenetici e strutturali di rocce lherzolitiche.

Le metamorfiti femiche sono nettamente subordinate rispetto alle rocce ultrafemiche e sono costituite da metagabbri, i cui relitti strutturali permettono frequentemente di riconoscere una originaria componente olivinica, e da rocce eclogitiche che rappresenterebbero invece i corrispondenti metamorfici di ferro-gabbri (Bocchio e Mottana, 1974; Cortesogno et al., 1975; Cortesogno et al., 1976). Raramente in metagabbri sono riconoscibili inclusi eclogitici, talvolta ad andamento filoniano, derivati da differenziati ferro-gabbri o da intrusioni basaltiche.

Soltanto nel settore meridionale, nell'unità di Varazze in cui le deformazioni metamorfiche sono meno intense, è possibile riconoscere i rapporti intrusivi primari tra masse gabbriiche e rocce lherzolitiche. Tuttavia anche nelle unità più metamorfiche è ben riconoscibile l'andamento filoniano di gabbri rodingitizzati intrusi nelle ultrabasiti.

Le sequenze vulcano-sedimentarie sono costituite da calcescisti, spesso con livelli di calcari cristallini più o meno detritici, includenti lenti di metagabbri, che in qualche caso potrebbero aver svolto il ruolo di substrato, lembi a volte estesi di prasiniti e livelli generalmente ridotti di quarzoscisti più o meno manganesiferi.

Nei metagabbri inclusi nei calcescisti dell'unità Palmaro-Caffarella sono presenti

filoni diabasici che conservano la struttura porfirica primaria; più raro è il riconoscimento in queste metabasiti di strutture di brecce ofiolitiche.

L'equivalenza delle prasiniti con i basalti delle ofioliti è stata confermata su base chimica (MAZZUCOTELLI et Al., 1976); così pure è ormai dimostrata la corrispondenza dei quarzoscisti ai diaspri delle sequenze ofiolitiche (CHIESA et Al., 1976).

Evoluzione metamorfica alpina: le metabasiti dei complessi femici-ultrafemici

Le sequenze ofiolitiche del Gruppo di Voltri mostrano generalmente un'evoluzione metamorfica polifasica piuttosto complessa. La figura 2 sintetizza, pur con qualche semplificazione, la successione delle paragenesi metamorfiche nelle metabasiti appartenenti ai complessi femici-ultrafemici.

La paragenesi ignea primaria è stata ipotizzata sulla base del riconoscimento di strutture pseudomorfe e del confronto con rocce meno metamorfiche dei complessi ofiolitici dell'Appennino settentrionale; soltanto eccezionalmente sono conservati relitti di clinopiroseni primari. Le fasi di deformazione riportate si riferiscono esclusivamente ai più importanti episodi riconoscibili a scala microstrutturale direttamente sulle sezioni sottili.

Le fasi indicate con A e B (Fig. 2) e separate da un primo episodio di intensa deformazione, sono caratterizzate da un'associazione di tipo eclogitico con granato, pirosseno sodico e rutilo. Analisi in microsonda eseguite su granati e clinopiroseni di rocce eclogitiche (ERNST, 1976) hanno mostrato un incremento di Mg e Fe a scapito di Mn e Ca nei granati nel passaggio dalla prima alla seconda fase ed una diminuzione del contenuto in Ca, con conseguente aumento della molecola giadecitica, nei pirosseni.

La zoisite è stabile in metaleucogabbri durante le fasi A e B, mentre è sostituita dalla forma monoclinale nelle fasi successive. La fase C è caratterizzata dallo sviluppo di anfibolo glaucofanico talvolta con parziale ricristallizzazione di pirosseno sodico e forse granato, mentre la titanite sostituisce il rutilo.

Dopo una seconda fase deformativa, spesso accompagnata da microfratturazioni che favoriscono l'introduzione di acqua nel sistema, si ha sviluppo di orneblenda barroisitica (CIMMINO et Al., 1974; 1975) con albite, epidoto, biotite verde e cloriti. Generalmente l'anfibolo glaucofanico e l'orneblenda barroisitica sono meglio sviluppati nelle rocce eclogitiche ad elevato tenore in ferro piuttosto che in quelle derivate da leucogabbri.

Con la fase E si ha un passaggio graduale ad una fase con caratteri tipici di scisti verdi. Ulteriori deformazioni tardo alpine si traducono in fratturazioni e microfessurazioni che portano allo sviluppo di zeoliti e prehnite (CORTESOGNO et Al., 1975).

L'evoluzione polifasica descritta è caratteristica soprattutto del metamorfismo nel settore centro-occidentale del Gruppo di Voltri (Unità del Beigua) dove tutte le fasi sono ben sviluppate; meno ben rappresentate sono la fase D ed in parte E

nel settore orientale (Unità del Ponzema) e nord-occidentale (Unità S. Luca-Colma). In alcuni elementi meridionali inoltre (Unità di Varazze) sembrano mancare tutte le fasi precedenti all'evento in scisti verdi.

MINERALE	PARAGENESI	I°	A	d	B	C	d'	D	E	f	F
Plagioclasio		An 30-60				An 0-5			Interstiziale porfiroblastica		
Olivina											
Granato											
Ca-clinopirosseno		Aug+Ti Aug									
Na-clinopirosseno											
Na-clinoanfibolo											
Orn.barroisitica											
Attinolitite					Na-Tremolite						
Zoisite**											
Clinozoisite									Fe in aumento →		
Talco***		-?									
Biotite verde											
Clorite											
Mica bianca									fengite + paragonite		
Opachi		Cr-spinello									
Rutilo		ilmenite									
Sfeno											
Quarzo											
Calcite											
Prehnite											
Zeoliti											
Adularia											

Fig. 2. — Schema dell'evoluzione polimetamorfica delle metabasiti (metaleucogabbri e eclogiti) dei complessi femici-ultrafemici del Gruppo di Voltri.

* I minerali attribuiti alla fase ignea (I) sono individuati quasi esclusivamente in base al riconoscimento di pseudomorfo.

** La zoisite compare esclusivamente in metaleucogabbri.

*** Il talco si sviluppa, probabilmente metastabile, nella fase A esclusivamente in pseudomorfo, con Na-tremolite o più raramente anfibolo sodico, su olivina; esso ricompare tra le fasi C e D in fratture o contatti tettonici assieme ad anfiboli diversi.

Ridottissime lenti di gabbri olivinici associati a peridotiti comulitiche a plagioclasio che non sembrano riferibili ad alcuna delle unità tettoniche descritte, risultano praticamente esenti da deformazioni dinamiche e presentano un unico evento metamorfico caratterizzato dall'associazione di prehnite e lawsonite.

Evoluzione metamorfica alpina: le rocce ultrafemiche

I serpentinoscisti delle unità polimetamorfiche presentano una paragenesi estremamente omogenea, con antigorite e magnetite talvolta accompagnate da tremolite, talco, cloriti di tipo pennina e, meno frequenti, titanoclinohumite ed ankerite. La loro evoluzione polifasica è tuttavia testimoniata soltanto dai caratteri strutturali.

Più significative a questo proposito appaiono le serpentiniti delle unità esenti dal metamorfismo di alta pressione, dove è possibile riconoscere la parziale sovrapposizione dell'antigorite, con ricristallizzazione della magnetite, su associazioni a lizardite, diopside, cloriti e talvolta humiti, pseudomorfiche sulla paragenesi della primitiva lherzolite.

Evoluzione metamorfica alpina: le metabasiti dei complessi calcescistosi

Le unità calcescistose del Gruppo di Voltri occupano posizioni strutturali differenti (CHIESA et AL., 1975): alcune risultano sottostanti alle unità femiche-ultra-

MINERALE	PARAGENESI	A + B	C	d'	D	d''	E	F
		Albite	?	interstiziale			porfiroblastica	
Granato								
Na-clinopirosseno								
Na-clinoanfibolo	?							
Orn.barroisitica								
Attinolite								
Epidoto					Fe in aumento →			
Biotite verde								
Clorite	?							
Mica bianca	?				renigite+paragonite			
Opachi	?				magnetite + pirite		solfuri	
Rutilo								
Sfeno								
Quarzo								
Calcite	?							
Zeoliti								
Adularia								

Fig. 3. — Schema dell'evoluzione polimetamorfica delle rocce prasinitiche (metabasiti, raramente metagabbri) delle sequenze calcescistoidi del Gruppo di Voltri (Unità Voltri-Rossiglione, Alpicella, Ortiglieto).

femiche (Unità Ortiglieto e lembi precedentemente attribuiti all'unità Alpicella), altre sono almeno parzialmente sovrastanti alle stesse od intercalate mediante piani subverticali (Unità Alpicella ed unità Voltri-Rossiglione), infine l'unità Palmaro-Caffarella si presenta come una fascia addossata lungo il margine sud-occidentale.

Il trend evolutivo metamorfico presente in tali unità, ad eccezione della Palmaro-Caffarella, riconosciuto prevalentemente nelle metabasiti e rappresentato in figura 3 mostra, ad onta della reciproca indipendenza tettonica, un significativo parallelismo con quello dei complessi femici-ultrafemici.

La sovrapposizione di più eventi di deformazione penetrativa ha conferito alle metabasiti dei complessi calcescistosi caratteri di spiccata scistosità cancellandone quasi dovunque ogni struttura primaria, mentre la blastesi albitica postcinematica ne determina la tipica struttura «ocellare» caratteristica delle rocce prasinitiche.

Relitti di pirosseno sodico, granato e glaucofane, che sembrano trovare corrispondenza nelle fasi A, B e C del trend evolutivo delle rocce eclogitiche, sono ben riconoscibili, benchè rari, in metabasiti e, principalmente, in sottili intercalazioni, nei calcescisti dell'estremo settore nord-occidentale del Gruppo di Voltri; recentemente tracce di tali paragenesi sono state segnalate in prasiniti dell'unità di Voltri-Rossiglione (MAZZUCOTELLI et Al., 1976).

Come nei complessi femici-ultrafemici, anche nelle sequenze calcescistose, le varie fasi metamorfiche, pur conservando una analoga successione, presentano un

MINERALE	PARAGENESI	I°			
		A	d	B	C
Plagioclasio	An > 30 An < 10	An 0-5			
Olivina					
Granato					
Ca-clinopirosseno					
Na-clinopirosseno		Egic ± Gad.			
Orneblenda					
Na-clinoanfibolo					
Attinolite	?				
Epidoto	-?				
Lawsonite					
Mica bianca					
Biotite verde					
Stilpnomelano					
Clorite	-?				
Opachi	Ilmenite + Magnet.	Ematite + Magnet.		Magnet. + Pirite	Solfuri
Rutilo					
Sfeno					
Quarzo					
Zeoliti					

Fig. 4. — Schema dell'evoluzione polimetamorfica delle metabasiti (metagabbri e metaferrogabbri, metabasiti da basalti e/o da breccie ofiolitiche) delle sequenze calcescistose dell'unità Palmaro-Caffarella.

* Relitti ignei e metamorfici di alto gradiente in ambiente oceanico sono parzialmente conservati.

Il valore di An del plagioclasio è dedotto per analogia con quello di rocce dei complessi ofiolitici della Liguria orientale e della Toscana.

diverso sviluppo nelle differenti unità tettoniche. In particolare, mentre nelle unità tettonicamente sottostanti ai complessi femici-ultrafemici è ben sviluppata la fase ad orneblenda barroisitica (fase D) ed assai meno la successiva fase E, quest'ultima raggiunge il suo massimo sviluppo nelle metabasiti delle unità calcescistose in posizione strutturale più elevata, dove la fase D è poco evidente od addirittura dubbia.

È inoltre caratteristica la comparsa, in queste ultime metabasiti, di minutissimi individui di anfibolo sodico incluso nei porfiroblasti albitici, e probabilmente stabile durante la fase metamorfica a scisti verdi (fase E).

L'evoluzione metamorfica riconoscibile nelle metabasiti dell'unità Palmaro-Caffarella presenta caratteri significativamente differenti (Fig. 4).

Condizioni di deformazioni penetrative non estreme, pur cancellando ogni struttura primaria nelle vulcaniti, che hanno assunto una marcata tessitura listata, ne hanno permesso la conservazione in molti metagabbri sia in funzione della grana più grossolana che del comportamento più rigido. In questi ultimi sono inoltre talvolta conservati relitti di minerali ignei o metamorfici di alta temperatura in ambiente oceanico (CORTESOGNO et Al., 1975).

La più antica fase riconoscibile del metamorfismo alpino è caratterizzata, nella maggior parte delle metabasiti, dalla coesistenza di lawsonite con anfiboli sodici + albite ± pirosseno egirिनico o, raramente, giadeitico ($Jd > 70\%$) ± Fe-epidoto ± quarzo; accanto a questi può coesistere una clinzoisite a bassissimo tenore in ferro. Talvolta si ha anche un granato a elevato tenore in almandino, la cui comparsa sembra tuttavia accompagnata dalla distruzione della lawsonite e, forse, del clinopirosseno egirिनico.

Una fase postcinematica ad albite, clorite, barroisite e/o anfibolo sodico, epidoto più o meno ferifero, stilpnomelano e, raramente, attinolite, sembra investire in maniera generalizzata la maggior parte dei materiali presenti nell'unità Palmaro-Caffarella.

La successiva evoluzione verso paragenesi più tipicamente di scisti verdi non porta a trasformazioni molto marcate, limitandosi per lo più alla « suturazione » di discontinuità tettoniche.

Evoluzione metamorfica alpina: « calcescisti » e quarzoscisti

Le rocce calcescistose presentano, ai fini dello studio dell'evoluzione metamorfica, un interesse minore rispetto alle metabasiti, in quanto, pur nell'evidenza strutturale della sovrapposizione delle differenti fasi deformative, non è possibile riconoscere una chiara successione paragenetica.

Tuttavia la coesistenza, in tutte le differenti unità di calcescisti del Gruppo di Voltri, di muscovite, fengite e paragonite (LIBORIO et Al., 1970), è in accordo con l'esistenza di una fase di alta pressione.

Il cloritoide è molto diffuso nei calcescisti dell'unità Voltri-Rossiglione dove risulta postcinematico rispetto alla più intensa fase deformativa, ma a sua volta interessato dagli effetti di un successivo ripiegamento; raro nell'unità Ortiglieto, esso compare in livelli filladici nell'unità Palmaro-Caffarella.

Le figure 5 e 6 rappresentano l'evoluzione paragenetica dei quarzoscisti appartenenti alle unità Voltri-Rossiglione, Alpicella, Ortiglieto e, rispettivamente, Palmaro-Caffarella.

Per quanto i caratteri strutturali e metamorfici di queste rocce trovino riscontro in quelli delle metabasiti associate, l'evoluzione paragenetica sembra rispecchiare più ancora che le variazioni di condizioni termodinamiche, una graduale diminuzione della fugacità dell'ossigeno.

C-b) SEQUENZE OFIOLITICHE DI « PERTINENZA LIGURIDE » NELLA ZONA SESTRI-VOLTAGGIO E FALDA DI MONTENOTTE

Caratteri petrografici e stratigrafici primari

Nelle sequenze ofiolitiche di pertinenza liguride che compaiono nella Liguria occidentale (zona Sestri-Voltaggio e falda di Montenotte) le rocce ultrafemiche risultano in genere molto subordinate costituendo lenti e scaglie di serpentiniti lherzolitiche brecciate e disposte lungo discontinuità tettoniche o ridotti lembi di

MINERALE	PARAGENESI					
	A + B	C	d ¹	D	d ²	E
Albite	?	---	?			
Spessartina					---	
Piemontite	?	---				
Epidoto		Mn-epidoto		Fe epidoto		
Orn.barroisitica ^o			---			
Cloritoide ^{oo}					---	
Clorite	?					
Mica fengitica						
Biotite verde						
Rutilo		---				
Sfeno						
Fe-opachi		ematite		magnetite		
Mn-opachi		braunite			manganite	
Quarzo						
Tormalina						
Apatite						

Fig. 5. — Schema dell'evoluzione polimetamorfica dei quarzoscisti (metacherts) delle sequenze calcescistose del Gruppo di Voltri (Unità Voltri-Rossiglione, Alpicella, Ortiglieto).

* Frequente nell'unità Ortiglieto, sembra mancare nei quarzoscisti dell'unità Voltri-Rossiglione.

** Ben sviluppato soprattutto nell'unità Voltri-Rossiglione e raro nell'unità Ortiglieto.

oficalci, analoghe per posizione stratigrafica e significato genetico a quelle dell'Appennino settentrionale.

Il substrato delle sequenze vulcano-sedimentarie, di cui sono talvolta ancora riconoscibili i primitivi rapporti giacaturali, è costituito, oltre che dalle citate oficalci, da metagabbri spesso attraversati da abbondanti filoni diabasici che possono in qualche caso diventare preponderanti; molto più raro è il caso di un substrato costituito esclusivamente dall'intersezione di diverse famiglie di filoni basaltici.

La sequenza vulcano-sedimentaria può essere ricostruita in questi termini, che compaiono tuttavia nelle diverse serie con frequenza molto variabile: metabasiti più o meno scistose derivate da breccie ofiolitiche poligeniche; metapillowlave e metapillowbreccie a cui possono essere associati livelli di ialoclastiti; metacherts

spesso con intercalazioni di brecce ofiolitiche; marmi e calcari cristallini in cui è generalmente presente un'elevata componente detritica quarzoso-micacea; scisti filadici con intercalazioni di calcare cristallino.

Metamorfismo alpino

La figura 7 pone a confronto le paragenesi metamorfiche che possono essere riscontrate rispettivamente nell'unità ofiolitica occidentale ed in quella orientale della zona Sestri-Voltaggio (CHIESA et Al., 1975), a cui corrispondono analoghi caratteri nelle ofioliti della falda di Montenotte (CORTESOGNO e MESSIGA, 1974), ed infine la paragenesi metamorfica alpina più diffusa nelle ofioliti dell'Appennino settentrionale.

MINERALE	PARAGENESI	
	A	B+C
Albite	-----	-----
Spessartina	-----	-----
Piemontite	-----	-----
Epidoto	Mn-epidoto	Fe-epidoto
Mn-clinoanfibolo	-----	-----
Na-clinoanfibolo	-----	-----
Mica fengitica	-----	-----
Stilpnomelano	-----	-----
Clorite	(Mn-cloriti)	-----
Fe-opachi	ematite	magnetite
Mn-opachi	braunite	manganite
Rutilo	-----	-----
Titanite	-----	-----
Tormalina	-----	-----
Apatite	-----	-----

Fig. 6. — Schema dell'evoluzione polimetamorfica dei quarzoscisti (metacherts) dell'unità Palmaro-Caffarella.

La paragenesi metamorfica che caratterizza questa prima unità è data dalla coesistenza di albite + pirosseno egirinicico + anfibolo sodico + lawsonite + pumpellyite + clorite. Pirosseno egirinicico ed anfibolo sodico compaiono anche in livelletti detritici nei diaspri, mentre un'associazione a tremolite e stilpnomelano è stata riscontrata in calcari detritici. In questi calcari è pure stata riscontrata la coesistenza di paragonite e caolinite.

Nell'unità ofiolitica orientale, dove ad un ripiegamento polifasico nei sedimenti corrispondono deformazioni relativamente intense nelle vulcaniti, anche fino all'acquisizione di un debole clivaggio sui piani assiali, si riscontra invece una paragenesi

Contrariamente a quanto osservato per il metamorfismo polifasico del Gruppo di Voltri, il metamorfismo alpino nelle sequenze ofiolitiche di pertinenza ligure presenta un'unica fase principale, seguita o meno da condizioni diaforetiche limitatamente alle zone di fratturazione.

Nell'unità ofiolitica occidentale della zona Sestri-Voltaggio e nei termini equivalenti della falda di Montenotte le deformazioni penetrative, pur provocando in alcuni casi la trasposizione della foliazione nelle rocce sedimentarie e talvolta deformazioni marcate con acquisizione di scistosità di piano assiale in brecce e vulcaniti, hanno interessato in maniera assai superficiale le più compatte rocce gabbriche. Relitti paragenetici prealpini sono spesso conservati nelle metabasiti.

ad albite + pumpellyite + clorite con cui possono coesistere lawsonite, rarissima prehnite, e talvolta attinolute. I fillosilicati presenti in questa unità sembrano appartenere esclusivamente a illiti e cloriti.

MINERALE	PARAGENESI		
	1	2	3
Albite			
Na-clinopirosseno			
Na-clinoanfibolo			
Attinolute		---	---
Fe-epidoto			
Lawsonite			
Pumpellyite			
Prehnite		---	
Clorite			
Mica bianca	fengite ?	sericite	sericite
Stilpnomelano			---
Titanite			
Opachi			

Fig. 7. — Confronto tra le paragenesi metamorfiche alpine nelle unità ofiolitiche liguridi.

- 1) Metagabbri e metaferrogabbri, metadiabasi filoniani, metabrecce, metapillows e metacherts della falda di Montenotte e della zona Sestri-Voltaggio (Unità occidentale);
- 2) metapillows e metadiabasi filoniani della zona Sestri-Voltaggio (Unità orientale);
- 3) gabbri, diabasi filoniani, breccie ofiolitiche e pillows dell'Appennino settentrionale.

D - ELEMENTI DI MANTELLO LHERZOLITICO PERICONTINENTALE

Si tratta di lherzoliti a spinello e plagioclasio con tessiture e strutture tettoniche e molto subordinate rocce hasburgitiche e dunitiche, attraversate da piccole masse e filoni di gabbri; esse rappresenterebbero un mantello superiore riequilibrato superficialmente nelle prime fasi di impostazione del bacino oceanico e di cui viene ipotizzata una pertinenza insubrica (MESSIGA e PICCARDO, 1974; CHIESA et Al., 1975).

La serpentinizzazione è generalmente parziale ed è caratterizzata dal litotipo lizardite; gli effetti del metamorfismo alpino sembrano localizzati lungo direttrici tettoniche e possono portare ad una scistosità abbastanza marcata accompagnata dallo sviluppo di antigorite, diopside e minerali del gruppo delle humiti.

Considerazioni su campo di stabilità ed ambiente di formazione delle paragenesi metamorfiche alpine

A - MASSICCI CRISTALLINI E LORO COPERTURE PREMESOZOICHE

Il metamorfismo alpino, pur con una distribuzione non molto uniforme, ha interessato termini sia del basamento cristallino Brianzese che della copertura

premesozoica; le condizioni termodinamiche corrispondono al campo di coesistenza di pumpellyite e lawsonite \pm Fe-epidoto con anfibolo sodico \pm attinolite.

Sulla base dei dati sperimentali disponibili (NIRTSCH, 1971, 1973) si possono ipotizzare temperature inferiori ai 400° C e verosimilmente non eccedenti di molto i 250°-300° C, per pressioni almeno superiori ai 3 Kbs. Tali condizioni sembrerebbero indicare una situazione di moderata subduzione.

B - SEQUENZE DI PIATTAFORMA

Nelle sequenze di piattaforma brianzoni che, pur scollate dal loro basamento, mantengono ancora con questo rapporto di diretta sovrapposizione, l'unica associazione significativa dal punto di vista del metamorfismo sinora conosciuta è rappresentata dalla coesistenza di cloritoide con miche sericitiche ed illiti.

Benchè di non univoca interpretazione, tale associazione potrebbe essersi sviluppata in condizioni metamorfiche sostanzialmente simili a quelle che hanno interessato il substrato cristallino.

C - SEQUENZE OFIOLITICHE

a) *Unità piemontesi*

Le condizioni termodinamiche di formazione delle paragenesi eclogitiche nel Gruppo di Voltri sono state valutate, sulla base della distribuzione degli elementi in pirosseni e granati coesistenti, attorno a 10-11 Kbs di pressione per temperature di 430° \pm 50° C (ERNST, in stampa).

Una valutazione delle temperature a valori sensibilmente superiori ai 400° C sembra indicata, a queste pressioni, dalla stabilità di zoisite rispetto a lawsonite in rocce di adatta composizione chimica (metagabbri eclogitici). Anche la sostituzione di tremolite a diopside nei serpentinoscisti associati alle rocce eclogitiche risulterebbe favorita da temperature superiori ai 400° C (WINKLER, 1974).

L'ambiente termodinamico di questa prima fase metamorfica, che ha interessato sia la maggior parte dei complessi femici-ultrafemici che le sequenze calcescistose del Gruppo di Voltri, sembra caratterizzare condizioni molto spinte di subduzione.

La successiva evoluzione, attraverso fasi a glaucofane ed orneblenda barroisitica, verso facies di scisti verdi, sarebbe da attribuirsi ad una progressiva diminuzione delle pressioni senza che siano intervenuti sostanziali incrementi di temperatura. La locale persistenza di anfibolo sodico anche durante il metamorfismo a scisti verdi sembra tuttavia indicare che, almeno in alcune unità, le pressioni non siano scese a valori molto bassi.

Nell'unità calcescistosa Palmaro-Caffarella la coesistenza di lawsonite e clinozoisite \pm Fe-epidoto accanto ad albite, anfibolo e pirosseno sodico, sembra indicare condizioni assai prossime alle più alte temperature del campo di esistenza della

lawsonite stessa (NITSCH, 1971, 1973). Ciò è confermato dal contemporaneo sviluppo di spessartina negli scisti quarzitici, per la cui formazione sembrano necessarie temperature di almeno 400° C (Hsu, 1968). In base ai dati sperimentali la lawsonite risulta stabile a queste temperature solo per pressioni almeno superiori agli 8 Kbs (NITSCH, 1973).

Le condizioni metamorfiche nell'unità Palmaro-Caffarella indicherebbero perciò un ambiente di temperature e pressioni appena inferiori a quelle raggiunte dalle unità con paragenesi eclogitiche.

b) Unità liguridi

Nelle unità liguridi di più alta pressione, accanto a pirosseno ed anfibolo sodico, la lawsonite coesiste con pumpellyite e Fe-epidoto ma non con zoisite e clinozoisite. Sulla base dei dati sperimentali tali associazioni possono essere considerate stabili per temperature comprese tra i 250° e 350°-400° C (LIU, 1971; NITSCH, 1971), a pressioni di almeno 3 Kbs, ma verosimilmente assai più elevate per la presenza di pirosseno ed anfibolo sodici (NEWTON e SMITH, 1967; POPP e GILBERT, 1972; MARESCH, in stampa).

Tali valutazioni sono consistenti (FREY, 1969; CHATTERJEE, 1971) con la coesistenza di caolinite e paragonite nei metasedimenti associati.

L'unità ofiolitica occidentale della Sestri-Voltaggio avrebbe quindi raggiunto condizioni metamorfiche di alta pressione, per quanto l'intensità degli effetti deformativi, le temperature e forse le pressioni, sembrino sensibilmente attenuate rispetto a quelle delle unità del Gruppo di Voltri.

Le paragenesi metamorfiche dell'unità ofiolitica più orientale della zona Sestri-Voltaggio, in cui accanto a rara attinolute coesistono pumpellyite, lawsonite \pm prehnite, sembrano indicare una graduale transizione, per progressiva diminuzione delle pressioni, verso le condizioni metamorfiche a prehnite-pumpellyite che caratterizzano le ofioliti dell'Appennino settentrionale.

III PARTE

Interpretazione geodinamica

Con la constatazione dell'attuale sovrapposizione di associazioni litologiche provenienti da domini paleogeografici distinti attraverso un'evoluzione metamorfica indipendente sembra ormai risolta a favore degli alloctonisti l'annosa questione sull'autoctonia od alloctonia delle rocce affioranti nell'area del Gruppo di Voltri. Il più recente punto di vista può essere compendiato dalla seguente frase: « Nel Gruppo di Voltri si realizza uno dei più cospicui accavallamenti di litosfera oceanica su crosta continentale dell'arco alpino » (CHIESA et AL., 1975, p. 574).

In questa sintesi l'attuale assetto strutturale dell'area in esame è visto come la conseguenza della chiusura del bacino oceanico ligure-piemontese secondo i meccanismi postulati dalla teoria della tettonica a zolle già del resto applicati ad altri settori delle Alpi occidentali (G. V. DAL PIAZ, 1971; G. V. DAL PIAZ et AL., 1972); sarebbe cioè dovuto all'accavallamento sul margine continentale paleoeuropeo di sezioni di crosta e copertura oceanica europea ed, in minor misura, insubrica precedentemente sottoposte a condizioni di alta pressione e bassa temperatura, e quindi verosimilmente coinvolte in un processo di subduzione.

Nell'esposizione che segue viene modificato qualche dettaglio rispetto alla sintesi citata per tener conto di alcuni dati di fatto successivamente raccolti.

CHIUSURA DEL BACINO OCEANICO

Riteniamo che la chiusura del bacino oceanico con conseguente raccorciamento crostale e sottoscorrimento di crosta oceanica sia il meccanismo responsabile del ravvicinamento di associazioni litologiche di diversa pertinenza paleogeografica e crostale; alcune di esse mostrano d'aver subito, già in precedenza, differenti processi tettonico-metamorfici: deformazioni penetrative sottocrostaali per le ultramafiti, metamorfismo premesozoico d'alta temperatura per le sezioni di crosta continentale, metamorfismo oceanico per le sezioni ofiolitiche.

Postuliamo che durante tale chiusura si realizzi una frammentazione a grande scala delle sezioni crostaali del margine europeo ed, in minor misura, del margine insubrico affacciato alla zona di subduzione; essa porta all'individuazione precoce di sezioni di crosta oceanica in seguito inserite ed affossate dai processi di subduzione entro la loro precedente copertura. Tale postulato è giustificato dalle differenti paragenesi mineralogiche ascrivibili a tali eventi presenti nelle varie unità ofiolitiche ora affioranti; tali paragenesi indicano che esse furono sottoposte a differenti condizioni bariche, cioè subdotte a differenti profondità.

Così ad esempio l'unità Palmaro-Caffarella ha subito un metamorfismo meno spinto rispetto alle altre unità ofiolitiche del Gruppo di Voltri, od almeno caratterizzato da temperature meno elevate, l'unità Varazze sembra invece essere completamente sfuggita ad una subduzione significativa.

La crosta oceanica europea è tuttavia evoluta, nel suo insieme, verso condizioni di subduzione paragonabili con quelle di maggior profondità riconosciute su rocce di analogo ambiente metamorfico. Per contro le condizioni di subduzione che hanno interessato gli elementi di crosta continentale europea affioranti in questo settore, e presumibilmente termini di piattaforma mesozoica brianzonese più o meno scolati dal loro basamento, risultano relativamente modeste se confrontate con quelle verificate in alcuni settori delle Alpi Occidentali (DESMONS, 1974; COMPAGNONI et AL., 1975) e della Corsica alpina (GRUPPO OFIOLITI, sottogruppo Metamorfismo, in studio).

Come accennato, in concomitanza coi processi di subduzione della crosta oceanica europea, anche i settori di crosta oceanica del margine insubrico (Zona Sestri-Voltaggio e Falda di Montenotte) sono stati coinvolti nel processo di sprofondamento, raggiungendo condizioni bariche non molto lontane da quelle degli elementi subdotti.

L'assenza di marcate deformazioni penetrative, pur in presenza di ripiegamento, potrebbe indicare che il processo di sprofondamento di questi terreni presentasse qualche analogia con un meccanismo di seppellimento piuttosto che di vera e propria subduzione.

Si realizza in tal modo una prima embricazione tra diverse unità strutturali che prelude al definitivo appilamento realizzatosi con il concorso delle fasi tetto-genetiche susseguenti.

A tale episodio imputiamo l'inserimento e il rimescolamento in un'unica unità metasedimentaria (Unità Voltri-Rossiglione) di sequenze litologiche costituenti la copertura di zone paleogeografiche distinte. Tale situazione, prospettata da CHIESA et AL. (1975) ed ulteriormente analizzata da CHIESA et AL. (1976) esclude, a nostro avviso, che possa essere accettata una delle varie e contrastanti proposte reperibili in letteratura concernenti la ricostruzione stratigrafica generale delle sequenze costituenti l'unità Voltri-Rossiglione (CORTEMIGLIA, 1963; GELATI & PASQUARÉ, 1970; SERVIZIO GEOL. IT., 1971).

Le ofioliti alpine si sarebbero originate durante la fase di apertura di uno stesso bacino (bacino ligure-piemontese) ed avrebbero assunto la loro differente pertinenza al momento dell'inversione del regime dinamico e del conseguente svilupparsi del piano di subduzione; questo può quindi essere ritenuto l'elemento discriminante della differente pertinenza, piemontese e ligure, delle ofioliti alpine. Il margine subdottato, costituito dalla crosta oceanica connessa al margine europeo, venne sottoposto a fasi di ripiegamento con energiche deformazioni penetrative e dette luogo alle ofioliti piemontesi; il margine affacciato, seppur trascinato in ambienti d'alta pressione lungo un ristretto settore, venne prevalentemente sottoposto a metamorfismo di basso grado durante le fasi plicative che ne preludono ed accompagnano lo scagliamento verso oriente e dette invece luogo alle ofioliti liguri.

La fase di alta pressione, ascrivibile al Cretacico superiore per analogia con quanto stabilito in altri settori delle Alpi Occidentali (80-90 m.a. secondo DAL PIAZ et Al., 1972), è comunemente nota in letteratura come « fase orogenetica coalpina ».

COLLISIONE CONTINENTALE E FASI TETTOGENETICHE SUCCESSIVE

La definitiva chiusura del bacino oceanico con conseguente collisione continentale attivò i vari elementi strutturali già individuati segnando il passaggio dalla precedente embricazione ad un vero e proprio appilamento che acquista localmente le caratteristiche di scagliamenti con mutue implicazioni tra le varie unità o parti di esse. La messa in posto dell'unità ultramafitica (Unità Erro e Tobbio), la cui posizione originaria era, a nostro avviso, ad est della traccia del piano di subduzione lungo e/o al di sotto del margine della placca continentale insubrica ⁽⁵⁾, si realizza durante la definitiva chiusura del bacino oceanico per accavallamento del margine della zolla insubrica sul margine contrapposto dalla zolla europea.

Le unità lherzolitiche sono sovrapposte alle varie unità ofiolitiche senza partecipare agli scagliamenti e alle mutue implicazioni che contraddistinguono queste ultime.

Degno di particolare menzione è il fatto che in questo tratto della catena alpina il metamorfismo in facies Scisti Verdi sembra precedere, anzichè seguire, la configurazione dei tratti fondamentali dell'edificio strutturale che a sua volta precede l'impostazione delle sequenze detritiche oligo-mioceniche. Esiste infatti un netto salto di metamorfismo tra basamento cristallino e sovrastanti termini ofiolitici; inoltre il sovrascorrimento dei secondi sul primo, dove è riconoscibile, è caratterizzato dalla presenza di fasce milonitiche evidentemente post-metamorfiche.

Anche nelle diverse unità ofiolitiche sovrapposte la distribuzione e lo sviluppo delle fasi a Scisti Verdi presentano caratteristiche particolari per ogni unità e senza alcun rapporto con le relazioni di sovrapposizione. Inoltre si ha una brusca interruzione dello sviluppo del metamorfismo a Scisti Verdi in corrispondenza del contatto con la falda di Montenotte.

La sovrapposizione delle falde di provenienza insubrica sulle unità ofiolitiche piemontesi, e di queste ultime sul basamento cristallino, risultano conseguentemente successive almeno alle principali fasi di sviluppo del metamorfismo. Queste ultime dovevano comunque essersi concluse prima dell'Oligocene inferiore, infatti in depositi sedimentari di questa età si rinvencono rocce che hanno già subito l'intera evoluzione metamorfica. Quindi, se, come prospettato sopra, la fase di raccorciamento crostale responsabile dell'appilamento delle falde corrisponde a quella verificatasi ad esempio nelle Alpi Occidentali ed in Calabria, la fase metamorfica lepontina manche-

⁽⁵⁾ Tale collocazione ci sembra suffragata dall'assenza in esse di strutture tipiche della evoluzione tettonica-metamorfica coalpina e da altre caratteristiche petrografiche illustrate in MESSIGA & PICCARDO (1974); PICCARDO & RICCIO (1975).

rebbe o avrebbe almeno avuto effetti poco riconoscibili, ed il metamorfismo a Scisti Verdi nel Gruppo di Voltri andrebbe riferito ad una fase precedente durante le prime fasi di risalita dei materiali subdotti.

Contemporaneamente ai movimenti tangenziali descritti lungo dislocazioni verticali o subverticali possono essere avvenuti movimenti di trascorrenza, con affiancamenti secondo nuove posizioni, di alcune parti dell'edificio strutturale rispetto alle altre. Tali trascorrenze investirono, secondo CHIESA et AL. (1975, tav. II, figg. 4, 5 e 6), un'area molto più estesa di quella in esame (dall'area Brianzonese ligure al Liguride appenninico) e portarono all'affiancamento successivo, nell'attuale disposizione est-ovest, di frammenti crostali in precedenza ubicati a diverse paleolatitudini lungo i margini continentali in collisione.

Pensiamo che l'evoluzione del sistema in orogene sia avvenuta durante questa fase che identifichiamo nella « fase principale alpina » (Eocene); contemporanei o immediatamente posteriori sono infatti i primi sedimenti clastici che denunciano l'avvenuta emersione e l'inizio dello smantellamento dell'edificio strutturale.

La ripresa di traslazioni essenzialmente suborizzontali è tentativamente ascrivibile a una tettonica di tipo gravitativo, tale è stato il meccanismo proposto da PASQUARÉ (1968) per giustificare la sovrapposizione della falda di Montenotte ai sedimenti oligocenici del bacino di S. Giustina ed in seguito da FORCELLA (1976) per la sovrapposizione dell'Unità Erro ai conglomerati affioranti nella zona di M. Calvo (6). Pensiamo che a tali scivolamenti debbano la loro attuale posizione anche le ofioliti del margine occidentale del Gruppo di Voltri visibilmente sovrapposte a formazioni sedimentarie nella zona di Sassello.

Anche la sovrapposizione della Falda di Montenotte all'Unità Erro lungo il margine occidentale del Gruppo di Voltri potrebbe essere il risultato di tale fase (7) piuttosto che eredità della fase principale; si dovrebbe altrimenti ricorrere ad una disposizione paleogeografica delle zone marginali insubriche piuttosto artificiosa.

Le dislocazioni normali con direzione est-ovest suggeriscono infine l'instaurarsi di movimenti di subsidenza in un sistema ormai bloccato, essi possono essere messi in relazione con i movimenti distensivi che propiziano la formazione del bacino padano e ligure che, iniziati nell'Oligocene, sono documentati almeno fino al Pliocene.

BIBLIOGRAFIA

- BOCCHIO R., MOTTANA A. (1974) - *Le eclogiti anfiboliche in serpentina di Vara (Gruppo di Voltri)*. Rend. S.I.M.P., 30, 855-891.
- CHATTERJEE N.D. (1971) - *Phase equilibria in the alpine metamorphic rocks of the environs of the Dora-Maira Massif, Western Italian Alps*. N. Lab. Min., 114, 181-245.

(6) In essi non sono state reperite faune di sorta, la loro età si può ascrivere all'Oligocene se correlabili con la Formazione di Molare come proposto nel F. « Genova », II ed..

(7) Se la datazione trovata per una di queste unità rimobilizzate (PASQUARÉ, 1968) è estensibile anche alle altre, tale episodio è ascrivibile all'Oligocene superiore.

- CHIESA S., CORTESOGNO L., FORCELLA F., GALLI M., MESSIGA B., PASQUARÉ G., PEDEMONTÉ G.M., PICCARDO G.B., ROSSI P.M. (1975) - *Assetto strutturale ed interpretazione geodinamica del Gruppo di Voltri*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 555-581.
- CHIESA S., CORTESOGNO L., LUCCHETTI G. (1976) - *Gli scisti quarziticci del Gruppo di Voltri: caratteri stratigrafici, petrografici e mineralogici*. Ofoliti, 1, 2, 199-218.
- CHIESA S., CORTESOGNO L., LUCCHETTI G. (1976) - *Metasedimenti quarziticci di differente pertinenza paleogeografica nel Gruppo di Voltri*. Boll. Soc. Geol. It., in stampa.
- CIMMINO F., CORTESOGNO L., LUCCHETTI G. (1974) - *Un anfibolo fortemente ferrifero in rocce eclogitiche del complesso ofiolifero del Gruppo di Voltri*. Ann. Mus. Civ. St. Nat., Genova, 80, 81-91.
- CIMMINO F., CORTESOGNO L., LUCCHETTI G. (1975) - *Caratteri mineralogici e significato genetico di differenti anfiboli verde-azzurri di rocce eclogitiche del Gruppo di Voltri*. Per. Min., in stampa.
- CIMMINO F., CORTESOGNO L., LUCCHETTI G. (1976) - *Orneblende nelle anfiboliti dei massicci cristallini liguri*. Rend. SIMP, in stampa.
- COMPAGNONI R., DAL PIAZ G.V., HUNZIKER J.C., GOSSO G., LOMBARDO B., WILLIAMS P.F. (1975) - *The Sesia-Lanzo zone, a slice of continental crust with alpine high pressure-low temperature assemblages in the western Italian Alps*. Italy-USA Coop. Project, int. report. 2.
- CORTEMIGLIA G.C. (1963) - *La serie dei calcescisti nel Gruppo di Voltri*. Atti Ist. Geol. Univ. Genova, 1.
- CORTESOGNO L., LUCCHETTI G., PENCO A.M. (1974) - *Associazione a laumontite, prehnite e apofillite in vene nelle anfiboliti di Ellera. (Massicci cristallini della Liguria occidentale)*. Ann. Mus. Civ. St. Nat. Genova, 80, 58-80.
- CORTESOGNO L., MESSIGA B. (1974) - *Pirososno sodico, lawsonite e quarzo entro i metagabbri della falda di Montenotte. (Naso di Gatto, Savona)*. Ann. Mus. Civ. St. Nat. Genova, 80, 162-172.
- CORTESOGNO L., GALLI M., MESSIGA B., PEDEMONTÉ G.M., PICCARDO G.B. (1975) - *Nota introduttiva alla petrografia delle rocce eclogitiche del Gruppo di Voltri (Liguria occidentale)*. Ann. Mus. Civ. St. Nat. Genova, 80, 325-343.
- CORTESOGNO L., GIANELLI G., PICCARDO G.B. (1975) - *Preorogenic metamorphic and tectonic evolution of the ophiolitic mafic rocks (Northern Apennine and Tuscany)*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 291-327.
- CORTESOGNO L., LUCCHETTI G., PENCO A.M. (1975) - *Associazioni a zeoliti nel Gruppo di Voltri: caratteristiche mineralogiche e significato genetico*. Rend. S.I.M.P., 31, 2, 673-710.
- CORTESOGNO L., MESSIGA B., PEDEMONTÉ G.M. (1975) - *Caratteri del metamorfismo alpino su rocce del cristallino del Savonese sottostanti la falda di Montenotte (Savona)*. Boll. Soc. Geol. It., in stampa.
- CORTESOGNO L., ERNST W.G., GALLI M., MESSIGA B., PEDEMONTÉ G.M., PICCARDO G.B. (1976) - *Chemical petrology of eclogitic lenses in serpentinite, Gruppo di Voltri, Ligurian Alps*. Journ. Geology, in stampa.
- DAL PIAZ G.V. (1971) - *Alcune considerazioni sulla genesi delle ofoliti piemontesi e dei giacimenti ad esse associati*. Boll. Ass. Mineraria Subalpina, 8, 365-388.
- DAL PIAZ G.V., HUNZIKER J.C., MARTINOTTI G. (1972) - *La zona Sesia-Lanzo e l'evoluzione tettonico-metamorfica delle Alpi nordoccidentali interne*. Mem. Soc. Geol. It., 11.
- DEBELMAS J., LEMOINE M. (1970) - *The western Alps: palaeogeography and structure*. Earth Sci. Rev., 6, 221-256.
- DESMONS J. (1974) - *Etudes minéralogiques et pétrologiques sur les métamorphism d'âge alpin dans les Alpes françaises*. These, Grenoble, p. 489.
- ERNST W.C. (1976) - *Mineral chemistry of eclogites and related rocks from the Voltri Group, western Italy*. In stampa.

- FORCELLA F., MOTTANA A., PASQUARÉ G. (1973) - *Il massiccio cristallino interno di Valosio (Gruppo di Voltri, provincia di Alessandria)*. Mem. Soc. Geol. It., 12.
- FORCELLA F. (1976) - *Avanzamento delle ricerche sull'assetto strutturale ed interpretazione geodinamica del Gruppo di Voltri*. Ofioliti, 1, 2, 243-254.
- FREY M. (1969) - *A mixed-layer paragonite/phengite of low-grade metamorphic origin*. Contr. Min. Petr., 24, 63-65.
- GELATI R., PASQUARÉ G. (1970) - *Interpretazione geologica del limite Alpi-Appennini in Liguria*. Riv. It. Paleont. Strat., 76, 1-65.
- GNACCOLINI M. (1974) - *Osservazioni sedimentologiche sui conglomerati oligocenici del settore meridionale del Bacino Terziario Piemontese*. Riv. It. Paleont. Strat., 80, 85-100.
- HSU L. C. (1968) - *Selected phase relationships in the system Al-Mn-Fe-Si-O-H: A model for garnet equilibria*. Contr. Min. Petr., 9, 40-83.
- ISSEL A. (1892) - *Liguria geologica e preistorica*. Ed. Donath, Genova.
- LIBORIO G., MOTTANA A., PASQUARÉ G., ROSSI P. M. (1970) - *Paragonite come componente essenziale dei calcescisti nel Gruppo di Voltri*. Rend. S.I.M.P., 26.
- LIU J. G. (1971) - *P-T stabilities of laumontite, lawsonite, wairakite, related minerals in the system $CaAl_2Si_2O_7-SiO_2-H_2O$* . J. Petr., 12, 372-411.
- MARESCH W. V. (1976) - *Experimental studies on glaucophane: an analysis of present knowledge*. Tectonophysics, (in stampa).
- MAZZUCOTELLI A., MESSIGA B., PICCARDO G. B. (1976) - *Caratteristiche petrografiche e geochemiche delle prasinitì dell'unità Voltri-Rossiglione*. Ofioliti, 1, 2, 255-278.
- MESSIGA B., PICCARDO G. B. (1974) - *Rilevamento geo-petrografico e strutturale del Gruppo di Voltri. Il settore nord-occidentale: la zona tra M. Tacco e M. Orditano*. Mem. Soc. Geol. It., in stampa.
- NEWTON R. C., SMITH J. V. (1967) - *Investigations concerning the breakdown of albite and depth in the earth*. J. Geol., 75, 268-286.
- NITSCH K. H. (1971) - *Stabilitätsbeziehungen von Prehnit- und Pumpellytehaltigen Paragenesen*. Contr. Min. Petr., 30, 240-260.
- NITSCH K. H. (1973) - *Neue Erkenntnisse zur Stabilität von lawsonit*. Fortschr. Min., 51, 1, 34-35.
- PASQUARÉ G. (1961) - *Rapporti tettonici tra la Serie di Montenotte e il Massiccio cristallino savonese*. Boll. Serv. Geol. It., 81.
- PASQUARÉ G. (1968) - *La « Serie di Montenotte »: un elemento alloctono sovrapposto al bacino oligocenico di Santa Giustina (Alpi Liguri)*. Riv. It. Paleont. Strat., 74, 1257-1274.
- PICCARDO G. B., RICCIO L. (1975) - *I complessi ofiolitici dell'isola di Terranova (Canada): litologia e stratigrafia. Correlazioni con le Ofioliti liguri*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 693-724.
- PICCARDO G. B. (1976) - *Petrologia del massiccio lherzolitico di Suvero (La Spezia)*. Ofioliti, 1, 279-317.
- POPP R. K., GILBERT M. C. (1972) - *Stability of acmite, jadeite, piroxene at low pressure*. Am. Min., 57, 1210-1231.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1971) - *Carta Geologica d'Italia, F. 82 « Genova » (II ed.). Scala 1:100.000, e relative Note illustrative*. Roma.
- VANOSSI M. (1971) - *Contributi alla conoscenza delle unità stratigrafico-strutturali del Brianzonese ligure s.l.: I - Le strutture tettoniche nella zona tra Bardinetto e Noli. II - L'unità di C. Tuberto. III - L'unità del Castellermo. IV - Messa a punto generale*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, 21, 37-66 (I), 75-88 (II), 89-108 (III), 109-114 (IV).
- VANOSSI M. (1971) - *Studio sedimentologico della Formazione di Ollano (Carbonifero medio-superiore della Liguria Occidentale)*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, 21, 3-36.
- VANOSSI M. (1971) - *Il Carbonifero di Viozene (Alpi Marittime)*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, 21, 67-74.
- WINKLER H. G. F. (1974) - *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer-Verlag-Berlin-Heidelberg-New York.