

LUCIANO CORTESOGNO *, GABRIELLA LUCCHETTI **, ANNA MARIA PENCO **

LE ATTUALI CONOSCENZE SULLE ZEOLITI IN LIGURIA:
DISTRIBUZIONE, SIGNIFICATO GENETICO
E MINERALI ASSOCIATI ***

RIASSUNTO. — Le associazioni a zeoliti sinora conosciute in Liguria compaiono sia in sequenze ofiolitiche mesozoiche che in terreni premesozoici e sono il prodotto di trasformazioni dovute alle fasi retrograde di più bassa termalità del metamorfismo alpino.

Lo sviluppo di queste zeoliti è legato alla circolazione di fluidi in condizioni di tipo idrotermale che operano energetiche dissoluzioni e rideposizioni particolarmente lungo superfici di discontinuità. Queste sono dovute a fasi di deformazioni rigide tardo-orogeniche ed in qualche caso, nel Gruppo di Voltri, possono essere datate tra l'oligocene inferiore e l'oligocene medio.

Vengono discusse la natura ed il significato delle diverse associazioni a zeoliti, anche in considerazione dell'evoluzione tettonico-metamorfica dei terreni in cui si sono sviluppate.

Vengono inoltre ricordati alcuni caratteri morfologici delle zeoliti in fratture.

ABSTRACT. — Zeolitic assemblages actually know in Liguria are present in mesozoic ophiolitic sequences as well in premesozoic terrains.

Their genesis is related to alteration during retrograde, lower temperature, phases of the Alpine metamorphism. Development of zeolites is promoted by percolating, hydrothermal-like, brines which operate strong dissolutions and precipitations mostly in tectonic joins.

The fracturation phases are due to late orogenic tectonism and sometimes, in the Voltri Group, they could be dated to lower-middle oligocene.

The different zeolitic assemblages and their significance are discussed mainly in connection with the tectonic-metamorphic evolution of terrains in which they are developed.

Lastly some morphological features of zeolites in cracks are listed.

Le associazioni a zeoliti sino ad oggi conosciute in Liguria compaiono in rocce appartenenti al basamento cristallino premesozoico brianzone (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1974) e nei complessi ofiolitiferi sia del Gruppo di Voltri (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1975, 1976; LUCCHETTI, 1976 a; PELLOUX, 1947) che della Liguria orientale (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1973; ISSEL, 1878; LUCCHETTI, 1976 b).

Le zeoliti costituiscono mineralizzazioni sviluppate prevalentemente in vene e fratture; i fenomeni di trasformazione e riequilibrio che, all'interno della roccia, accompagnano lo sviluppo di tali mineralizzazioni risultano generalmente parziali e spazialmente dipendenti dalla presenza di microfessurazioni.

* Istituto di Petrografia - Università di Genova.

** Istituto di Mineralogia - Università di Genova.

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

I processi che portano alla genesi delle zeoliti sono connessi con fasi di deformazioni rigide che cronologicamente sono da attribuirsi a fasi tettoniche tardive dell'orogenesi alpina.

Esistono tuttavia differenze piuttosto sensibili nella natura delle diverse associazioni a zeoliti, in funzione non solo delle caratteristiche chimiche delle rocce, ma anche di differenti condizioni ambientali in relazione all'evoluzione tettonico-metamorfica dei terreni in cui si sono sviluppate.

La valutazione delle condizioni di ambiente chimico-fisico relativo alla genesi delle diverse associazioni a zeoliti è basata su dati sperimentali esistenti (HESS, 1966; HINRICHSEN e SHURMANN, 1969; HOLLER et AL., 1974; KEITH et AL., 1968; LANDIS e ROGERS, 1968; LIOU, 1968, 1970, 1971 a, 1971 b, 1971 c, 1971 d; NITSCH, 1971; STRENS, 1968; THOMPSON, 1971; etc.), sulla distribuzione di zeoliti in trends metamorfici naturali (GHENT e MILLER, 1974; OTALORA, 1964; SEKI et AL., 1969; SEKI et AL., 1971; SMITH, 1969; etc.) e, soprattutto, in campi geotermici attivi (MUFFLER e WHITE, 1969; SEKI, 1968; SIGVALDASON, 1962; STEINER, 1953, 1963, 1967; etc.) e tenendo inoltre conto delle considerazioni esposte in MIYASHIRO e SHIDO (1970).

Associazioni a zeoliti nei massicci cristallini brianzonesi

I massicci cristallini liguri affiorano nell'area compresa tra Albisola, Loano e Garessio. Essi sono costituiti da gneiss e anfiboliti prewestfaliani e da rocce granitiche, che assieme alle loro coperture permocarbonifere hanno subito un metamorfismo alpino con caratteri di bassa temperatura e pressioni relativamente elevate (CORTESOGNO, MESSIGA, PEDEMONTE, 1975) indicati da paragenesi ad albite + clorite + + epidoto ± anfiboli sodici ± attinolite ± pumpellyite ± stilpnomelano e rara comparsa di lawsonite.

Alle fasi tettoniche compressive che accompagnano questo episodio metamorfico si sovrappongono fasi di intensa fratturazione con carattere prevalentemente distensivo durante le quali si ha lo sviluppo delle associazioni a zeoliti.

Tali mineralizzazioni sono ben sviluppate soprattutto in rocce anfibolitiche (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1974) a chimismo basaltico (CIMMINO, CORTESOGNO, LUCCHETTI, 1976) e sono caratterizzate dall'associazione di laumontite + prehnite + + epidoto ferrifero + apofillite + calcite + albite + quarzo + pirite + mica sericitica + minerali cloritici non meglio determinati. Lo sviluppo di queste associazioni è accompagnato da trasformazioni piuttosto diffuse soprattutto a spese della componente plagioclasica della roccia e dei relativi prodotti di trasformazione.

Il passaggio dalle condizioni metamorfiche preesistenti alla fase a zeoliti sembra indicare una brusca diminuzione delle pressioni che da valori certamente superiori ai 3 Kbs, necessari per la stabilità di lawsonite + anfibolo sodico (LIOU, 1971 b), sono scese a valori non eccedenti di molto i 2 Kbs e presumibilmente più bassi, mentre la variazione delle temperature potrebbe essere contenuta entro un intervallo

di valori valutabili approssimativamente tra 300° C, suggeriti dalla coesistenza di pumpellyite + attinolite (NITSCH, 1971), e 250° C per la coesistenza di laumontite + prehnite + epidoto + cloriti (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1974; LIU, 1970, 1971 b; KEITH et AL., 1968; MUFFLER e WHITE, 1969; SEKI, 1966; SIGVALDASON, 1962; STEINER, 1967).

La persistenza e la ricristallizzazione attraverso più fasi successive di epidoti, clorite, albite e sericite sembrano indicare una continuità del processo evolutivo retrogrado tra metamorfismo di relativamente alta pressione e fase a zeoliti.

Associazioni a zeoliti nel Gruppo di Voltri

Il Gruppo di Voltri, compreso tra il massiccio cristallino del Savonese e la linea Sestri-Voltaggio, è costituito da unità serpentinoscistose con intercalazioni di metagabbri ed eclogiti, da unità calcescistose con intercalazioni di prasiniti e lenti di metagabbri e da unità lherzolitiche (CHIESA et AL., 1975).

— Le associazioni a zeoliti sono piuttosto diffuse nelle metabasiti intercalate a serpentiniti scistose delle unità Beigua, S. Luca-Colma, Ponzema, in cui è stata riconosciuta una evoluzione polimetamorfica alpina da paragenesi eclogitiche a scisti verdi (CHIESA et AL., 1975; CORTESOGNO et AL., 1975).

Tali mineralizzazioni, costituite da thomsonite, natrolite, chabasite, scarsa phillipsite e più raramente adularia, sono diffuse sia in eclogiti che in metagabbri (Acquabianca, Campoligure, Rossiglione, Masone), anche se non raggiungono in generale manifestazioni molto vistose. Queste associazioni a zeoliti, che risultano le più diffuse nel Gruppo di Voltri, in particolare per la presenza di phillipsite sembrano compatibili con le temperature più basse di formazione delle zeoliti metamorfiche in accordo anche con l'assenza di prehnite.

Mentre tali associazioni risultano molto omogenee in larga parte del Gruppo di Voltri, nel settore sud-orientale (Val Branega, Val Cerusa) in situazioni analoghe compaiono prehnite e associazioni ad analcime, natrolite, thomsonite, chabasite, apofillite e calcite probabilmente coesistenti.

La frequenza della natrolite indica un deficit in silice che sembra legato all'asporto in soluzione di tale elemento piuttosto che all'originario chimismo della roccia madre.

— Il massimo di intensità e di diffusione dei processi che portano alle mineralizzazioni a zeoliti è localizzato, nel Gruppo di Voltri, in corrispondenza dei piani di sovrascorrimento dell'unità lherzolitica dell'Erro sulle unità metamorfiche. In alcuni affioramenti è stato possibile riscontrare la sovrapposizione di più generazioni di associazioni a zeoliti che sembrano indicare condizioni di termalità decrescente (Rio Pian del Foco, Capanne di Marcarolo) (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1975, 1976).

Lo sviluppo di prehnite, scolecite, analcime, clorite, celadonite e carbonati, accompagnato da profonda trasformazione delle precedenti paragenesi, sembra com-

patibile con temperature valutabili attorno ai 200°-250° C. La trasformazione di albite in analcime a temperature considerate eccedenti i 200° C può essere in accordo con i processi di desilicizzazione operati sulla roccia dalle soluzioni in questa fase.

Successivamente si ha deposizione nelle fratture di scolecite, mesolite, natrolite, thomsonite, chabasite, raramente analcime, assieme a prehnite, tobermorite, celadonite e smectiti; sporadicamente possono comparire apofillite, opale, allofane e carbonati.

Le condizioni di più bassa termalità, verosimilmente non eccedenti i 100°-150° C, sono infine caratterizzate dalla presenza di chabasite, gismondite e phillipsite; a queste possono associarsi analcime, opale, allofane, saponite e carbonati.

Sulla base di considerazioni geologico-strutturali le condizioni bariche in cui si sarebbero sviluppate queste mineralizzazioni sono state considerate molto modeste (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1975); questa osservazione, oltre a poter forse spiegare la totale assenza di heulandite, è confermata dalla comparsa di opale al decrescere delle temperature. Questa fase idrata della silice è stata infatti segnalata soltanto in condizioni di bassa temperatura in trends con gradienti geotermici relativamente elevati (UTADA, 1965; SEKI et AL., 1969).

La concentrazione in soluzione della silice durante queste fasi di cristallizzazione ha subito variazioni marcate per la comparsa, in diversi momenti, di natrolite, per cui sono necessarie condizioni sottosature, e di opale, che richiede concentrazioni della silice eccezionalmente elevate.

Si deve ancora ricordare che processi di mineralizzazione da parte di acque termali nelle brecce di Costa Cravara, collegati ai fenomeni sopra citati, hanno permesso di valutarne l'età oligocenica inferiore-media (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1975).

— Interessanti mineralizzazioni compaiono in grandi faglie a direzione SW-NE che coinvolgono brandelli di materiali appartenenti sia all'unità del Beigua che alla falda dell'Erro (Badia di Tiglieto). Grosse cavità presenti nei materiali cataclastici sono mineralizzate in successione a pectolite, calcite, Na-chabasite ed infine ad aragonite in fibre flessibili di aspetto asbestoide; meno frequenti sono vene in cui si ha deposizione di albite e successivamente analcime. La natrolite compare molto diffusamente nelle microfratture diffondendosi anche a qualche distanza nelle masse lherzolitiche della falda dell'Erro.

— Nelle unità calcescistose le zeoliti sono state sinora riscontrate soltanto nell'unità Palmaro-Caffarella, dove nei calcescisti sono intercalate metabasiti con paragenesi di alta pressione e bassa temperatura a lawsonite ed anfibolo sodico, solo parzialmente obliterate dalla sovrapposizione di un blando metamorfismo a scisti verdi. In rocce milonitiche al contatto tra metabasiti e calcescisti lungo il torrente Varenna sono state segnalate mineralizzazioni a stilbite + chabasite + calcite (LUCCHETTI, 1976 a; PELLOUX, 1947), compatibili con condizioni di temperatura tra le più basse nell'ambito delle associazioni a zeoliti.

Associazioni a zeoliti nelle sequenze ofiolitiche di pertinenza liguride

Le rocce ofiolitiche di pertinenza liguride affiorano, verso ovest, nelle unità che costituiscono la zona Sestri-Voltaggio e la falda di Montenotte, e, ad est, nelle unità delle liguridi di transizione e delle liguridi esterne (BRAGA et AL., 1972).

Nella zona Sestri-Voltaggio e falda di Montenotte, dove le unità ofiolitiche presentano in diversi elementi tettonici caratteri metamorfici tipici dell'alta pressione con associazioni a lawsonite, pumpellyite, anfibolo sodico ed egirina, oppure condizioni di bassa temperatura e pressioni mediamente elevate con paragenesi a lawsonite, pumpellyite \pm prehnite, non è stata finora riscontrata la presenza di una fase retrograda a zeoliti.

Le ofioliti della Liguria orientale, costituite da serpentiniti lizarditiche, gabbri e diabasi, compaiono in posizione normale alla base delle loro coperture sedimentarie (breccie ofiolitiche, diaspri, calcari a Calpionella, argilloscisti a palombini) oppure in olistoliti ed eventualmente olistostromi intercalati in livelli superiori, soprattutto nelle liguridi esterne.

Le sequenze ofiolitiche presentano generalmente un metamorfismo a prehnite-pumpellyite (GALLI e CORTESOGNO, 1970; CORTESOGNO e PEDEMONTE in GALLI et AL., 1972) che ha accompagnato le fasi plicative dell'orogenesi alpina.

Le associazioni a zeoliti si sono sviluppate in condizioni retrograde durante una fase tettonica prevalentemente per faglie; sono più frequenti nelle masse basiche, in particolare lungo contatti tettonici, od al contatto tra masse basiche e serpentiniti, e sono spesso collegate a manifestazioni cuprifere. Assai più raramente si riscontrano zeoliti in fratture nei diaspri (LUCCHETTI, 1976 b).

Le mineralizzazioni comprendono frequentemente chabasite, thomsonite, natrolite e più raramente heulandite; a queste possono associarsi pistacite, prehnite, datolite, adularia, calcopirite e pirite.

ISSEL (1878) ha segnalato la presenza di laumontite accanto a calcopirite e pistacite presso Bargonasco. Tuttavia l'identificazione della laumontite appare dubbia ed essa non è stata da noi ritrovata in questa località.

Nella zona di Levante sono state particolarmente studiate (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1973) mineralizzazioni a zeoliti in cui è stato possibile riconoscere il succedersi di due fasi a termalità decrescente: nella prima si ha coesistenza di prehnite, pumpellyite, chabasite, scolecite, natrolite, albite e pirite; nella seconda cristallizzano chabasite e stilbite.

Piuttosto interessante è un'associazione a zeoliti riscontrata nelle antiche miniere di rame di Campegli, dove abbondanti mineralizzazioni a pirite e calcopirite sono associate a chabasite, stilbite, heulandite ricca in stronzio, prehnite, pistacite, stronzianite, quarzo e calcite.

Associazioni a zeoliti sono meno frequenti nelle ofioliti presenti in olistoliti, benchè possano essere localmente anche abbondanti in olistoliti di maggiori dimensioni, come nell'affioramento del M. Dragnone dove, in un gabbro olivinicoprofon-

damente trasformato, compagno chabasite, natrolite, phillipsite, analcime in associazione con prehnite, pistacite, adularia, ialofane, datolite e clorite.

L'unico ritrovamento di zeoliti al di fuori delle rocce basiche è stato segnalato nei diaspri della Val Graveglia, dove possono comparire mineralizzazioni a quarzo, phillipsite barifera (LUCCHETTI, 1976 *b*), kutnahorite e/o adularia.

Durante la fase a prehnite-pumpellyite le condizioni termodinamiche sono valutabili attorno a 300° C e a 2-3 Kbs. Il passaggio alle fasi a zeoliti appare piuttosto graduale soprattutto per la persistenza di prehnite, epidoto pistacitico ed eccezionalmente pumpellyite accanto alle prime fasi a zeoliti. L'associazione di prehnite e zeoliti è compatibile con temperature oscillanti attorno ai 200° C; la stabilità, in coesistenza con tale associazione, di albite rispetto ad analcime, indica valori superiori. Per contro la coesistenza di heulandite con prehnite sembra compatibile con temperature di poco inferiori ai 200° C, suggerendo inoltre un regime barico relativamente elevato. La presenza, accanto alle zeoliti, di fasi a densità elevata come epidoto e pumpellyite potrebbe essere favorita, oltre che da pressioni relativamente elevate, anche da condizioni di $P_{H_2O} < P_{tot.}$, specie in fratture beanti e/o per soluzioni ricche in CO₂.

Le fasi a zeoliti più tardive, corrispondenti ad associazioni a stilbite e chabasite, possono essere considerate stabili per temperature dell'ordine dei 100°-150° C.

Considerazioni generali

In Liguria le associazioni a zeoliti ed i loro equivalenti sono il prodotto delle ultime trasformazioni dovute a fasi di termalità retrograda del metamorfismo alpino sviluppatasi a seguito di deformazioni rigide su rocce appartenenti sia alle formazioni ofiolitiche mesozoiche che ai terreni premesozoici.

La genesi e distribuzione delle associazioni a zeoliti sono fortemente influenzate, oltre che da pressione e temperatura, dalla porosità e permeabilità della roccia in quanto la penetrazione e mobilizzazione dei fluidi sono indispensabili alla formazione di tali minerali.

In questa prospettiva appare evidente come per le rocce della Liguria, che hanno subito in generale fasi metamorfiche tali da cancellarne ogni carattere di porosità primaria, una fase di intensa fratturazione tettonica abbia costituito una condizione indispensabile per lo sviluppo del metamorfismo retrogrado a zeoliti.

Lo sviluppo delle associazioni a zeoliti dipende inoltre fortemente dal chimismo della roccia: esse infatti si rinvergono con una certa importanza soltanto su rocce a chimismo basico, sono del tutto assenti o rarissime nelle rocce a chimismo ultrabasco e sono state raramente segnalate in rocce a chimismo acido presenti nei massicci cristallini, sulle quali peraltro non è stata eseguita una ricerca approfondita.

Nei diaspri l'unica zeolite finora segnalata è una phillipsite generalmente ad elevato contenuto in bario (LUCCHETTI, 1976 *b*).

Nelle coperture sedimentarie che accompagnano sia il cristallino che le sequenze

ofiolitiche le zeoliti sono del tutto assenti od estremamente scarse in funzione dell'elevato μCO_2 che può fortemente deprimere od inibire la formazione di queste associazioni (COOMBS et AL., 1970; LIU, 1968, 1970; ZEN, 1961), analogamente a quanto avviene per le paragenesi in facies a prehnite-pumpellyite. A queste condizioni gli equilibri vengono spostati verso associazioni a quarzo + carbonati + sericite \pm albite \pm adularia.

Per condizioni intermedie di μCO_2 nelle rocce basiche a diretto contatto con rocce sedimentarie ed in particolare nei diabasi effusivi e nelle brecce ofiolitiche l'equilibrio è spostato a favore di associazioni a quarzo + pistacite + calcite + adularia \pm prehnite che possono in questo caso essere considerate termodinamicamente equivalenti alle associazioni a zeoliti, per quanto indistinguibili, su base mineralogica, da analoghe associazioni sviluppatasi durante la fase metamorfica a prehnite-pumpellyite.

Le rocce ultrabasiche presenti nelle sequenze ofiolitiche sembrano precludere ogni possibilità di cristallizzazione di zeoliti tranne che nelle immediate vicinanze di contatti con rocce basiche. La trasformazione più importante, legata sempre a zone di intensa dislocazione tettonica, porta alla formazione di brucite, talvolta con lizardite asbestoide e crisotilo. Le mineralizzazioni in fratture sono costituite principalmente da carbonati, tra cui compaiono talvolta aragonite e dolomite, e spesso da quarzo o, nel Gruppo di Voltri, quarzo e calcedonio; nelle ofioliti del levante anche lo sviluppo di andradite sembra da riferire a queste fasi.

In altre rocce, con elevati tenori in magnesio, come gabbri olivini ed oficalci, oppure lungo contatti tra rocce ultrabasiche e rocce a diversa composizione, si ha sviluppo di minerali affini a talco e cloriti in ammassi steatitici che in alcuni casi (M. Dragnone) hanno dato luogo in tempi passati a piccole attività estrattive.

È interessante osservare come tra le fasi a zeoliti e le condizioni metamorfiche preesistenti, tra cui in particolare il gradiente termico, esistano relazioni che per molti aspetti ricordano quelle osservate nei trends di variazione del metamorfismo di basso grado.

Si può osservare che nelle unità interessate da metamorfismo di gradiente termico molto basso (Zona Sestri-Voltaggio e falda di Montenotte), fasi di fratturazione postmetamorfica hanno dato luogo esclusivamente ad accrescimenti fibroso-raggiati di epidoto pistacitico talvolta accompagnato da albite e quarzo, mentre sembra del tutto assente una fase a zeoliti. Questa osservazione sembra poter essere posta in analogia con l'assenza di un metamorfismo a zeoliti nelle sequenze di metamorfismo crescente in condizioni di gradienti molto bassi (SEKI, 1961).

Nelle unità del cristallino, interessate da un metamorfismo il cui gradiente può essere considerato da basso ad intermedio, l'unica zeolite riscontrata è la laumontite. Ciò è in accordo con quanto osservato in serie a metamorfismo crescente con analogo gradiente termico (SEKI et AL., 1971).

Nelle ofioliti del levante, dove la fase a zeoliti è preceduta da una fase a prehnite-pumpellyite in condizioni di gradiente intermedio, si osserva la comparsa

ed in parte la coesistenza di un numero di specie abbastanza elevato, in accordo con quanto si può osservare in zone metamorfiche a gradiente da intermedio ad elevato (COOMBS, 1954, 1960; SEKI et AL., 1969; SEKI et AL., 1971; UTADA, 1965). Mancano tuttavia in tutti i casi yugawaralite e wairakite caratteristiche dei maggiori gradienti termici.

Nel Gruppo di Voltri la situazione sembra leggermente più complessa: si ha infatti uno stacco netto tra le condizioni metamorfiche della fase a scisti verdi che, sia pur con caratteri e attraverso modalità differenti, può essere considerata raggiunta nelle diverse unità metamorfiche, e della fase a zeoliti, senza che si siano sviluppate in maniera riconoscibile fasi retrograde intermedie. Ciò potrebbe significare l'esistenza di un periodo di raffreddamento abbastanza lungo intercorso tra l'acme termico della fase a scisti verdi e le fasi di fratturazione che hanno permesso lo sviluppo di zeoliti.

Le associazioni a zeoliti più comunemente diffuse nel Gruppo di Voltri sembrano indicare genericamente condizioni di temperatura e pressione piuttosto basse nel campo delle zeoliti metamorfiche. D'altronde le condizioni di maggiore termalità e soprattutto di gradiente relativamente elevato raggiunte in prossimità dei contatti con la falda dell'Erro, sono state spiegate mediante fenomeni di circolazione convettiva (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1975).

Di notevole interesse sono inoltre le relazioni tra mineralizzazioni a zeoliti e mineralizzazioni a solfuri metallici. Nelle anfiboliti del cristallino ligure le zeoliti sono frequentemente accompagnate da solfuri; tale relazione è particolarmente evidente nelle ofioliti del levante, dove era già stata osservata da ISSEL (1878). Nelle ofioliti del Gruppo di Voltri non si ha una diretta relazione tra mineralizzazioni a zeoliti e concentrazioni a solfuri; è stata tuttavia ipotizzata (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1975) una interdipendenza tra il processo che ha dato origine alla formazione di zeoliti e le vene a quarzo, dolomite, calcite e solfuri presenti in posizioni più superficiali.

Appendice

Aspetti morfologici di alcune zeoliti e minerali associati

NATROLITE — È stata rinvenuta sia in vene (fig. 1) che in cristalli sparsi sulla roccia. Nel primo caso costituisce aggregati fibroso-raggiati talvolta formanti sferule (Rio Pian del Foco, Capanne di Marcarolo, Ponte Erro), mentre nel secondo appare in cristalli prismatici ben sviluppati ed appiattiti, lunghi fino a 1-1,5 cm (fig. 2), spesso geminati polisinteticamente. Essi poggiano sulla roccia secondo l'allungamento e sono spesso associati a chabasite (fig. 3) (Rio Pian del Foco, Capanne di Marcarolo, Val Branega, Acquabianca, Tiglieto) (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1975, 1976).

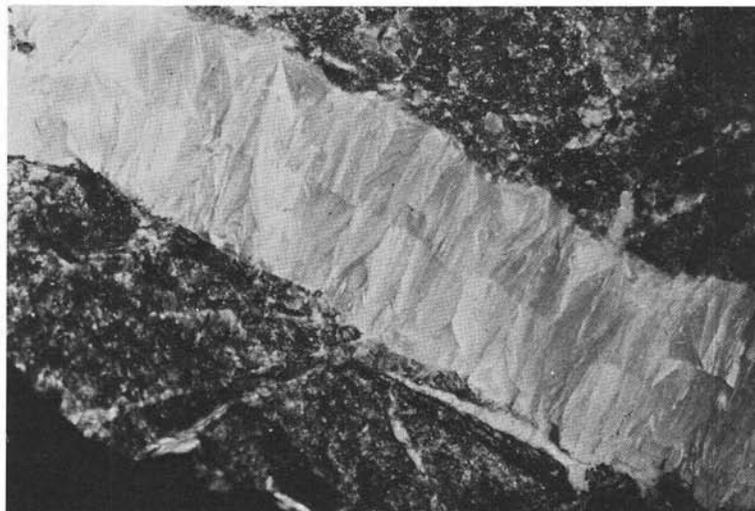


Fig. 1. — Vena di natrolite (1,5x).

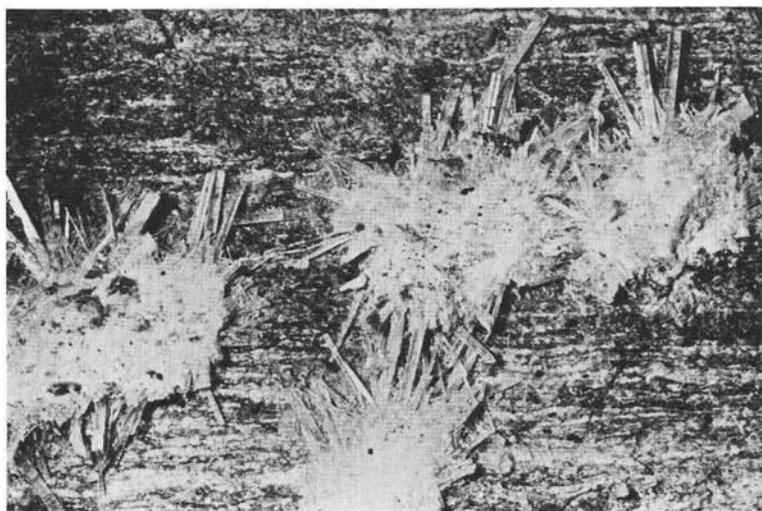


Fig. 2. — Natrolite in cristalli prismatici (2x).

Più raramente la natrolite è stata riscontrata in prismi esilissimi impiantati verticalmente sulla roccia (M. Dragnone).

MESOLITE — Raramente presente, è stata riscontrata associata a prehnite e natrolite in aggregati irregolari di cristalli prismatici allungati, spesso geminati polisinteticamente (Rio Pian del Foco, Capanne di Marcarolo) (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1975, 1976).

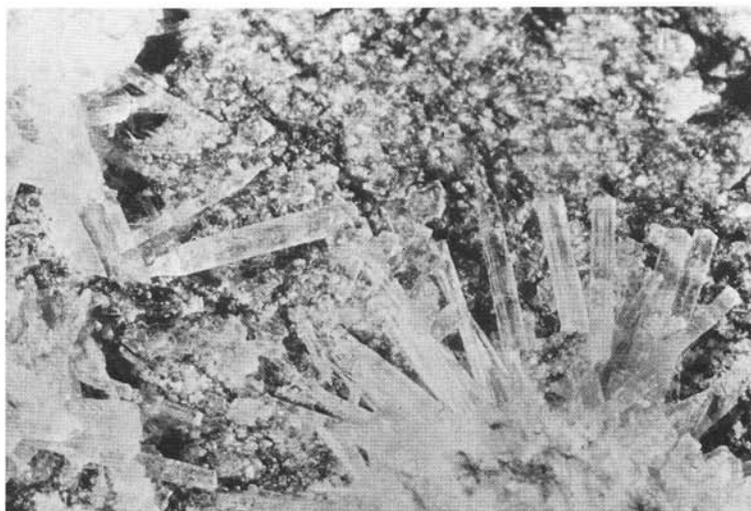


Fig. 3. — Natrolite in cristalli prismatici associati a chabasite (2x).

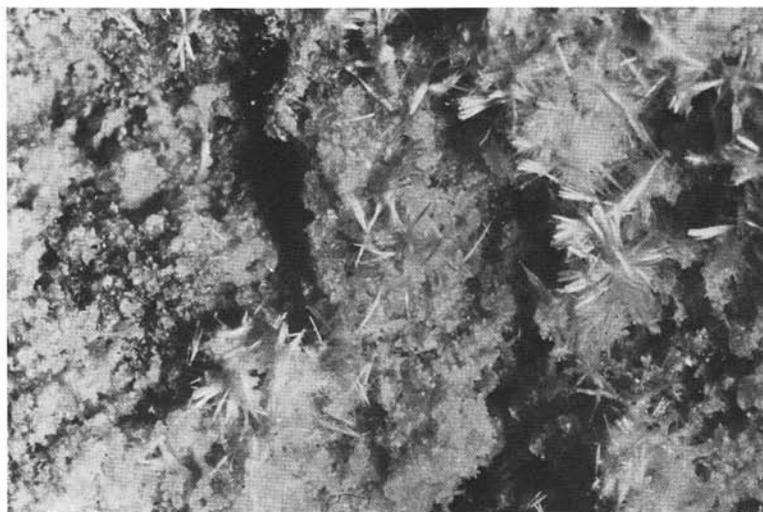


Fig. 4. — Aggregato di scolecite in fibre esilissime (3x).

SCOLECITE — È stata rinvenuta presso Levanto in aggregati di fibre esilissime, di lucentezza sericea e trasparenti (fig. 4). Tali aggregati più frequentemente costituiscono sferule (fig. 5) con una zonatura concentrica la cui parte interna di aspetto vetroso e compatto è formata da cristalli prismatici ben sviluppati, mentre la parte periferica è costituita da un fitto aggregato di fibre a disposizione raggiata e assai meno compatte (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1973).

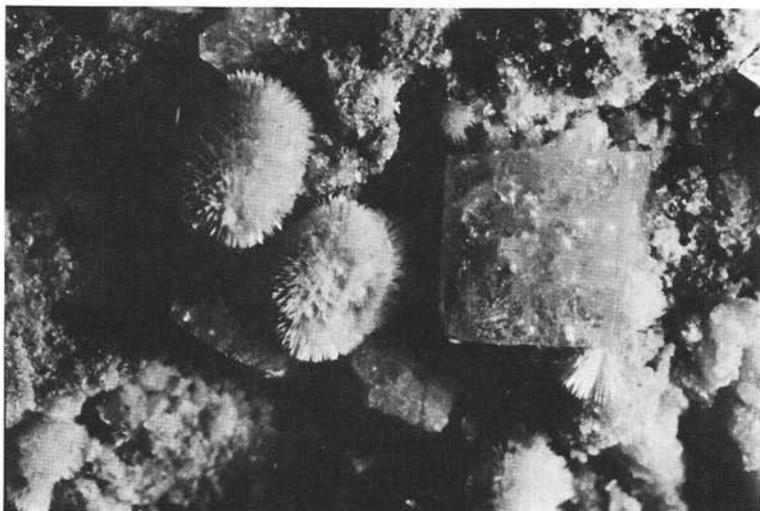


Fig. 5. — Sferule di scolecite associate a chabasite (3x).

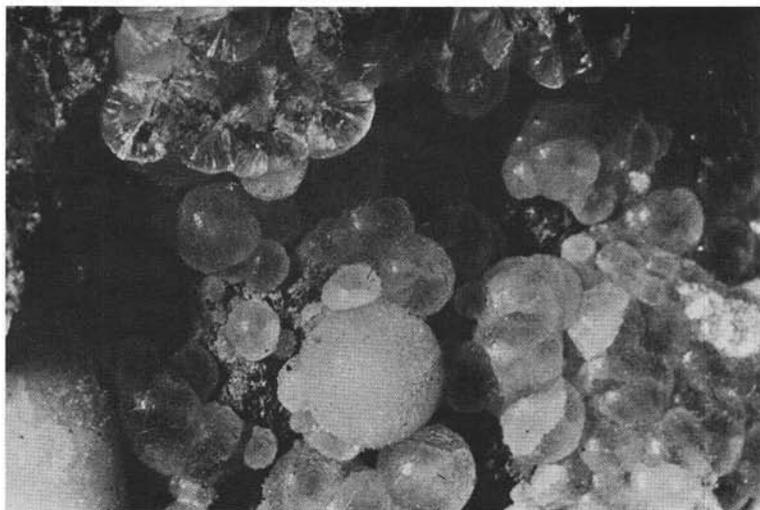


Fig. 6. — Aggregati raggiati di thomsonite (3x).

THOMSONITE — La thomsonite, in aggregati fibroso-raggiati, a volte costituisce sferule con aspetto da vetroso a biancastro-lattiginoso (Rio Pian del Foco, Acquabianca, Val Branega, Bargonasco, Gallinaria) (fig. 6), più raramente dà luogo ad accrescimenti dendritici che sviluppano forme coralloidi (fig. 7).

Le sferule quasi solitamente sono zonate e la zonatura più esterna è spesso costituita da un fittissimo aggregato coralloide (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1975).

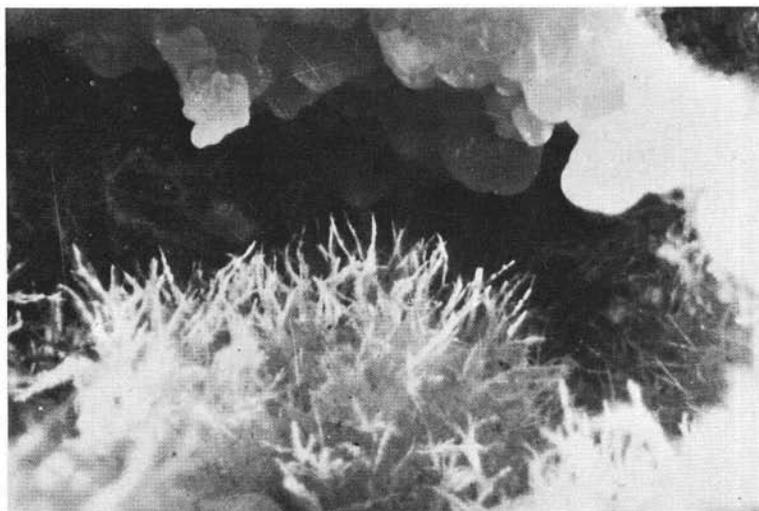


Fig. 7. — Thomsonite in aggregati coralloidi (20x).



Fig. 8. — Sferule di thomsonite associata a datolite (3x).

In figg. 8 e 9 sferule di thomsonite sono rispettivamente associate a datolite e chabasite.

HEULANDITE — È stata riscontrata presso Campegli in bei cristalli limpidi e trasparenti ad abito prismatico e facilmente sfaldabile secondo (010), frequentemente associati a stilbite (figg. 10 e 11), stronzianite (fig. 11), chabasite, pirite e calcopirite.

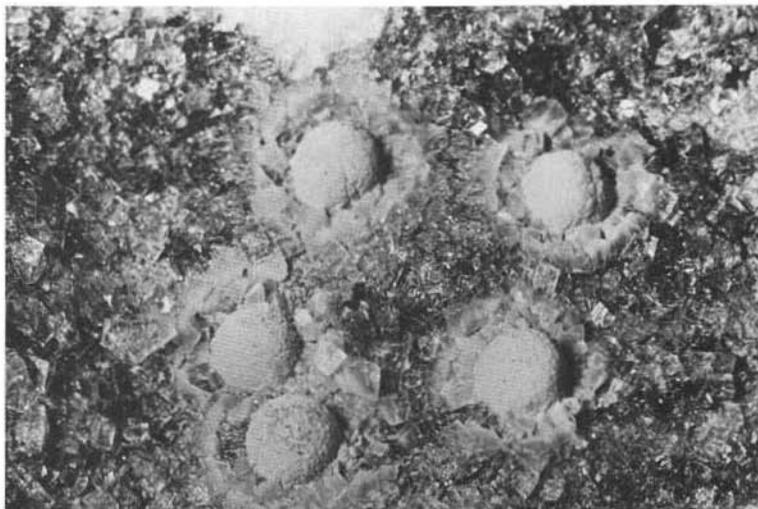


Fig. 9. — Sferule di thomsonite associata a chabasite (3x).

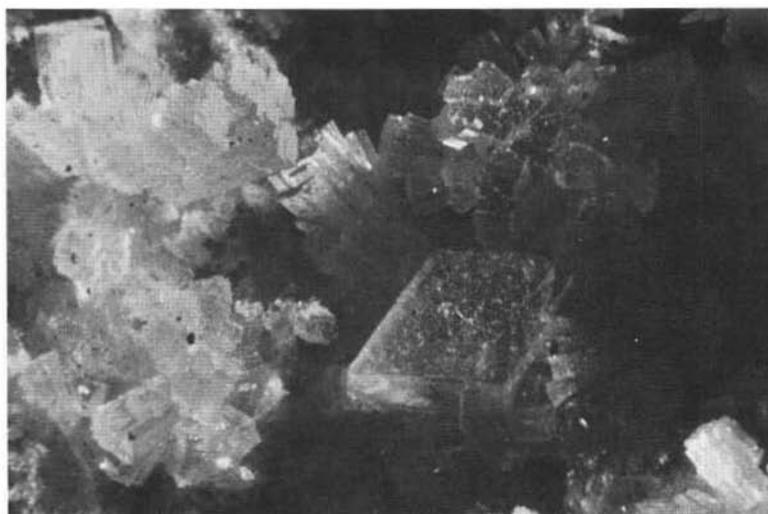


Fig. 10. — Associazione heulandite-stilbite (15x).

STILBITE — La stilbite, in cristalli limpidi ed incolori ad abito prismatico allungato e presentanti quasi sempre geminazione cruciforme, si trova più frequentemente in associazioni raggiate a formare sferule di 5-7 mm di diametro (fig. 12) (Levanto, Campegli) (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1973), a volte in individui sia isolati che riuniti in aggregati irregolari (fig. 13) (Campegli, Val Varenna) (LUCCHETTI, 1976; PELLOUX, 1947).

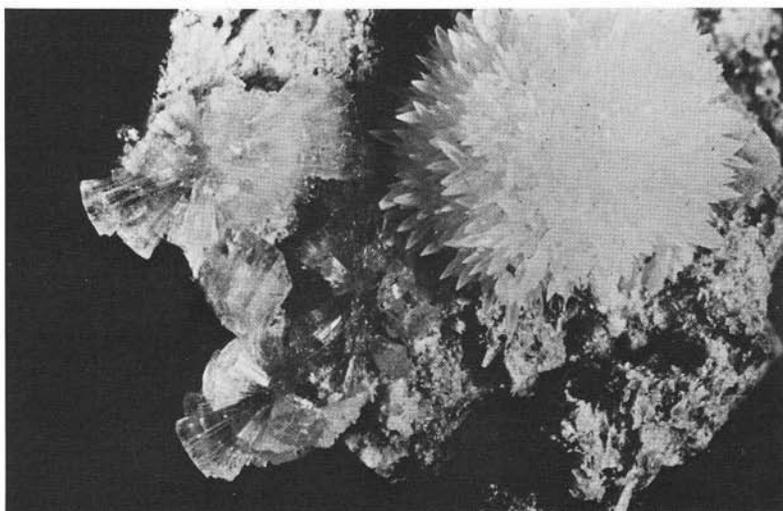


Fig. 11. — Associazione heulandite (individuo prismatico, a sinistra nella foto) - stilbite (aggregati di cristalli prismatici allungati) - stronzianite (aggregato raggiato, a destra nella foto) - calcopirite (cristallo scuro appoggiato sull'aggregato di stilbite, in basso a sinistra) (2,5x).

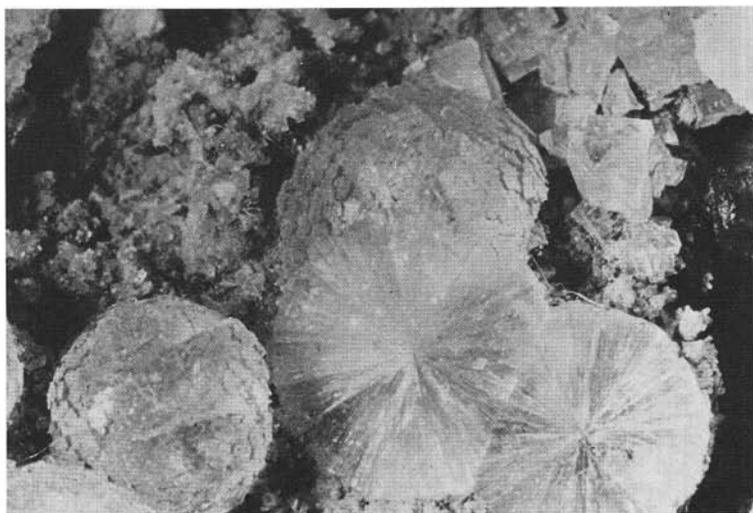


Fig. 12. — Sferule di aggregati raggiati di stilbite (4x).

PHILLIPSITE — È stata riscontrata nel Gruppo di Voltri, lungo il corso del Rio Pian del Foco, in tavolette trasparenti ed incolori cresciute epitatticamente su individui di gismondina (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1975) e presso Acquabianca in geminati cruciformi di dimensioni non superiori ad un millimetro.

Una varietà bariferà con caratteri intermedi tra phillipsite e harmotomo è stata segnalata nelle miniere di manganese di Cassagna (LUCCHETTI, 1976 b). Essa si



Fig. 13. — Associazione stilbite-chabasite; è evidente la geminazione cruciforme della stilbite (3x).

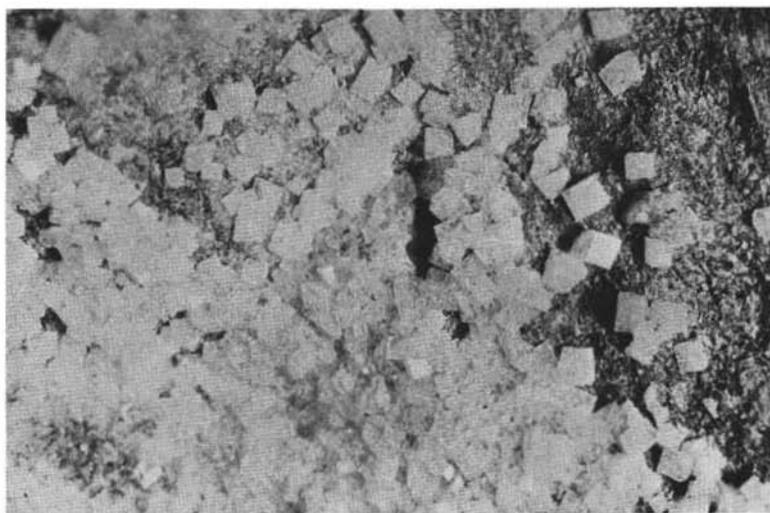


Fig. 14. — Chabasite in cristalli romboedrici (1,5x).

presenta in geminati complessi il cui aspetto è quello di prismi tetragonali terminati da una piramide, con colorazione rosa carnicino, più raramente incolori, di dimensioni non superiori ai due millimetri.

CHABASITE — Si presenta con abito romboedrico in cristalli quasi sempre geminati per compenetrazione da perfettamente incolori e trasparenti a lattiginosi, di dimensioni variabili da 1 a 5 mm (fig. 14).



Fig. 15. — Geminati di gismondina (10x).



Fig. 16. — Analcime con evidente abito trapezodrico (9x).

La chabasite, specie molto diffusa, si trova in diverse associazioni: con thomsonite nel Rio Pian del Foco, nel Bargonasco a Valle Grande e alla Gallinaria; con calcite e pectolite a Tiglieto; associata a stilbite in Val Varenna e a Levanto, dove compare anche associata a scolecite; con natrolite presso Capanne di Marcarolo; con heulandite e stilbite a Campegli e con analcime in Val Branega (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1973, 1975, 1976).

LAUMONTITE — I cristalli di laumontite, ad abito prismatico, di dimensioni che raggiungono anche 1 cm di lunghezza, si presentano limpidi e trasparenti se in vene non esposte all'aria (Ellera) (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1974).

GISMONDINA — È stata trovata, in bei cristalli, nel Gruppo di Voltri, lungo il corso del Rio Pian del Foco tra Olbicella e Tiglieto. Si presenta in cristalli di dimensioni da 0,3 a 1 cm, solitamente geminati ad abito pseudottaedrico, dovuto allo sviluppo del prisma $\{011\}$, e spesso con un evidente angolo rientrante determinato dalla presenza dei pinacoidi $\{101\}$ e $\{10\bar{1}\}$ (fig. 15). Solitamente poggia su aggregati di thomsonite e presenta talvolta accrescimenti epitattici di phillipsite (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1975).

ANALCIME — Tale minerale si presenta raramente in bei cristalli limpidi od anche lattiginosi ad abito trapezoedrico di dimensioni che possono anche raggiungere i 5-6 mm (fig. 16) (Rio Branega, Tiglieto, M. Dragnone). Più frequentemente costituisce ammassi compatti di aspetto vetroso o lattiginoso, spesso intimamente aggregati con carbonati, illiti, smectiti e zeoliti fibrose (Capanne di Marcarolo), oppure in vene con albite (Tiglieto, Rio Pian del Foco) (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1975, 1976).

BIBLIOGRAFIA

- BRAGA G., CASNEDI R., GALBIATI B., MARCHETTI G. (1972) - *Le unità ofiolitifere nella Val di Vara (Nota strutturale, introduttiva alla carta geologica della Val di Vara)*. Mem. Soc. Geol. It., 11, 547-560.
- CHIESA S., CORTESOGNO L., FORCELLA F., GALLI M., MESSIGA B., PASQUARÉ G., PEDEMONTE 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.
- CIMMINO F., CORTESOGNO L., LUCCHETTI G. (1976) - *Orneblende nelle anfiboliti dei massicci cristallini liguri*. Rend. S.I.M.P., 32, 2, 591-616.
- COOMBS D.S. (1954) - *The nature and alteration of some Triassic sediments from Southland, New Zealand*. Roy. Soc. New Zealand, Trans., 82, 1, 65-109.
- COOMBS D.S. (1960) - *Lower grade mineral facies in New Zealand*. Intern. Geol. Congr., 21st Sess. Norden, Report part 13, 339-351.
- COOMBS D.S., HORODYSKI R.J., NAYLOR R.S. (1970) - *Occurrence of prehnite-pumpellyite facies metamorphism in Northern Maine*. Am. J. Sci., 268, 142-156.
- CORTESOGNO L., GALLI M., MESSIGA B., PEDEMONTE G.M., PICCARDO G.B. (1975) - *Nota preliminare alla petrografia delle rocce eclogitiche del Gruppo di Voltri (Liguria occidentale)*. Ann. Mus. Civ. St. Nat., Genova, 80, 325-343.
- CORTESOGNO L., LUCCHETTI G., PENCO A.M. (1973) - *Associazioni a zeoliti in litoclasti del gabbro di Costa Sopramare (Levanto - Appennino settentrionale)*. Ann. Mus. Civ. St. Nat., Genova, 79, 291-321.
- 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., LUCCHETTI G., PENCO A.M. (1975) - *Associazioni a zeoliti nel Gruppo di Voltri: caratteristiche mineralogiche e significato genetico*. Rend. S.I.M.P., 31, 673-710.

- CORTESOGNO L., LUCCHETTI G., PENCO A.M. (1976) - *Mineralogia e minerogenesi di associazioni a tobermorite, zeoliti e smectiti nel settore nord-orientale del Gruppo di Voltri*. Per. Min. (in stampa).
- CORTESOGNO L., MESSIGA B., PEDEMONTE 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).
- ERNST W.G. (1976) - *Mineral chemistry of eclogites and related rocks from the Voltri Group, western Liguria, Italy* (in stampa).
- GALLI M., BEZZI A., PICCARDO G.B., CORTESOGNO L., PEDEMONTE G.M. (1972) - *Le ofioliti dell'Appennino ligure: un frammento di crosta-mantello « oceanici » dell'antica Tetide*. Mem. Soc. Geol. It., 11, 467-502.
- GALLI M., CORTESOGNO L. (1970) - *Studi petrografici sulle formazioni ofiolitiche dell'Appennino ligure. Nota XIII - Fenomeni di metamorfismo di basso grado in alcune rocce della formazione ofiolitica dell'Appennino ligure*. Rend. S.I.M.P., 26, 599-647.
- GHENT E.P., MILLER B.E. (1974) - *Zeolite and Clay-carbonate Assemblages in the Blairmore Group (Cretaceous), Southern Alberta Foothills, Canada*. Contr. Min. Petr., 44, 4.
- HESS P.C. (1966) - *Phase equilibria of some minerals in the $K_2O-Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ system at 25° C and 1 atmosphere*. Am. J. Sci., 264, 289-309.
- HINRICHSSEN T., SHURMANN K. (1969) - *Untersuchungen zur Stabilität von Pumpellyit*. Neues J. Miner., 10, 441-445.
- HOLLER H., WIRSCHING U., FAKHURI M. (1974) - *Experimente zur Zeolithbildung durch hydrothermal Umwandlung. Zur Entsehung von Chabasit, Phillipsit und Analcim aus des glasigen Bestandteilen der Bins-Staubtuff des Laqcher Vulkangebietes*. Contr. Min. Petr., 46, 49-60.
- ISSEL A. (1878) - *Zeolite ed aragonite raccolte nei filoni cupriferi della Liguria*. Boll. R. Comit. Geol., 1, 6.
- KEITH T.E.C., MUFFLER L.J.P., CREMER M. (1968) - *Hydrothermal epidote formed in the Salton Sea geothermal system, California*. Am. Min., 53, 1635-1644.
- LANDIS C.A., ROGERS J. (1968) - *Some experimental data on the stability of pumpellyite*. Am. Min., 53, 1038-1041.
- LIU J.G. (1968) - *Zeolite equilibria in the system $CaAl_2O_3-SiO_2-SiO_2-H_2O-CO_2$. The stabilities of wairakite and laumontite*. Geol. Soc. Am. Special Paper, 12.
- LIU J.G. (1970) - *Synthesis and stability relation of wairakite, $CaAl_2Si_5O_{14} \cdot 2H_2O$* . Contr. Min. Petr., 27, 259-282.
- LIU J.G. (1971 a) - *Analcime equilibria*. Lithos, 4, 389-402.
- LIU J.G. (1971 b) - *P-T stabilities of laumontite, wairakite, lawsonite, related minerals in the system $CaAl_2Si_5O_{14} \cdot SiO_2-H_2O$* . J. Petr., 12, 372-411.
- LIU J.G. (1971 c) - *Stilbite-laumontite equilibrium*. Contr. Min. Petr., 31, 171-177.
- LIU J.G. (1971 d) - *Synthesis and stability relations of prehnite, $Ca_2Al_6Si_6O_{18}(OH)_2$* . Am. Min., 56, 507-531.
- LUCCHETTI G. (1976 a) - *Riesame di un'associazione a zeoliti della Val Varenna (Liguria occidentale)*. Ann. Mus. Civ. St. Nat., Genova, 81, 42-50.
- LUCCHETTI G. (1976 b) - *Caratteristiche mineralogiche di una zeolite della serie phillipsite-harmotomo presente in vene nei diaspri di Cassagna (Liguria orientale)*. Doriana, Suppl. Ann. Mus. Civ. St. Nat., Genova, 5, 220.
- MIYASHIRO A., SHIDO F. (1970) - *Progressive metamorphism in zeolites assemblages*. Lithos, 3, 251-260.
- MUFFLER L.J., WHITE D.E. (1969) - *Active metamorphism of Upper Cenozoic sediments in the Salton Sea geothermal field and the Salton Trough, Southeastern California*. Geol. Soc. Am. Bull., 80, 157-182.
- NITSCH K.H. (1971) - *Stabilitätsbeziehungen von Prehnit- und Pumpellyit-haltigen Paragenesen*. Contr. Min. Petr., 30, 240-260.

- OTALORA G. (1964) - *Zeolites and related minerals in Cretaceous rocks of east-central Puerto Rico*. Am. J. Sci., 262, 726-734.
- PELLOUX A. (1947) - *Sopra alcune zeoliti della Valle del Varenna presso Pegli (Riviera di Ponente)*. Ann. Mus. Civ. St. Nat., Genova, 63, 1-8.
- SEKI Y. (1961) - *Pumpellyite in low-grade metamorphism*. J. Petr., 2, 407-423.
- SEKI Y. (1966) - *Wairakite in Japan*. J. Japan. Ass. Min. Petr. Econ. Geol., 55, 254, 261; 56, 30-39.
- SEKI Y. (1968) - *Yugawaralite from Onikobe active geothermal area, northeast Japan*. J. Japan. Ass. Min. Petr. Econ. Geol., 60, 27-33.
- SEKI Y., OKI Y., MATSUDA T., MIKAMI K., OKUMURA K. (1969) - *Metamorphism in the Tanzawa Mountains, Central Japan*. J. Japan. Ass. Min. Petr. Econ. Geol., 61, 1-29, 50-75.
- SEKI Y., ONUKI H., OBA T., MORI R. (1971) - *Sanbagawa metamorphism in the central Kii Peninsula*. Jap. J. Geol. Geogr., 41, 65-78.
- SIGVALDASON G. E. (1962) - *Epidote and related minerals in two deep geothermal drillholes, Reykjavik and Hveragerdi, Iceland*. U.S. Geol. Surv. Prof. Papers, 450 E, 77-79.
- SMITH R. E. (1969) - *Zones of progressive regional burial metamorphism in part of the Tasman geosyncline*. J. Petr., 10, 146-163.
- STEINER A. (1953) - *Hydrothermal rock alteration at Wairakei, New Zealand*. Econ. Geol., 48, 1-13.
- STEINER A. (1963) - *The rocks penetrated by drillholes in the Waiotapan thermal area, and their hydrothermal alteration*. New Zealand Dept. Sci. Ind. Research Bull., 155, 26-34.
- STEINER A. (1967) - *Clay minerals in hydrothermally altered rocks at Wairakei, New Zealand* (abst.). Clay Clay Miner., 16th Conf., 31, 33.
- STRENS R. G. J. (1968) - *Reconnaissance of the prehnite stability field*. Min. Mag., 36, 864-867.
- THOMPSON A. B. (1971) - *Analcite-Albite equilibria at low temperatures*. Am. J. Sci., 271, 79-92.
- UTADA M. (1965) - *Zonal distribution of authigenic zeolites in the tertiary pyroclastic rocks in Mogami district, Yamagata Prefecture*. Sci. Paper Coll. Gen. Educ. Univ. Tokyo, 15, 173-216.
- ZEN E. AN (1961) - *The zeolite facies: an interpretation*. Am. J. Sci., 259, 401-409.