

GIULIANO PERNA

## LE INCLUSIONI FLUIDE NEI CRISTALLI (\*)

Un cristallo può contenere inglobate nel suo interno delle sostanze estranee costituite da una o più fasi (solida, liquida o gassosa); i processi geologici per i quali ciò si verifica, sono i seguenti:

**SMISTAMENTO.** Da un originario cristallo misto costituito da due fasi miscibili ad alta temperatura, per una diminuzione di temperatura (e di pressione) una delle due fasi si separa e rimane racchiusa nell'altra.

**RELITTO.** Durante una trasformazione, dovuta a variazioni delle condizioni chimico-fisiche ambientali, una frazione della associazione paragenetica preesistente rimane a testimoniare dell'originario atto minerogenetico.

**INCLUSIONE.** Durante l'accrescimento di un cristallo, vengono imprigionate all'interno una o più fasi di specie diversa.

Queste sostanze incapsulate in altri minerali hanno grande importanza negli studi petrografici: gli smistamenti permettono spesso di stabilire le condizioni di temperatura alla quale l'originario cristallo si è separato dalla fase liquida, i relitti danno preziose informazioni di quali erano le associazioni paragenetiche e le strutture precedenti alla trasformazione; infine le inclusioni forniscono dati per ricostruire l'ambiente nel quale il cristallo si è formato.

I risultati che si possono ottenere sono di fondamentale importanza nelle discipline geologiche e giustificano la cura e l'attenzione che viene posta in questi studi.

---

(\*) Lavoro eseguito con il contributo del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Gli smistamenti ed i relitti sono solidi e costituiscono delle rarità, mentre le inclusioni sono la regola: è molto difficile trovare un cristallo così perfetto che non contenga assolutamente alcun incluso solido, liquido o gassoso.

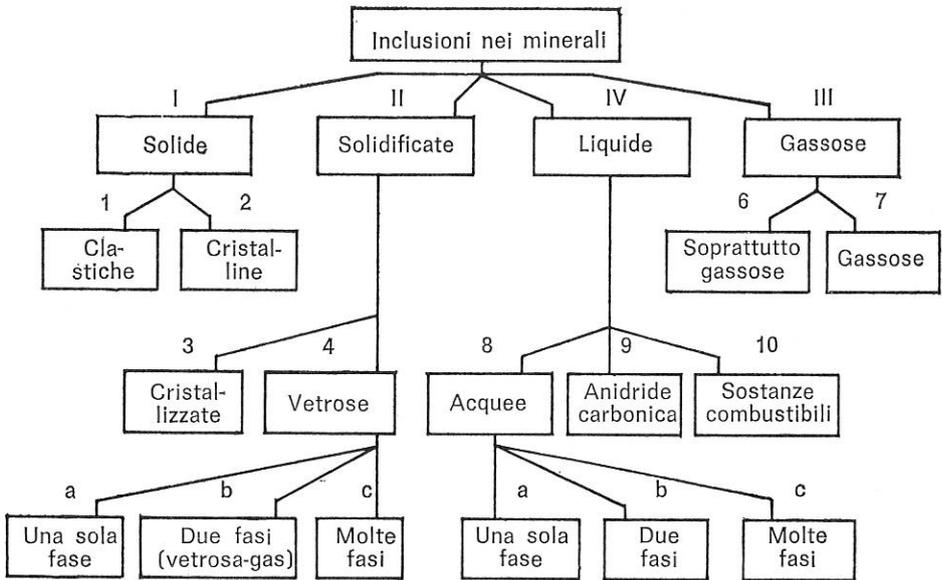
In questa nota si tratterà brevemente delle inclusioni, in particolare di quelle fluide (gassose e liquide, eventualmente associate a fasi solide).

Si definisce inclusione uno spazio, isolato ermeticamente nell'interno di un minerale nel corso della cristallizzazione, separato da una superficie limite ben definita ed occupato da una fase gassosa, liquida o solida, o da più fasi.

Una classificazione delle inclusioni è quella proposta da YERMAKOV (1965), che si riporta qui in figura 1.

Le inclusioni solide (I) sono costituite da cristalli (2) o frammenti (1), molto variabili per dimensioni, forma e composizione, inglobati durante l'accrescimento.

Le inclusioni solidificate (II) sono quelle che rimangono imprigionate durante il raffreddamento di un magma e possono essere cristallizzate (3) o vetrose amorphe (4) ad una o più fasi (a, b, c).



Classificazione delle inclusioni nei minerali in base alla loro composizione e stato fisico (sec. N. P. YERMAKOV, 1965).

Le inclusioni liquide (IV) possono essere di soluzioni acquose od essenzialmente liquide (8) ad una o più fasi (a, b, c), o di gas estranei, ad es. anidride carbonica, talvolta assieme alla fase liquida (9) ed inclusioni di sostanze combustibili (10).

Si hanno infine inclusioni gassose (III), principalmente gassose (7) o con gas in presenza di liquido (6).

Vogliamo innanzitutto descrivere le modalità con cui sostanze estranee rimangono incluse nell'interno di un cristallo. Durante la solidificazione di un liquido se si separano fasi solide diverse, l'una può rimanere inglobata nell'altra; lo stesso avviene per la cristallizzazione da una soluzione: due cristalli si formano contemporaneamente od in tempi diversi ed uno finisce con l'inglobare completamente l'altro.

Più interessante è il processo con il quale si formano le inclusioni fluide. Se osserviamo al microscopio la superficie di un cristallo, in luce radente, noteremo delle minute irregolarità consistenti in una serie di scalini, più o meno pronunciati. A volte le irregolarità sono ben evidenti anche ad occhio nudo, come nell'esempio della fluorite di Vignola della tav. 1, fig. 1.

È stato dimostrato che l'accrescimento di un cristallo viene facilitato dalla presenza di tali scalini, perché in corrispondenza di essi il cristallo ha due o tre superfici libere, e maggiori ne risultano le forze di attrazione che agiscono sulle particelle presenti nell'ambiente circostante in fase di vapore od in soluzione (FULLMAN, 1955).

È evidente che tale modalità di accrescimento rende possibile la formazione di lacune nel cristallo ed in esse rimane imprigionato un campione del fluido in seno al quale il cristallo è cresciuto; al diminuire della pressione e temperatura il fluido non è più in equilibrio ed allora da esso si separano altre fasi, così che ne risulta una inclusione polifase.

Le inclusioni fluide sono estremamente importanti in quanto con studi appropriati è possibile trarre una serie di informazioni sul *milieu* di formazione del cristallo. È qui opportuno precisare che le inclusioni fluide sono osservabili solo nei cristalli trasparenti, pur essendo possibile dimostrarne la presenza anche in quelli opachi.

I primi studi sull'argomento delle inclusioni risalgono ad oltre 150 anni, l'interesse decadde in seguito all'invenzione del metodo di preparazione delle sezioni sottili di minerali e rocce per lo studio al micro-

scopio, in quanto con tale tecnica le inclusioni vengono sezionate ed i fluidi dispersi.

Oggi, riconosciuta l'importanza del problema e soprattutto in virtù di tutta una serie di tecniche e metodologie che sono state messe a punto negli ultimi tempi, questi studi hanno avuto un notevole sviluppo, con un fiorire di ricerche, come è stato documentato nel colloquio che si è tenuto a Berna dal 13 al 19 settembre 1969 sulle inclusioni liquide e gassose dei minerali e delle rocce, organizzato dalla « Commission on Ore-Forming Fluids in Inclusions » (COFFI).

Le inclusioni assumono grande importanza anche in gemmologia e vengono utilizzate per distinguere le pietre sintetiche da quelle naturali e con il loro studio è possibile persino riconoscere il giacimento di provenienza.

Le inclusioni fluide si distinguono in *primarie* o *singenetiche* (che si sono formate contemporaneamente al minerale) e *secondarie* o *epigenetiche* (che si sono formate in un tempo successivo). Le prime racchiudono un campione del fluido in seno al quale il minerale si è formato, le seconde si sono formate in un secondo tempo, quando il minerale, sottoposto a tensioni per pressioni o variazioni termiche, si fratturava. Tali fratture vengono spesso rinsaldate e lungo le superfici rimane imprigionato dell'altro fluido in una seconda generazione di inclusioni, e diverse sono le informazioni che se ne possono trarre. Le inclusioni primarie possono permettere la determinazione della temperatura, pressione, composizione chimica dei fluidi idrotermali, quelle secondarie testimoniano semplicemente di una fase tettonica, o sono del tutto casuali; in ogni caso la composizione del fluido è ben diversa da quella originaria e per lo più costituita da acqua priva di altre sostanze in soluzione.

Le difficoltà di distinguere le inclusioni primarie dalle secondarie non sono poche, tanto più che esistono anche inclusioni « pseudosecondarie », che hanno l'apparenza delle inclusioni secondarie, pur essendo *singenetiche*.

Immaginiamo che un liquido a temperatura (e pressione) elevata rimanga intrappolato dal cristallo che sta crescendo in seno ad esso. Al diminuire della temperatura il liquido non è più in equilibrio e da esso si separano altre fasi: solida, per i minerali che cristallizzano, gassosa per i gas che si svolgono dal fluido. Il risultato sarà una goccia di liquido nella quale si distinguerà una bolla di gas, e cristalli di specie mineralogica diversa.

Se si riscalda il cristallo sino a quella temperatura alla quale si ottiene un fluido omogeneo, si ha la *temperatura di omogeneizzazione, che è in stretto rapporto con quella di formazione*.

La temperatura di omogeneizzazione rappresenta, a meno di fattori correttivi (per lo più piccoli) la temperatura *minima* di formazione del cristallo.

Questo postulato si basa sull'ipotesi che durante l'accrescimento del cristallo il fluido fosse omogeneo, in particolare, in seno ad esso non vi fossero bolle di gas. Nessuno ci autorizza a ritenere valida tale ipotesi, ma la daremo come molto verosimile. Supponiamo infatti che nel fluido siano già presenti, al momento della formazione del cristallo, delle bolle di gas. Queste, aderendo per fenomeni di tensione superficiale al cristallo, possono venire imprigionate. Per fare un esempio intuitivo, consideriamo una bottiglia di acqua minerale gassata. Quando si toglie il tappo si svolgono le bollicine di  $\text{CO}_2$ : se guardiamo attentamente, noteremo che mentre al fondo le bollicine sono piccole, esse si fanno via via più grandi man mano che si avvicinano alla superficie, ma in una determinata zona hanno sempre le medesime dimensioni che sono funzione della pressione dell'acqua e del gas, della tensione superficiale, ecc.

Ritorniamo ora alle inclusioni composte da liquido e gas (che generalmente è la fase gassosa del liquido stesso). Se chiamiamo rapporto di riempimento  $V = V_l/V_t$ , ove  $V$  è il coefficiente di riempimento,  $V_l$  il volume del liquido e  $V_t$  il volume totale della inclusione, noteremo che questo rapporto è costante ed indipendente dalle dimensioni delle inclusioni presenti in una determinata zona di un cristallo. Se le bolle di gas fossero già state presenti al momento della formazione del cristallo, queste avrebbero probabilmente tutte la stessa dimensione sia per le inclusioni grandi che per quelle piccole e comunque il rapporto  $V$  non sarebbe costante.

A riprova di ciò si può ricordare che quando si hanno inclusioni di acqua ed olio, quest'ultimo compare in tutti i possibili rapporti. Così si hanno inclusioni con solo olio, altre con solo acqua e con olio e acqua in varie proporzioni nel medesimo cristallo.

Si conoscono inclusioni formatesi in liquido in ebollizione nelle quali il rapporto di riempimento è appunto variabile.

Uno dei problemi fondamentali che si pongono nello studio delle inclusioni è quello della « tenuta » delle pareti del cristallo. È ovvio infatti che se fossero possibili scambi tra l'inclusionione e l'ambiente esterno, il fluido che oggi studiamo non rappresenterebbe un campione del liquido « *madre* ».

Sono stati fatti esperimenti sottoponendo dei cristalli ad elevate temperature e pressioni: alcuni autori sostengono che i risultati che si sono ottenuti dimostrano che la tenuta non è perfetta, altri invece che non si sono notati passaggi di fluidi. In realtà la tenuta delle inclusioni dipende da diversi fattori ed essenzialmente dall'entità delle sollecitazioni esterne e dal tipo di minerale.

Così ad esempio il salgemma ha un comportamento plastico, ed il volume delle inclusioni subisce delle modifiche. D'altra parte è evidente che un cristallo sottoposto a pressioni o temperature elevate per lunghi periodi di tempo, muta di assetto cristallino; per questa ragione le inclusioni fluide mancano generalmente nei minerali che hanno subito metamorfismo. Ma anche a pressione e temperatura ambiente un cristallo può subire una trasformazione diagenetica. Per citare un esempio, nelle Grotte di Castellana (Bari) vi sono delle stalattiti cresciute ad anelli concentrici come le normali concrezioni di grotta, che sono ricristallizzate e sono costituite ora da un unico grande cristallo con l'asse *c* verticale; le inclusioni di sostanza estranea sono state espulse all'esterno dal cristallo. A Castellana si possono trovare tutti i possibili passaggi intermedi dalle stalattiti anulari al monocristallo.

La tecnica per la determinazione della temperatura di omogeneizzazione è nel complesso semplice. Si prende un cristallo e se ne trae una grossa lamina, che si pone in un tavolino riscaldante, costituito da una piccola camera, chiusa in basso ed in alto da un vetrino e riscaldata mediante una resistenza elettrica a bassa tensione, alimentata da un trasformatore variabile. La temperatura è rilevata da una coppia termoelettrica (PERNA, 1968). L'osservazione viene fatta con un microscopio; per evitare il danneggiamento dovuto al calore, si impiegano obbiettivi speciali a lunga distanza frontale e con ottica non incollata. Si riscalda gradualmente il cristallo e si rileva la temperatura esatta alla quale la inclusione diviene omogenea: questa è la temperatura minima di formazione del cristallo.

Le difficoltà sorgono quando si vogliono eseguire determinazioni sistematiche su cristalli con inclusioni molto piccole o quando si deve lavorare su minerali non trasparenti. In questo caso si opera con apparecchi decrepitolometrici, basati sul seguente principio: quando l'inclusione è diventata omogenea, innalzando ulteriormente la temperatura, ad un certo momento essa scoppia per la pressione del fluido sulle pareti che la delimitano. La temperatura alla quale il cristallo incomincia a scoppiettare è, a meno di fattori correttivi, quella di formazione del cristallo.

Si sono ideati diversi strumenti per eseguire queste determinazioni. Il più semplice consiste in un tubetto, che viene riscaldato lentamente e nel quale è inserito il minerale, ridotto in minuti pezzettini. Le estremità del tubo sono chiuse da due tappi, attraverso i quali passano i terminali di uno stetoscopio ed il termometro. Lo strumento ha però il difetto di essere molto impreciso, in quanto all'interno del tubo si hanno notevoli differenze di temperatura tra i granuli ad immediato contatto della zona calda e quelli che ne sono distanti, ed il termometro dà valori con forti errori.

Un perfezionamento è costituito dal decrepitemetro di DEICHA (1955), costituito da una provetta contenente olio di lino (punto di ebollizione 315°) od olio di siliconi (punto di ebollizione 450°), nel quale viene tenuto sospeso un granello del minerale, posto a contatto di un termometro. Lo scoppio del cristallo viene rilevato visivamente; la temperatura del cristallo nell'interno della provetta viene indicata con precisione dal termometro a mercurio.

Altro decrepitemetro, questa volta a secco, è quello costruito da PERNA (1968). Esso consiste di un piccolo forno chiuso da due finestrelle di mica; il minerale è sospeso al centro su un cappio costituito da una coppia termoelettrica. La temperatura si rileva con un potenziometro, lo scoppio si vede ad occhio nudo, ma si ode anche benissimo, perché è in genere piuttosto forte.

Questi due ultimi strumenti presentano il grosso inconveniente che le determinazioni si effettuano su un solo frammento di cristallo alla volta e richiedono troppo tempo per ottenere un numero sufficiente di dati.

Si sono costruiti anche strumenti più precisi, dotati di microfono ed amplificatore elettronico (SCOTT, 1948; YERMAKOV, 1956) o completamente automatici. In uno di questi strumenti si registra direttamente la frequenza degli scoppi in funzione della temperatura (PULOU, DE CROIZANT, GRITTI, 1970). Un altro apparecchio registra contemporaneamente su una striscia di carta la temperatura, l'intensità ed il numero degli scoppi (PERNA, 1969). Sono strumenti molto complessi che hanno richiesto la soluzione di considerevoli problemi per la progettazione dei forni, dell'isolamento acustico e della parte elettronica.

Un altro dato di notevole importanza è quello della pressione all'interno delle inclusioni, che viene determinata con un metodo ideato da DEICHA. Il cristallo viene immerso in olio, tra due robusti vetri che vengono gradualmente serrati tra loro con una vite. Quando le inclusioni si fratturano, si può valutare la pressione dell'aumento della bolla di gas o dalla quantità di liquido che penetra nella inclusionione.

La determinazione della densità del liquido si effettua con il metodo del congelamento. Si fa circolare un liquido, di solito alcool, nell'intercapedine di un tavolino riscaldante, abbassandone gradualmente la temperatura, che deve essere rilevata con estrema precisione (ROEDDER, 1962). Dalla temperatura di congelamento del fluido, si risale alla concentrazione dei sali disciolti, espressi come NaCl; ciò perché normalmente nelle inclusioni il liquido è costituito da acqua salata.

Un metodo originale per determinare la concentrazione della soluzione è quello proposto da FRIEDLAENDER (1970). Le bolle di gas, quando sufficientemente piccole, saltellano continuamente a causa del moto Browniano. La formula di Einstein lega la viscosità del fluido alle dimensioni delle particelle ed alle caratteristiche del loro movimento. La determinazione è piuttosto laboriosa e richiede misurazioni su una registrazione cinematografica del moto di agitazione della bolla.

Molto più interessanti sono i dati sulla composizione dei fluidi delle inclusioni. Dapprima si è tentato di analizzare il contenuto di quelle più grosse e macroscopiche forandole con un trapano, poi si sono messi a punto metodi per estrarre il liquido anche dalle inclusioni più piccole.

Si tratta di quantità di liquido estremamente ridotte e pertanto sono notevoli le possibilità di inquinamento con l'ambiente esterno. I cristalli vengono frantumati e lavati con acqua distillata ed altri procedimenti particolari. Indi si macinano o in un mulino a palle o si fanno scoppiare con il riscaldamento, si lava indi con una quantità nota di acqua distillata e si analizza il liquido ottenuto. Vi sono naturalmente metodi più sofisticati, che escludono qualsiasi possibilità di contaminazione (ROEDDER, 1958).

Per i gas si può ricorrere alla spettrografia di massa, che permette di determinare, anche quantitativamente, il contenuto di  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$ ,  $CO$ ,  $SH_2$ , fluoro e composti organici (ZIMMERMANN, POTY, 1970).

Per i metalli pesanti si fa ricorso anche alla attivazione neutronica: il minerale viene irradiato in un reattore nucleare, indi introdotto in un analizzatore multicanale di raggi gamma.

Nello studio delle inclusioni fluide non si è operato sinora in modo sistematico e la messe di osservazioni è nel complesso alquanto scarsa. I risultati di solito non sono in contrasto con le altre osservazioni ma fanno intravedere tuttavia nuove spiegazioni e pongono nuovi problemi.

Per completare il panorama degli studi sulle inclusioni fluide vogliamo accennare qui ad alcuni risultati di maggior rilievo.

Tra i più importanti dati ottenuti con queste indagini vi è quello delle temperature di formazione dei giacimenti minerali, che risultano sensibilmente diverse e probabilmente più corrette di quelle ottenute con altri metodi geotermometrici, basati soprattutto su particolari associazioni mineralogiche, smistamenti o contenuto in ferro delle blende. Attualmente le determinazioni delle temperature di formazione dei minerali sono oggetto di revisione critica e certamente lo studio delle inclusioni potrà fornire validi dati di confronto.

La presenza di CO<sub>2</sub> liquida nelle inclusioni non permette l'impiego del metodo decrepitolometrico, infatti la sua temperatura critica è di 31,1 °C alla pressione di 72,95 atmosfere e pertanto il cristallo scoppia con il semplice calore della mano od al minimo urto, come dimostrano gli esempi di cristalli di quarzo e barite citati rispettivamente da SPEZIA (1904) e PERNA (1968). Un campione di quest'ultimo minerale con inclusioni costituite da anidride carbonica liquida è stato presentato dall'autore della presente nota al Convegno di Berna. La spiegazione della genesi di queste inclusioni non è agevole. Il minerale proveniva dal giacimento di Comeglians in Val Degano, studiato da DI COLBERTALDO e FERUGLIO (1964), nel quale si hanno vene di barite, calcite, fluorite, quarzo e minerali metallici accessori (bournonite, tetraedrite, blenda, galena e pirite), incassate nei calcari reticolari neri del Siluriano-Devonico, al contatto con scisti neri grafitici del Gotlandiano. Si può pensare che i carbonati, soggetti a diagenesi e metamorfismo, abbiano liberato anidride carbonica <sup>(1)</sup> ad altissima pressione che è stata imprigionata nella barite in fase di accrescimento; con il diminuire della temperatura il gas si è liquefatto. I cristalli si sono conservati, dopo l'apertura della galleria, per la bassa temperatura, aggirantesi sui 10 ÷ 15 °C.

Normalmente il liquido delle inclusioni è acqua, con un basso tenore di sali per la massima parte cloruro di sodio; la sua presenza, denunciata talvolta da cristallini cubici di salgemma nelle inclusioni, fa pensare che in molti casi la cristallizzazione sia avvenuta durante la diagenesi, in presenza di acque salate liberate dalla compattazione dei sedimenti.

Sono state eseguite spesso, come già detto, analisi chimiche per accertare il contenuto di metalli (Pb, Cu, Zn) nel liquido madre dei

---

<sup>(1)</sup> La liberazione di CO<sub>2</sub> per azione della pressione è dimostrata ad es. dalle sorgenti minerali di Pejo e Rabbi, allineate lungo la « linea di Pejo » in Val di Sole e dalle frequenti emanazioni di CO<sub>2</sub> incontrate nello scavo di gallerie idroelettriche nella zona. In una ricerca mineraria a Cellentino dai marmi cristallini fuoriusciva acqua molto carbonicata, tanto da rendere pericolosa l'atmosfera della galleria.

giacimenti. Si è trovato che le soluzioni erano estremamente diluite, dell'ordine di grandezza di  $0,001 \div 0,1$  grammi di metallo per litro di soluzione mineralizzante (ROEDDER, 1960).

La presenza di idrocarburi nelle inclusioni dei cristalli di quarzo, formatosi in seno alle rocce sedimentarie, è facilmente spiegabile. Le acque circolanti trasportano goccioline di olio minerale che si attacca al cristallo in via di accrescimento, a causa di fenomeni di tensione superficiale, finendo con il rimanere inglobato.

È arduo invece spiegare come si possano trovare tracce di idrocarburi anche in minerali che si trovano in seno a rocce magmatiche o metamorfiche, come nel caso di Corvara in Val Sarentina, ove il MORGANTE (1940) ha riscontrato la presenza di sostanza organica nella fluorite di quel giacimento idrotermale.

Con lo studio delle inclusioni fluide è possibile determinare il gradiente di temperatura in un filone od in un singolo cristallo ed anzi queste determinazioni sono più semplici di quelle delle temperature assolute, in quanto non è necessario calcolare i coefficienti correttivi, trattandosi di differenza di temperatura.

Come si è visto in questo brevissimo panorama, lo studio delle inclusioni fluide è in grado di fornirci preziose informazioni sull'ambiente fisico e chimico in seno al quale si sono formati i minerali dei giacimenti minerali. Queste tecniche non sono altro che uno dei tanti metodi di studio, con ben precisi limiti di applicazione, e sono ancora in fase di perfezionamento e di sperimentazione, con possibilità di dati divergenti o contrastanti. Sono indispensabili ancora studi approfonditi e determinazioni ripetute con analisi statistica dei dati.

Certamente in futuro, con l'affinarsi delle tecniche di studio e con le migliori conoscenze che verranno acquisite, lo studio delle inclusioni fluide nei cristalli si estenderà e diverrà un metodo di uso comune nello studio dei minerali e dei giacimenti minerali.

*RIASSUNTO - L'A. passa brevemente in rassegna i metodi di studio delle inclusioni fluide dei minerali, con i quali si ottengono importanti dati sulle temperature di formazione e composizione delle soluzioni mineralizzanti.*

*SUMMARY - The A. gives a short survey of the methods for the study of inclusions in minerals. With these methods important data about formation temperatures and the composition of mineralizing solutions are given.*

## BIBLIOGRAFIA

- CAVENAGO BIGNAMI S., 1965 - *Gemmologia*. Vol. in 8°, pp. XLVII, 1390, figg. 1083, Hoepli, Milano.
- DEICHA G., 1955 - *Les lacunes des cristaux et leurs inclusions fluides*. Vol. in 8°, pp. 117, figg. 13, Masson e C., Paris.
- FULLMAN R. L., 1969 - *La crescita dei cristalli*. In: « La fisica e l'atomo ». Articoli pubblicati in « Scientific American », pp. 26-31, figg. 9. (Titolo orig.: « The Growth of Crystals, Scientific American », 1955). Zanichelli Ed., Bologna.
- FRIEDLAENDER C. G. I., 1970 - *Brownian Movement in Quartz. An Attempt at Quantitative Evaluation*. Schweiz. Miner. Petrogr. Mitt., 50, n. 1, pp. 13-20, figg. 2.
- PERNA G., 1968 - *Geotermometria dei minerali di ganga dei giacimenti minerari*. Atti del Symp. Int. Giac. Min. Alpi, Trento - Mendola, 11-18 sett. 1966, pp. 989-1003, figg. 10, Trento.
- PERNA G., 1969 - *Una nuova apparecchiatura per lo studio della decrepitazione*. Rend. Soc. It. Mineral. Petrol., 25, n. 1, pp. 107-119, figg. 1, tavv. 5.
- PULOU R., DE CROIZANT J., GRITTI C., 1970 - *Enregistreur décrepito-métrique appliqué a la détermination des températures de dépôt des minéraux*. Schweiz. Miner. Petrogr. Mitt., 50, n. 1, pp. 59-66, figg. 3.
- ROEDDER E., 1958 - *Technique for the extraction and partial chemical analysis of fluid-filled inclusions from minerals*. Ec. Geol., 53, n. 3, pp. 235-269, figg. 6.
- ROEDDER E., 1960 - *Fluid inclusions as samples of the ore-forming fluids*. Int. Geol. Congr., XXI Session, Part. XVI, pp. 218-229, figg. 6, Copenhagen.
- ROEDDER E., 1962 - *Studies of fluid inclusions. I. Low temperature application of a dual-purpose freezing and heating stage*. Ec. Geol., 57, n. 6, pp. 1045-1061, figg. 4.
- SANTOS S., 1968 - *La Esmeralda*. Op. in 4°, pp. 121, figg. 73, Instituto Gemológico Español, Madrid.
- YERMAKOV ET ALII, 1956 - *Research on the Nature of Mineral-forming Solutions with special reference to Data from Fluid Inclusions*. Trad. dal russo di V.P. Sokoloff, vol. in 8°, pp. 743, ill., Pergamon Press, London.
- ZIMMERMANN J. L., POTY B., 1970 - *Etude par Spectrométrie de masse de la composition des fluides dans les cavités alpines du massif du Mont Blanc*. Schweiz. Miner. Petr. Mitt., 50, n. 1, pp. 99-108, figg. 4.



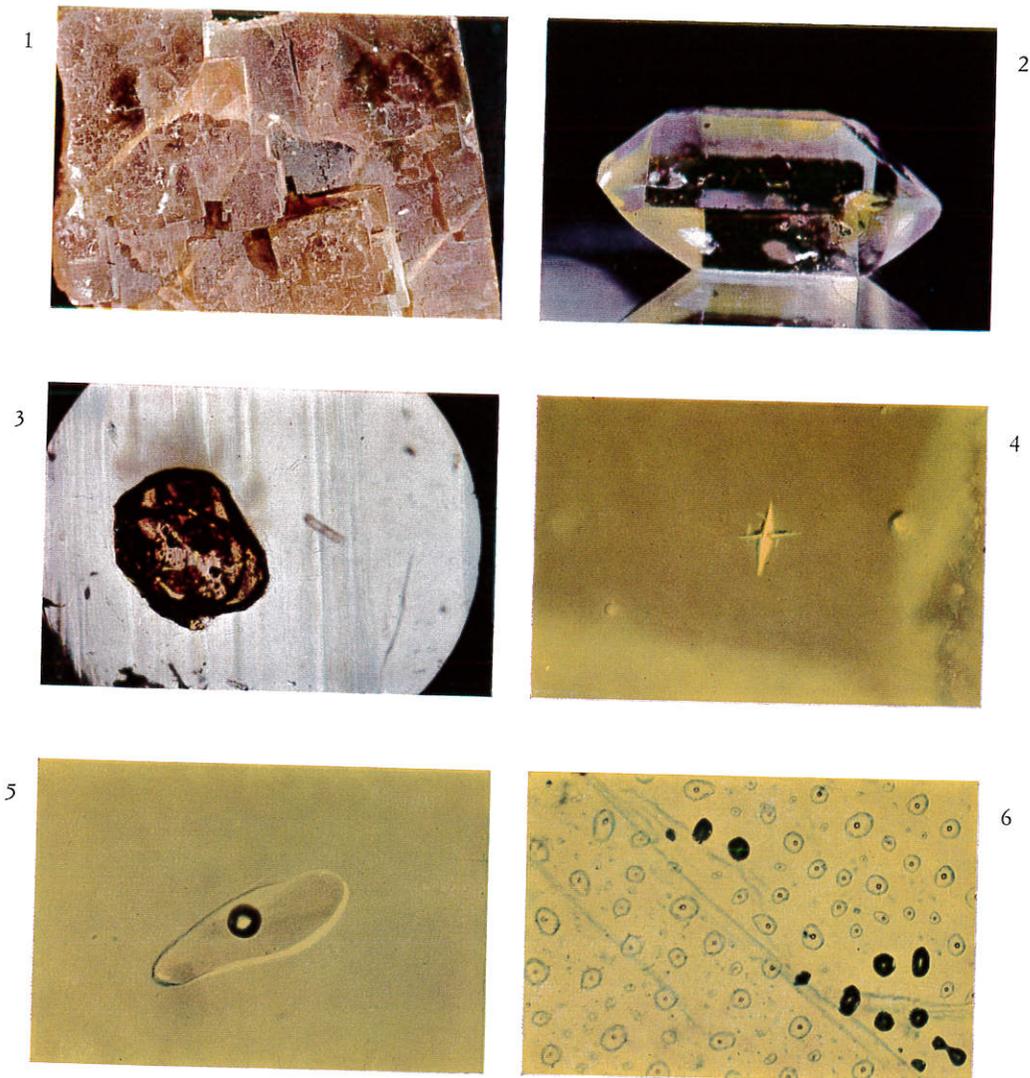


Fig. 1 - Fluorite della Miniera di Vignola. La superficie del cristallo presenta numerosi scalini di accrescimento. Raramente queste irregolarità sono così evidenti (1/2 della grandezza naturale). - Fig. 2 - Cristallo di quarzo di Selvino (Val Seriana). Quarzo limpido ed incolore con numerosissime inclusioni, per lo più di idrocarburi. Il colore nella fotografia è dato dalla particolare illuminazione adottata per la fotografia (ingrandimento 4 x). - Fig. 3 - Cristallo di quarzo di Selvino (Val Seriana). Lo stesso cristallo della figura precedente, visto al microscopio. La grossa inclusione è di idrocarburi, sulla destra di questa vi sono inclusioni liquido-gassose (ingrandimento 15 x). - Fig. 4 - Miniera di Vignola. Cristallo geminato di arsenopirite incluso in fluorite trasparente (ingrandimento 250 x). - Fig. 5 - Fluorite della Miniera di Corvara. - 12 Inclusione liquido gassosa molto regolare. Poco discosto dalla bolla di gas, sulla sinistra, si può intravedere un puntino, dovuto alla presenza di una terza fase, probabilmente solida (ingrandimento 400 x). - Fig. 6 - Fluorite della Miniera di Corvara, livello Cima. Famiglia di inclusioni primarie bifasi, di diverse dimensioni ma con eguale rapporto di riempimento. Le bolle di gas delle inclusioni più piccole sono animate da agitazione per moto browniano. Le inclusioni sono in un piano prossimo alla superficie del cristallo ed un graffio ha danneggiato alcune inclusioni che si sono vuotate del loro contenuto ed appaiono nere (ingrandimento 60 x). Le inclusioni grandi e quelle piccole giacciono in due piani paralleli distanti tra loro 0,08 mm.

