STUDIO SULLE CONCREZIONI DI GROTTE LAVICHE FORMATESI DALL'ERUZIONE 1991-1993 SUL MONTE ETNA

Marco Liuzzo

Centro Speleologico Etneo, Via Cagliari 15 - 95127 Catania, Italia

Riassunto

La colata lavica del 1991-1993 sul M. Etna ha dato origine a numerose grotte di scorrimento in tutta la sua lunghezza, che sono state esplorate dagli speleologi del Centro Speleologico Etneo non appena la temperatura interna ne ha consentito l'accesso. La prima grotta ispezionata è stata la Grotta Cutrona nella quale sono state riconosciute concrezioni di diversi minerali alcuni dei quali per la prima volta al mondo segnalati; ciò ha dato impulso alla ricerca, in altre due grotte della stessa colata, di eventuali concrezioni in esse esistenti al fine di campionare diffusamente le specie mineralogiche ed ipotizzare i processi genetici che ne sono all'origine. L'analisi delle concrezioni è stata condotta in due diversi modi: con il consueto metodo delle polveri tramite diffrattometria ai Raggi X, e con il metodo della spettroscopia IR nel tentativo di confrontare e valutare l'efficacia di questo secondo mezzo d'indagine in questa particolare applicazione. Le concrezioni rilevate sono costituite in netta prevalenza da Halite, in accordo con studi precedenti. Per quanto concerne le manifestazioni di imponente concrezionamento nei tunnel lavici della colata del 1991-1993, si ritiene che siano strettamente connesse ai fenomeni pneumatolitici che agiscono all'interno delle stesse lave, cioè legate alle fumarole prive di radice.

Introduzione

Il Monte Etna è un vulcano a struttura complessa che si eleva al di sopra della pianura catanese fino ad una quota di circa 3300 metri.
Il 14 dicembre del 1991 inizia un'eruzione che dura sedici mesi terminando nel marzo del 1993. Da una quota di circa 2400 metri, nell'alta parete Ovest della Valle del Bove, si apre una fessura eruttiva che da' origine alla colata che quasi raggiungerà l'abitato di Zafferana, comune pedemontano sito nel versante Est del vulcano, coprendo una distanza dalle fratture eruttive approssimativamente di 8.5 km.
A seguito di una intensa campagna di ricerca delle grotte formatesi dalla colata, condotta dal Centro Speleologico Etneo fin dal termine dell'eruzione, sono state scoperte diverse cavità, ma solo alcune sono state esplorate completamente in quanto la maggioranza di quelle segnalate erano ancora troppo calde per entrarvi.
Lungo il percorso della colata, in funzione delle caratteristiche chimico-fisiche della lava nonché delle peculiarità topografiche del terreno, si sono formate diverse "grotte di scorrimento"; tutti i tunnel lavici ispezionati si sono formati in lave 'a-'a, come per la maggioranza delle gallerie esistenti sull'Etna (Licitra, 1983).
La prima di queste grotte completamente esplorata è stata la Grotta Cutrona (MC1), nella quale è stato scoperto un intenso fenomeno di concrezionamento al suo interno (Forti et al., 1994). In seguito, premiati dalla spettacolarità ed abbondanza delle concrezioni trovate, sono state avviate indagini in altre grotte di scorrimento della stessa colata, in particolare a monte della Grotta Cutrona in prossimità della frattura eruttiva (Grotta del Fumo, vedi fig. 1), e a valle della stessa, appena sotto il Salto della Giumenta in Val Calanna (Grotta S.G.2). Le condizioni termiche in queste grotte hanno consentito l'esplorazione solo in tempi successivi.

Fig. 1 – Mappa schematica del territorio dell'Etna, posizione della colata lavica del 1991-93 e dei condotti analizzati.

Nonostante fosse trascorso più di un anno dal termine dell'eruzione, anche in queste grotte sono state rinvenute abbondanti quantità di concrezioni, se pur non paragonabili a quanto trovato nella Grotta Cutrona.

Le grotte in cui sono stati effettuati i campionamenti sono poste a distanza diversa dalle bocche dell'eruzione del 1991-1993, in particolare la Grotta del fumo è in parte coincidente con la frattura eruttiva (vedi fig. 2), viceversa la Grotta S.G.2 dista dalle suddette fratture circa 5.5 km. La Grotta Cutrona, di cui si era già a conoscenza, ricade in una zona intermedia. Ciò ha indotto l'autore a verificare una possibile variazione mineralogica nelle concrezioni campionate che fosse correlabile con la distanza. Si è proceduto quindi ad una analisi delle specie mineralogiche campionate tramite diffrattometria ai Raggi X con il metodo delle polveri e spettroscopia IR.

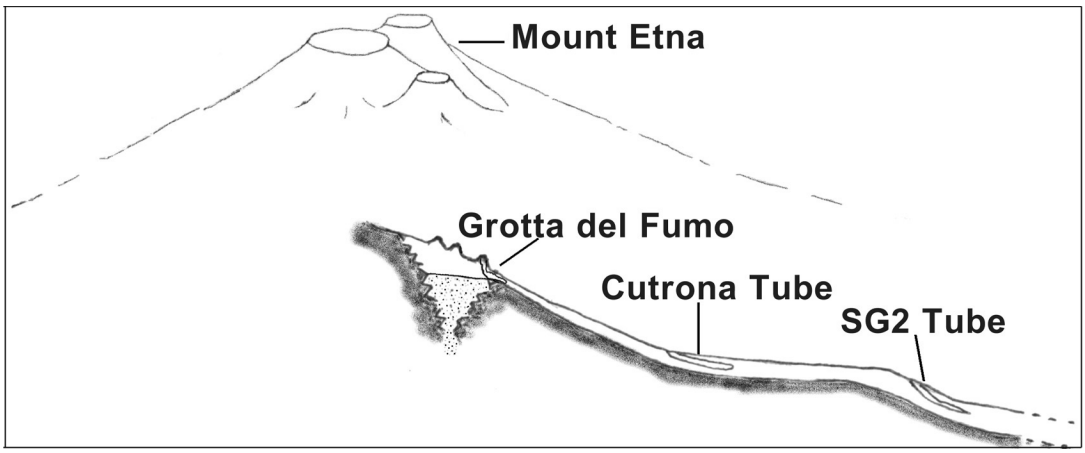
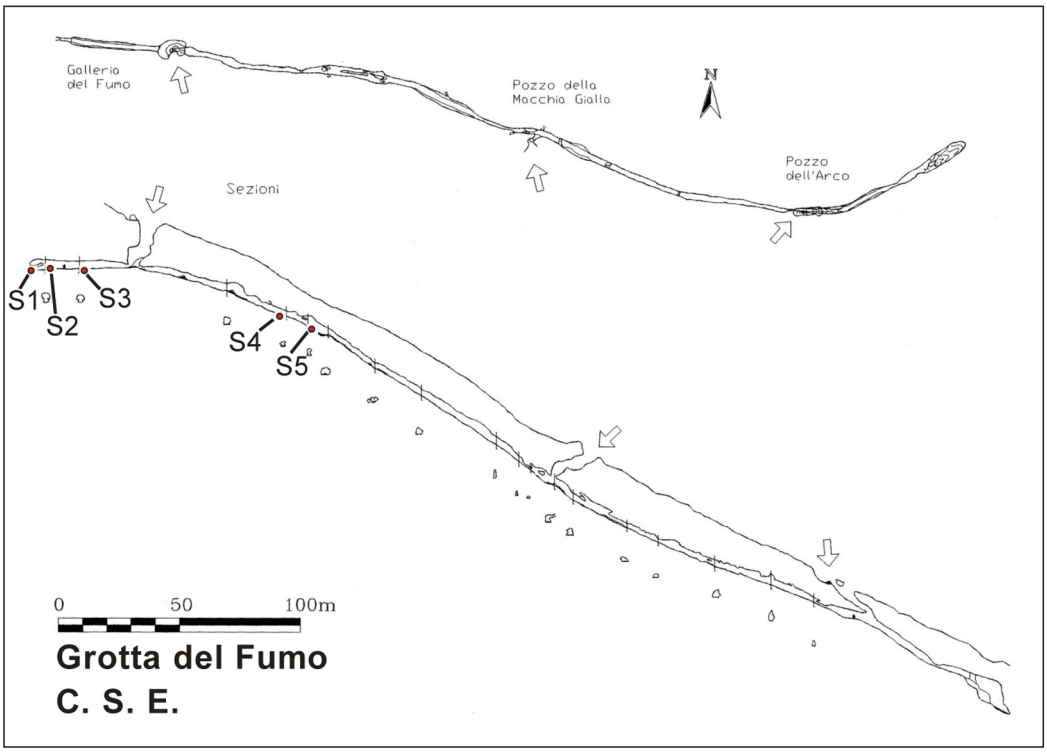


Fig. 2 – Sezione schematica della colata lavica del 1991-93; è importante evidenziare la parziale sovrapposizione tra la Grotta del Fumo e la frattura eruttiva.



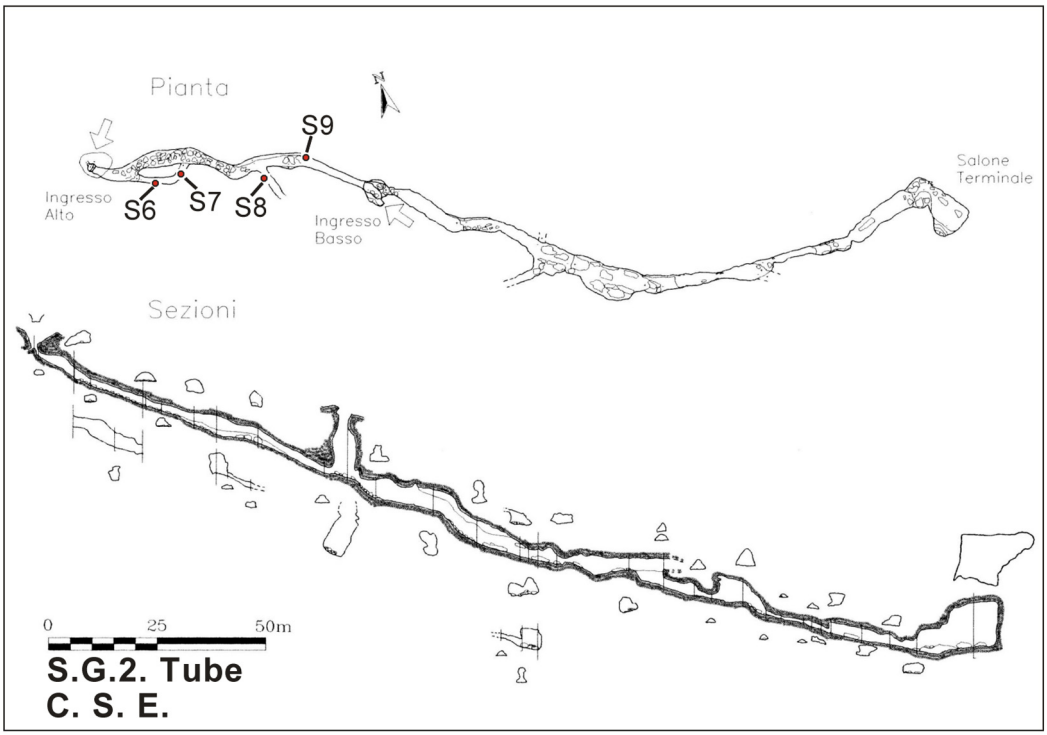


Fig. 3 – Topografie della G. del Fumo e della G.S.2. I contrassegni rossi indicano i punti in cui sono stati prelevati i campioni. Le sigle indicano i numeri identificativi dei campioni.

Descrizione dei campioni

La campionatura è stata effettuata in funzione delle caratteristiche organolettiche e morfo-cromatiche delle concrezioni; inoltre, i campioni sono stati prelevati in più punti all'interno di ogni grotta.

Di seguito è data una descrizione dei campioni raccolti nelle due grotte descritte nel testo.

Alta Valle del Bove - Grotta del Fumo (vedi fig. 3) - campionamenti effettuati il 5 Giugno 1995

Campione 1: si presenta in aggregati grumiformi molto simili al sale marino, umido al tatto e vitreo d'aspetto; non sembrano molto salati.

Campione 2: si presenta come concrezione a crostoni a tratti coralloide, di colore bianco latte, di sapore salato. Si riduce facilmente in polvere (sempre bianca). Al tatto risulta anidra.

Campione 3: si presenta in aggregati sferoidali di colore rosso arancio traslucido, salato al palato ed umido al tatto.

Campione 4: si presenta come concrezione a crostoni di colore marrone chiaro, salata e asciutta al tatto.

Campione 5: si presenta di colore bianco latte traslucido ; forma aggregati sferoidali umidi al tatto, ricoperti di una patina di impurezze sferoidali (ma di colore latte candido all'interno); salato.

Salto della Giumenta - Grotta S.G.2 (vedi fig. 3) - campionamenti effettuati il 11 Novembre 1995

Campione 6: concrezione di colore bianco latte; stalattite ricca di vacuoli originati dall'acqua di percolazione. Le forme stalattitiche sono caratterizzate da una crescita in lunghezza di cannule lisce oppure ricche di protuberanze globiformi, queste spesso spaccate rendono nel complesso un aspetto vacuolare alla concrezione.

Campione 7: concrezione di colore bianco latte coralliforme di forma vagamente somigliante a piccole felci.

Campione 8: concrezione di colore bianco - bianco grigio, polverulenta, ritrovata all'inizio del ramo Sud in ambiente di forte corrente d'aria calda. Le concrezioni sembrano essere costituite da piccoli batuffoli globulari simili a muffa.

Campione 9: rilevato nella parte terminale del ramo Sud in condizioni di scarsa o nulla corrente d'aria (già a bassa T). La concrezione è di colore bianco latte con lucentezza vitrea. La porzione più interna è più simile al sale vitreo trasparente.

Metodi delle analisi e risultati

Sono due i metodi scelti per il riconoscimento delle specie mineralogiche che costituiscono le concrezioni. L'analisi dei campioni è stata eseguita tramite spettroscopia infrarossa (IR) e diffrattometria ai Raggi X con il metodo delle polveri; quest'ultimo rappresenta uno dei metodi d'indagine più comuni e affidabile per la diagnostica mineralogica. Viceversa la spettroscopia IR non è comunemente impiegata per questo tipo di analisi, ma è stata utilizzata in questo lavoro in quanto offre diversi vantaggi tra i quali la rapidità d'esecuzione e, particolarmente utile in questo specifico caso, perché necessita di piccolissime quantità di minerale per essere eseguita, mediamente sono stati utilizzati 2 mg di concrezione per campione.

I campioni sono stati ridotti in polvere per essere analizzati con entrambe le tecniche d'indagine.

Per i diffrattogrammi è stato utilizzato un diffrattometro Philips corredato di un goniometro a geometria Bragg-Brentand PW 1130 ([1]). Sugli stessi campioni sono stati ottenuti gli spettri IR utilizzando uno spettroscopio infrarosso a trasformata di Fourier (FTIR) Perkin-Elmer mod. 1710 ([1]), che consente di rilevare spettri IR nell'intervallo di lunghezze d'onda comprese tra 4400 e 400 cm^{-1} (2,27 - 25 μm). Per l'acquisizione degli spettri in trasmittanza è stata utilizzata la tecnica delle pasticche di KBr, cioè preparando pasticche di 600 mg di solo KBr, pressate a 8 tonn/cm^2 per 1,5 min., in modo da rilevare lo spettro di fondo (background) da rapportare alla pasticca contenente il campione da analizzare. Questa è stata ottenuta mescolando piccole quantità di campione (circa 2 mg)

([1]) Il Diffrattometro utilizzato è dell'Istituto di Chimica dell'Università di Catania; lo Spettroscopio è dell'Istituto di Astrofisica dell'Università di Catania.

con circa 600 mg di KBr sempre in polvere per ottenere una pasticca la cui massa e il cui spessore sia confrontabile con quella di solo KBr.
Dalle due tecniche di analisi sono stati ottenuti i rispettivi diagrammi (fig. 4) per ogni campione; i risultati sono sintetizzati nella Tabella 1.

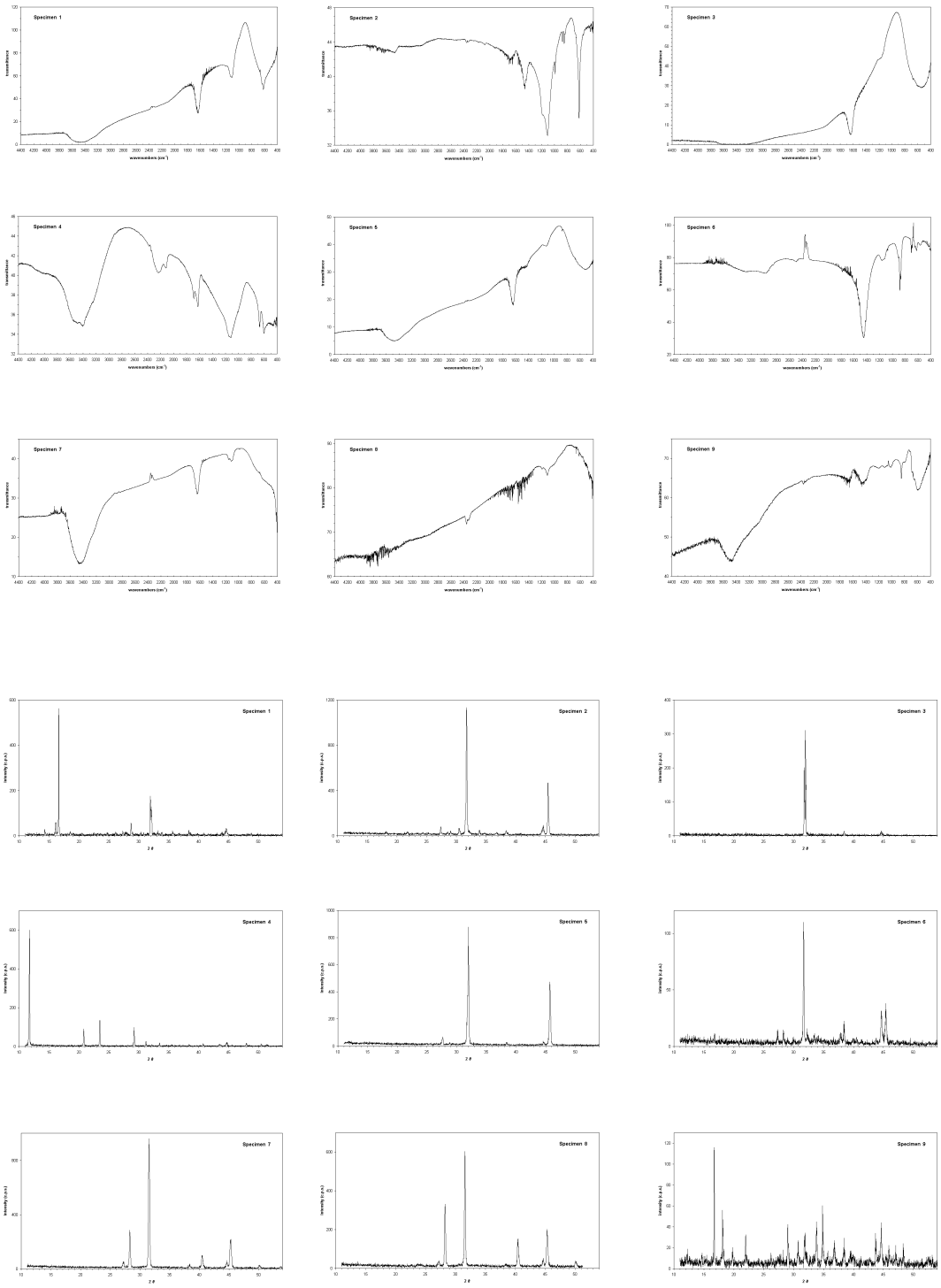


Fig. 4 – Spettri IR e diffrattogrammi dei campioni.

TABELLA 1			
CAMPIONI		*METODO IR*	*METODO XRD*
Grotta del Fumo	Campione 1	probabilmente Epsomite ($MgSO_4.7H_2O$)	Nessuna banda riconoscibile
	Campione 2	Carbonato (probabilmente $CaCO_3$ instabile) + $MgSO_4$. Il campione è anidro	Halite
	Campione 3	Abbondanza d'acqua e nessuna banda riconoscibile	Nessuna banda riconoscibile
	Campione 4	Gypsum	Gypsum
	Campione 5	Nessuna banda visibile	Halite
Condotto S.G.2	Campione 6	Carbonato + Solfato (probabilmente di Mg)	Halite + Thenardite
	Campione 7	Nessuna banda visibile	Halite + Sylvite
	Campione 8	Nessuna banda visibile	Halite + Sylvite
	Campione 9	Nessuna banda visibile	Trona

Tabella 1. Risultati delle analisi dei campioni e comparazione dei due metodi di ricerca.

Discussione sui risultati delle analisi

I risultati delle analisi hanno permesso di riconoscere i più diffusi tipi di minerali di grotte laviche descritti in letteratura. In particolare sono stati riconosciuti Halite (la più abbondante), Gesso, Sylvite (sempre associata a Halite), Thenardite e Trona (le ultime due meno abbondanti). Non sono, invece, state trovate specie nuove, né rare. Questo è probabilmente da ricollegare al fatto che le grotte prese in esame sono state esplorate a più di un anno dal termine della eruzione, cioè dopo che almeno una stagione piovosa può aver determinato l'inizio dell'inesorabile dilavamento delle concrezioni (che sono tutte estremamente solubili); ciò potrebbe aver causato la scomparsa proprio di quei minerali presenti nelle prime fasi del concrezionamento ma quantitativamente meno abbondanti, mentre hanno resistito a questo processo solo quelle specie presenti in maggiore quantità.

A parziale conferma di quanto detto alcuni campioni sono stati prelevati in zone asciutte, altri in ambienti in cui il percolamento delle acque meteoriche era invece molto attivo e gli stessi campioni si presentavano umidi e di aspetto deliquescente ([2]).

In particolare, il campione 3 si è rivelato il più ricco di acqua e di questo non è stato possibile riconoscere la specie mineralogica tramite RX. Né la tecnica IR si è rivelata in questo caso efficace, essenzialmente perché lo strumento usato consente di rilevare spettri IR nell'intervallo di lunghezze d'onda comprese tra 4400 e 400 cm^{-1}, nel quale i più comuni sali presenti nelle grotte studiate cioè Halite e Sylvite risultano trasparenti cioè non presentano bande d'assorbimento caratteristiche. La tecnica consente invece di riconoscere l'acqua presente nei minerali e di stimarne sommariamente la quantità relativa. Questo ha permesso di effettuare un esperimento sul campione 3, usufruendo del confronto con il campione 2, risultato composto di NaCl dall'esame ai RX (fig. 5).

([2]) Si tenga presente che la grotta a quota più elevata (a circa 2150 metri s.l.m.) ricade in una zona in cui a causa delle caratteristiche topografiche del terreno si conserva la neve fino a Luglio.

Lo spettro IR del campione 2 (verde nella fig. 5) mostra l'assenza di acqua che è invece abbondantemente presente nel campione 3 (rosso). In quest'ultimo si può notare infatti la presenza di una ampia banda d'assorbimento compresa nell'intervallo spettrale tra 3700 e 3200 cm^{-1} ed un altro picco a circa 1640 cm^{-1}. Queste bande caratterizzano l'acqua essendo dovuti a stretching O-H il primo e a bending H-O-H il secondo.
Successivamente sono stati realizzati due nuovi spettri sul campione 3A (nero in figura), ottenuto dal campione 3 dopo averlo asciugato in stufa a 40 °C ([3]) per 7 giorni e successivamente riessiccato dopo la polverizzazione per un giorno, sempre alla stessa temperatura, ed il campione 2A (blu) ottenuto dal campione 2 dopo averlo sottoposto in ambiente umido per circa 4 ore. Dal confronto degli spettri sembrerebbe che la composizione dei due campioni sia confrontabile. Si nota infatti che l'assorbimento di acqua da parte del campione 2 altera la forma dello spettro determinando essenzialmente il mescolamento dei due picchi tra 900 e 800 cm^{-1} in un picco unico, così come il picco ben definito a 620 cm^{-1} del campione 2 tende a perdere tale aspetto; nel complesso la sovrapposizione tra gli spettri dei due campioni (2A e 3) rende visibile le analogie osservate.
Il campione 3A essiccato mantiene ancora una notevole quantità di acqua, è però interessante la comparsa di un nuovo picco a 1150 cm^{-1} (raffrontabile con quello del 2 e 2A). Nello spettro del campione 3A compare un picco anomalo a circa 2350 cm^{-1} che non deve essere preso in considerazione in quanto rappresenta la CO_2 atmosferica variabile continuamente all'interno dello spettroscopio e quindi differente dalla quantità presente durante l'acquisizione dello spettro di fondo.
In conclusione, non avendo ottenuto nessuna informazione dall'analisi ai RX del campione 3, si può solo supporre, in via ipotetica, che il campione 3 sia costituito (almeno in gran parte) da Halite imbibita d'acqua, in accordo con quanto percepibile dalle caratteristiche organolettiche del campione.
Infine si vuole sottolineare che i risultati ottenuti dall'analisi dei campioni tramite spettroscopia IR, non sempre hanno fornito risposte definitive circa le specie mineralogiche che costituiscono le concrezioni. Ciò è forse imputabile al tipo di strumento usato, si ritiene infatti di poter ottenere una migliore capacità investigativa utilizzando i modelli che consentono l'analisi spettrale spinta fino ai 45 cm^{-1} (222.2 μm). Ma va comunque detto che anche l'analisi diffrattometrica non risolveva più efficacemente il dato mineralogico, ciò induce l'autore a

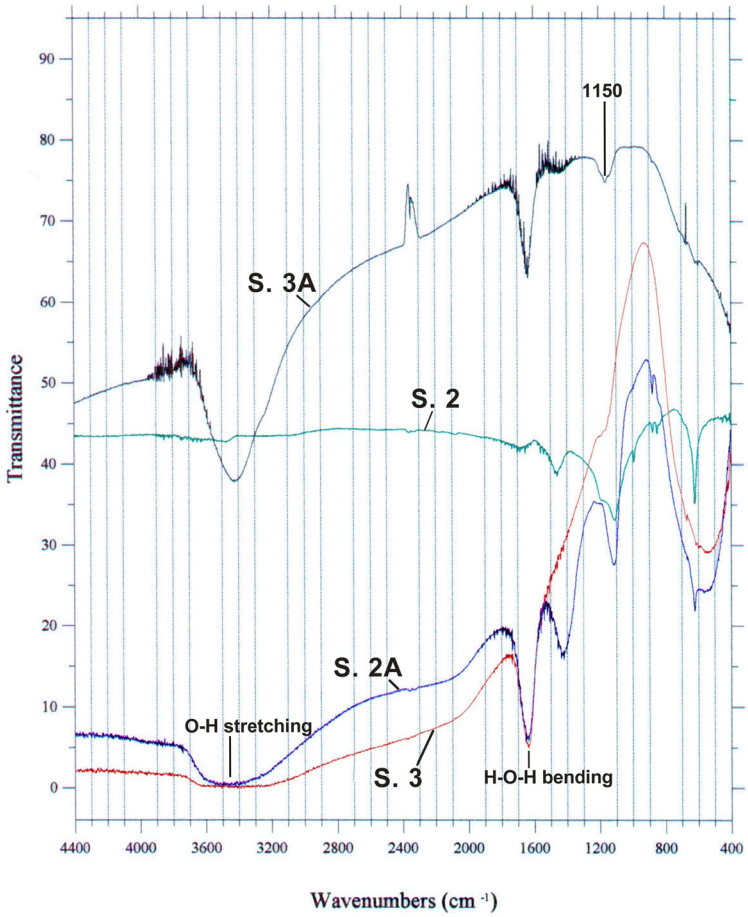


Fig. 5 – Spettri IR per la comparazione dei campioni 2, 3 e dei campioni modificati (vedi testo) 2A e 3A.

([3]) La temperatura è stata scelta come compromesso tra l'esigenza di "asciugare" quanto possibile il campione dall'acqua in eccesso e non produrre una variazione di fase al campione del quale non si conosceva ancora la composizione.

ritenere l'analisi mineralogica condotta tramite spettroscopia IR un ausilio molto interessante se associata alla analisi diffrattometrica e che merita ulteriori verifiche.

Ipotesi genetiche

Una delle caratteristiche più notevoli delle grotte di scorrimento appena formate è legata alle ingenti quantità di concrezioni che vi hanno sede.
La relativa abbondanza di cloruri, principali costituenti di queste concrezioni, ha fatto ritenere possibile apporti profondi di acqua marina alla struttura vulcanica dell'Etna (Forti et al. 1994). Chi scrive ritiene, invece, che la presenza dei sali sia da collegare ai processi di degassamento della lava alla stessa stregua dei processi di "differenziazione pneumatolitica" (Rittman, 1976) o "gaseaus transfer" di Fenner, che interessa il magma in ambiente vulcanico e che porta alla concentrazione dei sublimati, in particolare alogenuri. Nei sistemi magmatici i parametri che governano il meccanismo di formazione dei sublimati sono la P e la T, che consentono una prima separazione dei gas, come fase indipendente del magma, e il trasporto in superficie con riprecipitazione nelle zone vulcaniche ad attività fumarolica.
Nel nostro caso il processo interesserebbe però la lava fuoriuscita dalle bocche eruttive e quindi soggetta a P e T ben diverse dai sistemi magmatici. Ciò lascia intendere che il meccanismo di formazione dei sali di grotta è legato al degassamento di quei gas ancora contenuti nelle lave, vale a dire quelli che determinano la formazione delle "fumarole prive di radice"([4]). Queste lave sicuramente contengono un quantitativo di gas di molto diminuito dalla perdita massiccia nella zona delle bocche (Swanson e Fabbi, 1973; Peterson e Swanson, 1974), e la cui composizione è probabilmente parecchio impoverita degli elementi più volatili, ma ancora capaci di favorire lo spostamento di alcune fasi solide, che per adesione ai gas, formano un sistema meno denso del liquido nel quale sono immerse; ciò determina la fuoriuscita di bolle di gas a partire dalla vescicolazione delle lave fino alle manifestazioni fumaroliche degli ultimi stadi del raffreddamento. Nel tragitto della bolla di gas dall'interno della lava verso l'esterno si avrà all'interfaccia lava/aria una variazione di P e T, ed essendo le reazioni di formazione dei composti metallo alogeni generalmente endotermiche, gli elementi trasportati dal gas vengono poi ceduti.
Questo processo determina una "lisciviazione" delle lave portando alla concentrazione di minerali in superficie e quindi ad un loro accumulo. Il meccanismo si manifesta continuamente all'interno dei tubi lavici, favorendo la deposizione di minuti minerali nelle fratture, nei vacuoli della volta e delle pareti della grotta e in tutto l'intorno in cui il gas interagisce con l'esterno.
La massa gassosa calda che porta con sé tutti i componenti chimici dei minerali potenziali, è detta "convoglio mineralizzante" (Gottardi, 1978). In questo convoglio mineralizzante (in pratica aerosol) si possono trovare tutti gli elementi che poi danno origine ai minerali di grotta o per diretta precipitazione o per fenomeni d'alterazione all'aria o all'acqua. Ad esempio la presenza di S (rilevato nella grotta Cutrona da Forti et al., 1994) è da legare all'esposizione all'aria di acido solfidrico in soluzione acquosa, poiché l'ossigeno dell'aria lo ossida a S.

Altro esempio in cui alcuni metalli possono essere mantenuti nella fase gassosa come alogenuri (in particolare come cloruri) è:

$$\underset{\text{(gas)}}{2FeCl_3 + H_2O} \;\; « \;\; \underset{\text{(ematite)}}{Fe_2O_3} + 6HCl$$

([4]) In parte inquinati dai "gas risorgenti", nome con il quale si individuano quei gas provenienti da sostanze organiche e/o suolo ricoperte dalla colata. Ma l'eruzione del 91-93 ricade all'interno della Valle del Bove dove si sovrappone ai campi di lava di precedenti eruzioni dove in particolare nell'alta Valle del Bove il terreno era privo di vegetazione o di forti spessori di suolo.

In accordo con il comune chimismo delle lave etnee esempi di molecole che partecipano alla cristallizzazione e di quelle che migrano nei gas e vengono a giorno con le fumarole sono:

$$\underset{\text{Ab}}{2NaAlSi_3O_8} + \underset{\text{Di}}{CaMgSi_2O_6} + \underset{\text{Ol}}{5Mg_2SiO_4} + \underset{\text{gas}}{2HCl} \;«\; \underset{\text{An}}{CaAl_2Si_2O_8} + \underset{\text{En}}{11MgSiO_3} + \underset{\text{gas}}{2NaCl + H_2O}$$

oppure

$$\underset{\text{Ab}}{2NaAlSiO_8} + \underset{\text{Di}}{CaMgSi_2O_6} + \underset{\text{Gas}}{HCl} \;«\; \underset{\text{An}}{CaAl_2Si_2O_8} + \underset{\text{En}}{MgSiO_3} + \underset{\text{Qz}}{5SiO_2} + \underset{\text{Gas}}{2NaCl + H_2O}$$

l'equilibrio di tali reazioni si sposta verso destra al diminuire della pressione con successiva fuga dei gas.
A questo punto possiamo distinguere quattro fasi che trasformano i minerali prodotti dalla concentrazione pneumatolitica nelle concrezioni di grotta:

I) i minerali, a seguito del degassamento della lava durante il raffreddamento, si depositano in tutto l'intorno della colata; i sali così formatisi si accumulano in minuti cristalli nelle cavità nelle fratture e sulla superficie della lava appena formata, possono quindi subire eventuali ulteriori variazioni a seguito dell'esposizione all'aria e all'umido;
II) quando la temperatura scende sotto i 100 °C, permettendo la circolazione di acqua come fase liquida, i sali prima prodotti vengono mobilizzati dalle acque meteoriche e trasportati all'interno delle cavità attraverso le numerose fratture che interessano il tunnel lavico.
III) successivamente si ha una rielaborazione attraverso processi pseudocarsici, che si innescano all'interno della cavità e che portano alla precipitazione con meccanismo analogo a quanto avviene nelle grotte propriamente carsiche formando diverse tipologie di speleotemi;
IV) in un successivo momento la deposizione può avvenire direttamente all'interno della grotta per precipitazione diretta dagli aerosol fuoriuscenti dalle fratture della cavità e da quei punti della colata ancora ad alta temperatura, senza con ciò che si passi attraverso la fase della solubilizzazione in acque meteoriche. In questo caso i depositi possono creare a seguito delle forti correnti di aria (più precisamente correnti di aerosol) delle esili concrezioni filiformi che si accrescono su concrezioni preesistenti formatesi attraverso il meccanismo di cui al punto III) e quindi temporalmente successive.

Conclusioni

Le concrezioni nelle grotte laviche formatesi nei primi stadi di raffreddamento delle cavità, resistono per poco tempo dopo la loro formazione. Essendo queste estremamente solubili e metastabili non lasciano traccia o quasi della loro esistenza, e vengono subito dilavate dalle acque meteoriche che interessano la grotta. Ciò ha determinato, in contrasto con la spettacolarità del fenomeno, una scarsa produzione scientifica sulla genesi delle concrezioni di prima formazione.
L'indagine svolta in questo lavoro ha permesso di riconoscere la presenza di sali già segnalati nella Grotta Cutrona (Forti et al., 1994), lasciando ritenere che i cloruri siano i minerali che si formano in maggiore quantità nei primi stadi di raffreddamento delle grotte. La relativa scarsezza di specie minerali, in contrasto con la relativa abbondanza del fenomeno, è stata piuttosto imputata al parziale ritardo dell'esplorazione di queste nuove grotte già interessate da manifestazioni piovose stagionali, che pertanto hanno conservato solo le specie presenti in maggiore quantità.
La possibile genesi delle varie specie mineralogiche è da legare alla differenziazione pneumatolitica che porta alla concentrazione e quindi all'accumulo degli elementi pneumatofili in particolare alogenuri.

Inoltre pur essendo ipotizzabile una variazione nel chimismo delle concrezioni ritrovate a varia distanza dalle bocche effusive a seguito di un continuo impoverimento del convoglio mineralizzante al progredire della distanza dalle bocche stesse, dai dati ricavati non è oggi possibile trarre conclusioni di questo tipo, ma è chiaro che si prospetta come necessaria per il futuro, una attenta analisi geochimica dei gas fuoriuscenti dalle varie fratture delle colate laviche, con campionamenti che interessano l'intera lunghezza e che siano periodici nel tempo, per poter poi effettuare i dovuti confronti.
Deve altresì essere prevista una analisi sul chimismo della colata lavica per effettuare i calcoli che permettono di risalire alle equazioni schematiche delle reazioni che intervengono tra le lave e i gas che si liberano, nonché eventuali confronti con grotte già studiate.

Ringraziamenti

Desidero vivamente ringraziare il Prof. G. Strazzulla per tutti i suggerimenti e la disponibilità delle apparecchiature dell'Istituto di Astronomia, il Dr. N. Gulino per le apparecchiature dell'Istituto di Chimica. Desidero rivolgere un particolare ringraziamento alla Dr. G. Cimino per avermi coadiuvato nelle analisi, per i suggerimenti e per l'attenzione mostrata nella lettura critica di questo lavoro.

Bibliografia

- FORTI P., GIUDICE G., MARINO A., ROSSI A. - *La Grotta Cutrona (MC1) e le sue concrezioni metastabili*; Atti del II Convegno Regionale Siciliano di Speleologia - Area della Ricerca di Catania CNR - Catania 1994.
- GOTTARDI G. - *I Minerali* - Boringhieri - 1978.
- LICITRA G. M. - *Ipotesi dinamica sulla formazione delle gallerie di scorrimento lavico* - Atti IV Symposium Internazionale di Vulcanospeleologia - Catania 1983.
- PETERSON D. W. AND SWANSON D. A. - *Observed formation of lava tubes, during 1970-71 at Kilauea Volcano, Hawaii*. - Studies in speleology - William Pengelly Cave Studies Trust Ltd., London. 1974, vol. 2, part. 6, 209-222. Atti Seminario sulle grotte laviche. Catania 1974.
- RITTMANN A. - *I Vulcani e la loro attività* - Cappelli Editore - 1972.
- SWANSON D. A. E FABBI B. P. - *Loss of volatiles during fountaining and flowage of basaltic lava at Kilauea Volcano*, Hawaii. J. Res. U.S. Geol. Surv.,1; 649-658.