

September 1983

1983: Atti IV Symposium Internazionale di Vulcanospeleologia Catania, 12-17 Settembre 1983

Symposium on Vulcanospeleology International

Follow this and additional works at: https://digitalcommons.usf.edu/kip_talks

Recommended Citation

Symposium on Vulcanospeleology International, "1983: Atti IV Symposium Internazionale di Vulcanospeleologia Catania, 12-17 Settembre 1983" (1983). *KIP Talks and Conferences*. 3.
https://digitalcommons.usf.edu/kip_talks/3

This Conference Proceeding is brought to you for free and open access by the Karst Information Portal at Digital Commons @ University of South Florida. It has been accepted for inclusion in KIP Talks and Conferences by an authorized administrator of Digital Commons @ University of South Florida. For more information, please contact digitalcommons@usf.edu.

CENTRO SPELEOLOGICO ETNEO

ATTI IV SYMPOSIUM INTERNAZIONALE DI VULCANOSPELEOLOGIA

Catania 12-17 settembre 1983



CLUB ALPINO ITALIANO
Sez. dell'Etna

GRUPPO GROTTA CATANIA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
ISTITUTO DI SCIENZE DELLA TERRA
CATANIA

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
ISTITUTO INTERNAZIONALE DI VULCANOLOGIA
CATANIA



IV SYMPOSIUM INTERNAZIONALE
di
VULCANOSPELEOLOGIA

I TAVOLA ROTONDA SULLA GENESI DELLE
GALLERIE DI SCORRIMENTO LAVICO

Catania, 12 - 17 Settembre 1983

ATTI

REDAZIONE NICOLA BARONE, ORAZIO MIRABELLA e GIUSEPPE LICITRA
TRADUZIONI FRANCESCO FANCIULLI e GIUSEPPE LICITRA
GRAFICA FELICE BARONE

I N D I C E

5	Prefazione
7	Breve cronaca del Simposio e dei suoi Atti
9	Organigramma del IV Simposio Internazionale di Vulcanospeleologia
12	Iscritti
15	Programma

RELAZIONI

21	W.R.HALLIDAY - Progressi e problemi in vulcanospeleologia; una panoramica con particolare riferimento a caratteristiche insolite e complicazioni verticali nelle gallerie
25	V.CASTELLANI - Morfologie vulcaniche extraterrestri nel sistema solare
27	D.ZAMPIERI - Due tipi di grotte vulcaniche nel distretto del lago Myvatn (Islanda NE)
31	M.DEL MONTE, P.FORTI, E.RABBI - A proposito di alcune concrezioni delle grotte di lava dell'Etna
41	M.FULCHIGNONI - Attività vulcanica su Io
45	A.CINQUE, G.GUZZETTA - Le grotte a bolla del vulcano Fantale (Rift Etiopico)
53	C.WOOD - Morfologia e funzionamento dei sistemi di tubi lavici
65	F.CAVALLARO, G.PUGLISI, A.TRANCHINA - Primo contributo alla conoscenza del fenomeno vulcanospeleologico in contrada Guardiola Cantarella (S.Gregorio di Catania - Sicilia Orientale)
67	C.WOOD - Gruppi di grotte e meccanismi di espansione di campi di colate laviche alimentate da tubi
79	G.M.LICITRA - Ipotesi dinamica sulla formazione delle gallerie di scorrimento lavico
89	R.GREELEY, J.E.GUEST, C.WOOD - Morfologia e meccanismo di espansione del campo di lava pahoehoe della colata etnea del 1614-1624
93	C.D.OLLIER - Grotte laviche e colate laviche
115	R.ROMANO - Notizie statistiche sull'eruzione etnea del 1983
117	T.OGAWA - Sulla formazione delle grotte laviche
133	V.BELLA, F.BRUNELLI, A.CARIOLA, B.SCAMMACCA - Le grotte dell'Etna: stato attuale delle conoscenze
135	R.GREELEY - Il ruolo dei tubi di lava nell'espansione delle colate laviche: Terra ed altri pianeti e satelliti
149	A.MARINO, S.CUCUZZA SILVESTRI - Le grotte di scorrimento lavico dell'Etna (versante Sud) e le caratteristiche petrologiche delle colate. Nota preliminare

PREFAZIONE

Finalmente dopo quattro anni dalla sua conclusione, gli Atti del IV Simposio Internazionale di Vulcanospeleologia vedono la luce.

Era ora, dirá qualcuno, imputando al Centro Speleologico Etneo il ritardo nella pubblicazione e pensando che anche la nostra Associazione, come qualche altra in tempi non troppo lontani, passato l'entusiasmo del Simposio, abbia preferito dedicare le proprie energie (e perché no, anche i denari) ad attività piú proficue.

Questo qualcuno, legga la presentazione di questi Atti, qualche pagina piú avanti, scritta dal comitato di redazione, e vi troverá la spiegazione del nostro ritardo e capirá perché la stampa sia stata effettuata cercando di ottenere la massima economia: la somma richiesta per questa pubblicazione é stata ricavata dalle quote sociali.

Non voglio in questa presentazione tessere le lodi di questi Atti, i cui contenuti si commentano da soli, ma voglio invece sottolineare il lavoro editoriale che essi hanno richiesto.

In particolare ritengo giusto evidenziare il lavoro svolto da Nicola Barone che da solo ha battuto al word processor tutti i lavori, ha coordinato e stimolato il lavoro delle altre persone, costituendo il motore che ha permesso la realizzazione di questo lavoro.

Ritengo anche di dover ringraziare tutti i soci che hanno in qualche modo collaborato alla realizzazione di questa pubblicazione, tra questi Francesco Fanciulli e Giuseppe Licitra che hanno curato l'uno la prima stesura delle traduzioni dall'inglese all'italiano e l'altro che ha supervisionato tutto il lavoro.

Un particolare ringraziamento é doveroso nei riguardi di Felice Barone che ha curato la grafica e di tutti i partecipanti al Simposio che hanno avuto la pazienza di aspettare, senza troppo lamentarsi, la stampa di questi Atti.

Il Presidente del C.S.E.
Prof. Orazio Mirabella

BREVE CRONACA DEL SIMPOSIO E DEI SUOI ATTI

Il IV Simposio Internazionale di Vulcanospeleologia, organizzato dal Gruppo Grotte Catania del C.A.I. Sezione dell'Etna per celebrare il 50° anniversario della pubblicazione di "Le Grotte dell'Etna" (numero unico pubblicato dal C.A.I.-Etna nel 1933 a firma di Francesco Miceli, che costituì la base di partenza del Catasto delle Grotte dell'Etna), si è svolto a Catania e sull'Etna dal 12 al 17 settembre 1983.

La manifestazione, accuratamente preparata in ogni dettaglio in due anni di paziente lavoro, ha visto riuniti a Catania per un'intera settimana speleologi, vulcanologi, vulcanospeleologi e astrofisici provenienti da ogni parte del mondo. I contributi - numerosi, interessantissimi e ben articolati - hanno toccato gli aspetti più salienti della vulcanospeleologia, comprese le sue implicazioni spaziali riguardanti i corpi planetari di tipo terrestre (Luna, Marte e Venere) ed i satelliti dei pianeti esterni (vulcanismo attivo di Io).

La Tavola Rotonda sulla genesi delle gallerie di scorrimento lavico ha visto riuniti per la prima volta, intorno allo stesso tavolo, i "grandi avversari", i maggiori specialisti della materia: il geologo americano Ron Greeley, studioso del vulcanismo hawaiano e delle grandi coperture basaltiche nord-americane, e consulente della NASA per la stesura e l'interpretazione morfologica delle mappe della superficie di Marte e della Luna; il geomorfologo australiano Cliff Ollier, studioso del paleovulcanismo australiano e dei vulcani delle isole atlantiche meridionali, ed autore insieme con Brown della teoria genetica detta "della layered lava"; ed il geologo inglese Chris Wood, autore di numerosi studi comparati sul vulcanismo e sulle grotte vulcaniche di Islanda, Canarie, Hawaii ed Etna. Il dibattito è stato estremamente interessante, anche se non ha dato i risultati sperati poiché nessuno dei tre studiosi ha voluto fare concessioni agli altri e quindi non è stato possibile raggiungere uno "statement" collegiale che andasse al di là della generica ammissione che la materia richiede ancora lunghi ed accurati studi prima che si possa giungere ad una teoria genetica universalmente accettabile.

Nella seduta conclusiva del Simposio il Presidente dell'U.I.S., il geologo spagnolo Prof. Adolfo Eraso, si è fatto promotore di una mozione, approvata all'unanimità da tutti i partecipanti, che auspica la protezione delle aree vulcaniche della Terra dal degrado ambientale e dalla cementificazione, conservando intatta la loro "naturalità" quale patrimonio comune di tutto il genere umano.

Non'è mancata un'adeguata cornice escursionistica, con le gite pre-simposio alle "lave dei Dammusi" (eruzione del 1614-24) ed alla Grotta dei Tre Livelli (eruzione del 1792), le escursioni di studio a San Gregorio (lave preistoriche non datate, affioranti tra le lave del 122 a.C.), con ricevimento "quasi banchetto" in Municipio, ed alle grotte intorno a Monte Intralio (eruzione del 1595 ?), e le gite post-simposio al cratere dell'Etna ed alla Valle del Bove; e non sono mancati gli intermezzi turistici (gita a Siracusa) e mondani, con due riuscitissimi rinfreschi rustici in sede ("benvenuto" e "arrivederci") ed il memorabile banchetto di gala in un caratteristico ristorante dell'Etna (Camping "Mare-Neve" di Milo), nel corso del quale il mega-Presidente Eraso ha ricevuto dagli speleologi il battesimo con rosso e robustissimo vino dell'Etna.

Fin qui il Simposio. Chi vi ha partecipato ricorda bene quei giorni entusiasmati, divertenti, diversi e - speriamo - istruttivi, quindi è inutile scendere nei dettagli. Né una cronaca dettagliata varrebbe a vivificare la manifestazione per coloro che non vi hanno preso parte personalmente.

Ma dobbiamo anche accennare al dopo-simposio ed alla travagliata storia di questi Atti, sia per giustificare l'edizione italiana anziché inglese e quattro anni di ritardo, sia perché - sebbene l'ambiente speleologico italiano conosca già per sommi capi le nostre vicende - è bene che certi fatti vengano tenuti ben desti nella memoria di tutti e facciano meditare certi speleologi e tanti dirigenti di Sezioni del C.A.I.

Non dovremmo essere noi ad affermarlo, ma riteniamo con giusto orgoglio che il IV Simposio di Vulcanospeleologia sia stato un grande successo tra le tante manifestazioni speleologiche, sia per l'ottimo livello dei contenuti, sia per l'organizzazione, che ha lasciato ben poco all'improvvisazione. Manifestazione tanto più riuscita in quanto, pur avendo sostenuto ingenti spese organizzative, siamo riusciti a reperire quasi tutte le coperture presso gli Enti Locali, sicché la Sezione del C.A.I., alla quale apparteneva il Gruppo Grotte Catania, ne ha ricavato lustro e risonanza a livello mondiale quasi senza mettere mano ai cordoni della borsa.

Stranamente (forse era invidia?) ciò ha irritato i dirigenti sezionali, che sono stati capaci di intessere sul nostro conto le accuse più assurde e fantasiose, fino al punto di deliberare la radiazione di cinque di noi (puntualmente annullata dal Collegio dei Probiviri del C.A.I. con delibera del 25/1/86).

A nulla sono valsi i tentativi di mediazione e gli interventi del Comitato di Coordinamento C.M.I. e del Consiglio Centrale del C.A.I., che é giunto a deliberare lo scioglimento del Consiglio Sezionale e il commissariamento della Sezione: il G.G.C. era colpevole di lesa maestà e di lesa immobilismo, e doveva espiare. Siamo stati accusati, tartassati, vilipesi, perseguitati e sospesi; ci é stato sequestrato il materiale sociale e ci sono state tolte le chiavi della sede; ci é stata sequestrata e censurata la posta, ed infine ci sono stati sottratti i contributi pubblici che avevamo reperito per la stampa degli Atti.

A quel punto non ce la siamo sentita di sopportare ancora ed abbiamo costituito il Centro Speleologico Etneo abbandonando il G.G.C. (privo di soci e con il materiale sociale oggi non revisionato e quindi non più affidabile) e la Sezione Etna del C.A.I. (oggi completamente inattiva) al loro destino.

Ma se anche cambiano i nomi delle associazioni, le persone non cambiano e così abbiamo deciso all'unanimità di farci carico dell'impegno assunto a suo tempo dal G.G.C. del C.A.I., e di pubblicare a nostre spese gli Atti del Simposio. Ed aggiungiamo che questi Atti avrebbero potuto, nonostante tutto, essere pubblicati ugualmente sotto l'égida del C.A.I., poiché - essendo la nostra l'unica associazione vulcanospeleologica europea - avevamo chiesto al Consiglio Centrale del C.A.I. la costituzione del C.S.E. in Sezione "particolare" del Sodalizio ai sensi dell'articolo 33 dello Statuto Sociale. Ma la nostra richiesta é ancora oggi in attesa di risposta, in mancanza della quale il Sodalizio perde una bella occasione.

Certo, non si tratta dell'edizione che avevamo in progetto a suo tempo, ma di un'edizione ridotta destinata per il momento al solo ambiente speleo nazionale, per tenere fede ad un impegno, e rimane sempre il problema di far fronte in un secondo tempo alla pubblicazione degli stessi Atti in inglese. Ma possiamo affermare a fronte alta di aver mantenuto la nostra parola, come uomini, e di aver dato il nostro tangibile contributo alla Speleologia, come associazione, con questo volume che rappresenta ancora oggi la sintesi più aggiornata e valida sulle conoscenze nel campo della Vulcanospeleologia.

Il Comitato di Redazione

NOTA:

Prima di pubblicare il presente volume, abbiamo provveduto ad assicurare al Centro Speleologico Etneo il copyright di tutti i lavori da parte degli Autori. Pertanto, sebbene gli Autori siano i soli responsabili del contenuto dei lavori, la proprietà letteraria degli stessi appartiene al Centro Speleologico Etneo, ed il contenuto del presente volume non può essere riprodotto, citato, tradotto, in tutto o in parte, senza la preventiva autorizzazione del C.S.E. e senza la citazione della fonte.

IV SYMPOSIUM INTERNAZIONALE DI VULCANOSPELEOLOGIA

ENTI PROMOTORI

Club Alpino Italiano Sez. dell'Etna - Gruppo Grotte Catania

Università degli Studi - Istituto di Scienze della Terra

Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto Internazionale di Vulcanologia - Catania

ENTE ORGANIZZATORE

Gruppo Grotte Catania - C.A.I. Sez. dell'Etna - Catania

SOTTO L'ALTO PATROCINIO DELLA PRESIDENZA DELLA REGIONE SICILIANA

CON IL PATROCINIO DI

Assessorato alla Cultura, Turismo e Tempo Libero del Comune di Catania

Union Internationale de Spéléologie

Società Speleologica Italiana

C.A.I. - Commissione Centrale per la Speleologia

SOTTO GLI AUSPICI DI

Assessorato per i Beni Culturali e Ambientali e per la Pubblica Istruzione della Regione Siciliana

Comune di Adrano

Comune di Catania

Comune di Gravina di Catania

Comune di S.Giovanni La Punta

Comune di San Gragorio di Catania

Comunità Montana dell'Etna

Ente Provinciale per il Turismo di Catania

Provincia Regionale di Catania

COMITATO D'ONORE

On.le Calogero Lo Giudice	- Presidente della Regione Siciliana
S.E. Dott. Francesco Abatelli	- Prefetto di Catania
Dott. Angelo Munzone	- Sindaco di Catania
Prof. Gaspare Rodolico	- Magnifico Rettore dell'Università di Catania
On.le Luciano Ordile	- Assessore ai BB.CC.AA. e P.I. Regione Siciliana
Dott. Salvatore Distefano	- Presidente Amm. Prov. Catania
Sig. Vincenzo Castiglione	- Sindaco di Adrano
Geom. Carmelo Contraffatto	- Sindaco di Gravina di Catania
Dott. Alfio Coco	- Presidente della Comunità Montana Etnea
Prof. Domenico Sudano	- Presidente Ente Provinciale Turismo - Catania
Prof. Mario Labisi	- Assessore alla Cultura del Comune di Catania
Dott. Gaetano Angemi	- Assessore alle Finanze di S.Giovanni La Punta
Dott. Agostino Conigliaro	- Questore di Catania
Ten. Col. Emo Tassi	- Comandante Gruppo Carabinieri di Catania
Dott. Ottaviano Nicita	- Provveditore agli Studi di Catania
Prof. Giuseppe Santagati	- Preside Facoltà di Scienze Univers. di Catania
Prof. Italo Di Geronimo	- Direttore Ist.Sienze della Terra Univ. Catania
Prof. Letterio Villari	- Direttore Ist. Internaz. Vulcanologia C.N.R.
Dott. Vincenzo Tomasello	- Presidente C.A.I. Sez. dell'Etna
Dott. Salvatore Lo Giudice	- Presidente Comitato di Proposta Parco dell'Etna

COMITATO SCIENTIFICO

Prof. Arrigo A. Cigna
Prof. Renato Cristofolini
Prof. Salvatore Cucuzza Silvestri
Giuseppe M. Licitra
Dott. Carmelo Pandolfo
Dott. Giuseppe Puglisi
Dott. Romolo Romano

COMITATO ORGANIZZATORE

Presidente - Orazio Mirabella

Nicola Barone

Alfio Cariola

Giuseppe M. Licitra

Antonio Marino

Carmelo Pandolfo

Giuseppe Puglisi

Segreteria

Nicola Barone

Chiara Cardaci

Ornella Cocina

Rosanna Corsaro

Gaetano Giudice

Maria Grazia Lazzaro

Angelo Liotta

Giuseppe Privitera

Antonio Raimondo

Graziella Ursino

Traduzione simultanea

Mike Andolfo

Hostess-interprete

Marilena Puccione

SPONSORS

Banca Popolare S. Venera - Acireale

Banco di Sicilia

La Duca Viaggi - Catania

Pubbli-Nas - Catania

Martini & Rossi - Torino

Ristorante "Il Palmento" del Camping "Mare-Neve" - Milo

S.T.A.R. Excursions - Linguaglossa

PARTECIPANTI

Amato Giuseppe - Napoli	Greeley Cynthia - Tempe (U.S.A.)
Attardo Giuseppe - Reggio Emilia	Guerriero Giovanni - Napoli
Beduini Edoardo - Reggio Emilia	Halliday William R. - Seattle (U.S.A.)
Bella Vincenzo - Catania	Halliday Len - Seattle (U.S.A.)
Benelli Maria - Napoli	Ibba Franca - Cagliari
Bini Alfredo - Milano	Jedrzejjczak Pawel - Podersdorf (Austria)
Brunelli Fabio - Firenze	Kellerer Georg - Monaco (Germania)
Castellani Vittorio - Roma	Licitra Giuseppe M. - Catania
Cariola Alfio - Catania	Lo Giudice Emanuele - Catania
Carveni Pietro - Catania	Marino Antonio - Catania
Catellani Claudio - Reggio Emilia	Mecchia Giovanni - Roma
Cavallaro Francesco - Catania	Mikuszewski Jerzy - Varsavia (Polonia)
Cella Giandomenico - Novara	Montironi Nadia - Novara
Cerina Mariarosa - Trecate	Notari Orietta - Roma
Cinque Aldo - Pompei	Notari Oscar - Roma
Conti Roberto - Milano	Ogawa Takanori - Tokyo (Giappone)
Cristofolini Renato - Catania	Ollier Cliff D. - Canberra (Australia)
Cucuzza Silvestri Salvatore - Catania	Ollier Janeta - Canberra (Australia)
De Winter Vera - Monaco (Germania)	Palumbo Alberto - Udine
Eraso Adolfo - Madrid (Spagna)	Piciocchi Alfonso - Napoli
Finotelli Fabrizio - Casalecchio Reno	Piro Maria - Roma
Floris Antonello - Cagliari	Puglisi Giuseppe - Catania
Forti Paolo - Bologna	Ricci Federica - Roma
Fulchignoni Marcello - Roma	Ricci Marco - Novara
Gambini Virgilio - Roma	Romano Romolo - Catania
Ghelardini Simona - Cagliari	Scammacca Blasco - Catania
Giaffei F. - Roma	Sello Umberto - Udine
Giaffei P. - Roma	Sertore Tiziana - Pasian di Prato
Gilardi Eleonora - Casalecchio di Reno	Tescione Marina - Napoli
Giovanazzi Bruno - Merano	Tiralongo Sebastiano - Cagliari
Giovanazzi Oly - Merano	Tranchina Annalisa - Catania
Gonfalone Maria - Milano	Wood Christopher - Grassington (GB)
Greeley Ronald - Tempe (U.S.A.)	Wood Rita - Grassington (GB)

MEMBRI ADERENTI

Amore Concetto - Catania

Balbiano Carlo - Torino

Chessa Luchino - Cagliari

Carosi Roberto - Trieste

Cigna Arrigo A. - Cocconato

Laureti Lamberto - Napoli

Minocci Marica - Novara

Tomat Angiolino - Francia

Utili Franco - Firenze

Van Der Pas Jan Paul - Olanda

Zampieri Dario - Vicenza

GRUPPI ADERENTI

Associazione Speleologica Bresciana - Brescia

Club Speleologico Proteo - Vicenza

Centro Romano di Speleologia - Roma

Circolo Speleologico Idrologico Friulano - Udine

Circolo Speleologico Romano - Roma

Commissione Grotte "E.Boegan" - Trieste

Gruppo Speleologico Faentino - Faenza (RA)

Gruppo Speleologico "San Marco" - Venezia

Gruppo Speleo-Archeologico "Giovanni Spano" - Cagliari

Gruppo Speleologico Bolognese C.A.I. - Bologna

PROGRAMMA

VENERDI' 9 Settembre - C.A.I.

18.00 Apertura della Segreteria e registrazione dei Partecipanti.

SABATO 10 Settembre - C.A.I.

08.00 Riunione dei partecipanti e partenza per l'escursione "A" alla lava dei Dammusi, della durata di due giorni. Rientro a Catania domenica 11/9 in serata.

DOMENICA 11 Settembre - C.A.I.

08.30 Riunione dei partecipanti e partenza per l'escursione "B" a Piano di Cassone e Piano del Vescovo, Etna SE. Rientro a Catania in serata.

LUNEDI' 12 Settembre - C.A.I.

09.00 Riunione dei Partecipanti e partenza per l'escursione "I" a San Gregorio di Catania, Etna Sud, con visita alle grotte del Piano Immacolatella (Primo turno). Rientro a Catania intorno alle ore 13.00.

14.00 Idem c.s., secondo turno. Rientro intorno alle ore 18.00.

19.00 Rinfresco di benvenuto nel salone del C.A.I.

21.00 Proiezione di diapositive commentate su "BCRA - Spedizione Hawaii '79" a cura del Dott. Chris Wood.

MARTEDI' 13 Settembre - Aula Magna dell'Università Centrale

INAUGURAZIONE

09.30 Benvenuto - Magnifico Rettore.

09.40 Benvenuto - V.Presidente del C.A.I. Sez. dell'Etna.

09.50 Benvenuto - Autorità.

10.00 Saluto Presidente U.I.S.

10.10 Saluto Presidente S.S.I.

10.20 Saluto Direttore G.G.C.

10.30 Saluto Direttore Istituto Scienze della Terra.

10.40 Saluto Direttore I.I.V.

10.50 Saluto Commissione per la Vulcanospeleologia del G.G.C. e lettura di messaggi augurali.

11.00 Consegna targa alla Memoria del Giudice Miceli.

11.10 Proiezione "Etna '83" di E.Lo Giudice.

11.55 Fine proiezione e trasferimento in Municipio.

12.00 Benvenuto del Sindaco di Catania e rinfresco

MARTEDI' 13 Settembre - Aula Magna del Seminario di Matematica

SEDUTE SCIENTIFICHE - Moderatore: V.Castellani

- 15.00 Apertura dei lavori: modalità, regolamento.
- 15.05 Lavoro 1: W.R.Halliday: "Progressi e problemi in vulcanospeleologia; una panoramica con particolare riferimento a caratteristiche insolite e complicazioni verticali nelle gallerie".
- 15.30 Lavoro 2: V.Castellani: Morfologie vulcaniche extraterrestri nel sistema solare.
- 15.45 Lavoro 3: D.Zampieri: "Due tipi di grotte vulcaniche nel distretto del lago Myvatn (Islanda NE)".
- 16.00 Break
- 16.20 Lavoro 4: M.Del Monte, P.Forti, E.Rabbi: "A proposito di alcune concrezioni delle grotte di lava dell'Etna".
- 16.45 Lavoro 5: M.Fulchignoni: "Attività vulcanica su Io".
- 17.10 Lavoro 6: A.Cinque, G.Guzzetta: "Le grotte a bolla del vulcano Fantale (Rift Etiopico)".
- 17.30 Break; Seduta Commissione U.I.S.
- 21.00 Presso la sede del C.A.I., proiezione di diapositive commentate da W.Halliday: Esempi di pseudo-carsismo nei depositi piroclastici del versante Nord del Monte St. Helens, Washington - USA.

MERCOLEDI' 14 Settembre - C.A.I.

- 07.30 Riunione dei Partecipanti e partenza per l'escursione "E" a Siracusa per visita turistica.
- 08.00 Riunione dei Partecipanti e partenza per le escursioni:
"B" - Piano di Cassone e Piano del Vescovo (Etna SE).
"C" - Monte Intraleo, Etna W.
"D" - Grotta del Santo, Etna W.
- 21.00 Proiezione di diapositive commentate da T.Ogawa: Grotte di Che-Ju-Do.
- 22.00 Diaporama sull'Etna.

GIOVEDI' 15 Settembre - Aula Magna del Seminario di Matematica

Moderatore: A.Eraso

- 09.15 Lavoro 7: C.Wood: "Morfologia e funzionamento dei sistemi di tubi lavici".
- 10.00 Lavoro 8: F.Cavallaro, G.Puglisi, A.Tranchina: "Primo contributo alla conoscenza del fenomeno vulcanospeleologico in contrada Guardiola Cantarella (S.Gregorio di Catania - Sicilia orientale).
- 11.00 Lavoro 9: C.Wood: "Gruppi di grotte e meccanismi di espandimento di campi di colate laviche alimentate da tubi".
- 11.30 Lavoro 10: G.Licitra: "Ipotesi dinamica sulla formazione delle gallerie di scorrimento lavico".
- 12.00 Lavoro 11: R.Greeley, J.E.Guest, C.Wood: "Morfologia e meccanismo di espandimento del campo di lave pahoehoe della colata Etna del 1614/24".
- 12.30 Sospensione.

Seduta pomeridiana. Moderatore: W.R.Halliday.

- 15.00 Lavoro 12: C.D.Ollier: "Grotte laviche e colate laviche".
- 15.30 Lavoro 13: R.Romano: "Notizie statistiche sull'eruzione etnea del 1983".
- 16.00 Lavoro 14: T.Ogawa: "La formazione delle grotte laviche".
- 16.30 Break
- 16.45 Lavoro 15: V.Bella, F.Brunelli, A.Cariola, B.Scammacca: "Le grotte dell'Etna: stato attuale delle conoscenze".
- 17.00 Lavoro 16: R.Greeley: "Il ruolo dei tubi di lava".
- 17.30 Lavoro 17: A.Marino, S.Cucuzza Silvestri: "Le grotte di scorrimento lavico dell'Etna (versante Sud) e le caratteristiche petrologiche delle colate. Nota preliminare".

Chiusura della seduta.

- 19.30 Riunione dei Partecipanti al C.A.I. e partenza per il banchetto di gala.

VENERDI' 16 Settembre - Aula Magna del Seminario di Matematica

Moderatore: G.Licitra

- 09.00 I tavola rotonda sulla genesi delle gallerie di scorrimento lavico.
Interventi: R.Greeley, C.D.Ollier, C.Wood.
- 13.15 Chiusura del Simposio
- 18.00 Proiezione presso la sede del C.A.I. del film "Etna: anatomia di un vulcano".
- 19.00 Rinfresco di chiusura.

SABATO 17 Settembre - C.A.I.

- 07.15 Riunione dei Partecipanti e partenza in pullman per l'escursione "F" al cratere dell'Etna. Rientro intorno alle ore 20.00.

DOMENICA 18 Settembre - C.A.I.

- 07.00 Riunione dei Partecipanti e partenza per l'escursione "G" nella Valle del Bove, Etna E.

RELAZIONI

PROGRESSI E PROBLEMI IN VULCANOSPELEOLOGIA; UNA PANORAMICA CON RIFERIMENTO A CARATTERISTICHE INSOLITE E COMPLICAZIONI VERTICALI NELLE GALLERIE

W.R. HALLIDAY - Western Speleological Foundation, Seattle, Washington, USA

Riassunto

La Vulcanospeleologia é una branca relativamente nuova della speleologia e, fino a tempi recenti, i contatti fra vulcanospeleologi sono stati piuttosto carenti.

Recenti spettacolari fotografie della formazione in atto di gallerie di scorrimento lavico ad Hawaii ed altrove hanno chiarito il funzionamento di determinati meccanismi di formazione di gallerie di scorrimento principali in certi basalti pahoehoe. Altre foto di esempi di colate ramificate nella lava in via di raffreddamento, fanno ritenere che meccanismi similari intervengono nella formazione di gallerie di scorrimento lavico ramificate in prossimità delle bocche effusive. Studi recenti hanno inoltre fornito informazioni sulle grotte nei complessi terminali di tali colate, e di alcuni altri tipi di grotte vulcaniche.

Nella maggior parte dei casi, tuttavia, lo studio e la descrizione di queste grotte, e dei relativi meccanismi speleogenetici, hanno considerato queste cavità come se esse fossero superficiali, classificabili e relativamente uniformi.

Queste osservazioni, e i concetti che ne scaturiscono, contribuiscono ben poco a spiegare l'esistenza di livelli multipli in certe gallerie di scorrimento, derivanti da processi differenti dalla semplice formazione di tubi interni o dall'interruzione a valle di una linea di flusso preferenziale, in un complesso distributivo. In certi casi la reiterata sovrapposizione di livelli (ammucchiamento) é sorprendente. In altri casi i condotti a differenti livelli sembrano indipendenti l'uno dall'altro.

Inoltre, la raccolta di dati su scala mondiale sulle caratteristiche dei tubi di lava, indica che essi sono molto meno uniformi di quanto in precedenza si riteneva. Proprio come nel caso delle grotte carsiche, é necessario un approfondito studio di grotte differenti e variamente distribuite, per comprenderne le caratteristiche e i meccanismi di formazione.

In questa comunicazione vengono presentati dati su grotte laviche di Hawaii, degli Stati Uniti occidentali, del Messico, delle Azorre, delle isole Canarie, del Kenya e di altre zone.

Summary

Vulcanospeleology is a relatively new subdivision of speleology and until recently, communications have lagged among vulcanospeleologists.

Spectacular recent photos of actual origin and development of lava tube caves in Hawaii and elsewhere have provided information on certain processes of major unitary lava caves in certain pahoehoe basalts. Other photos of braided flow patterns in cooling lava suggest that similar processes operate to form braided lava tube caves near vents. Some other recent studies have provided information on the caves of terminal complexes of such flows and some other types of lava caves.

In most cases, however, observations and descriptions of these caves and their speleogenetic processes have treated them as if they are superficial, graded, and relatively uniform.

These observations and the resulting concepts do little to explain the existence of multiple levels in certain lava tube caves, arising from processes other than simple tube-in-tube formation or downcutting from preferential flow in a distributary complex. In some cases, multiple superposition of levels ("stacking") is striking. In other cases, the passages at different levels appear independent of each other.

Further, accumulating information about the features of lava tubes on a world-wide basis indicates that they are much less uniform than originally believed. Just as in the case of limestone caves, study of a wide variety and distribution is necessary to understand their features and processes.

Data will be presented from Hawaii, the Western United States, Mexico, the Azores, the Canary Islands, Kenya, and elsewhere.

La Vulcanospeleologia é una suddivisione della speleologia relativamente nuova. Fino a poco tempo fa non vi erano comunicazioni frequenti tra vulcanospeleologi. Le spettacolari recenti immagini sull'origine e sviluppo effettivi delle cavità di scorrimento lavico nelle Hawaii ed altrove hanno fornito informazioni su certi processi, relativi a maggiori gallerie di scorrimento unitarie, e su certi basalti.

Altre foto di esempi di flussi intrecciati nelle lave in fase di raffreddamento fanno ritenere che processi simili intervengono nella formazione di tubi lavici che si intersecano, in prossimità della bocca eruttiva. Ancora, altri studi recenti hanno fornito informazioni sulle cavità nei complessi terminali delle suddette colate, e su alcuni altri tipi di grotte laviche.

Nella maggior parte dei casi, tuttavia, le osservazioni e descrizioni di queste cavità e dei loro processi speleogenetici hanno trattato le grotte stesse come se fossero superficiali, in pendio e relativamente uniformi.

Queste osservazioni ed i concetti derivanti non bastano a spiegare l'esistenza di livelli multipli in cavità di scorrimento lavico, nascenti da processi diversi dalla semplice formazione di un tubo dentro l'altro o dalla cattura ad opera di flussi preferenziali in un complesso di distribuzione. In alcuni casi la ripetuta sovrapposizione di livelli di scorrimento é sorprendente. In altri casi i passaggi distribuiti su livelli differenti appaiono indipendenti l'uno dall'altro. Inoltre, l'accumularsi delle informazioni su scala mondiale circa le caratteristiche dei tubi di scorrimento, indica che essi sono molto meno uniformi di quanto si riteneva in origine.

Come nel caso delle grotte carsiche, é necessario lo studio di una più ampia varietà di grotte più ampiamente distribuite, rispetto a quanto ritenuto finora, per la comprensione delle loro caratteristiche e dei loro meccanismi.

Attualmente si possono reperire in commercio spettacolari foto di molti aspetti di colate che generano cavità. L'osservazione dal vivo del ricoprimento di canali e dell'innalzamento di argini, ad Hawaii ed altrove, é divenuta sempre più frequente. Sono altresì disponibili diapositive commerciali di gallerie di scorrimento ritratte mentre sono ancora al color rosso, ed alcune addirittura permettono lo studio dello sviluppo di stalattiti di lava. Molto si é imparato dall'osservazione diretta di colate basaltiche aa e pahoehoe e dai loro resti raffreddati. Chi viaggia in aereo può osservare segmenti collassati di gallerie di scorrimento in varie parti della Terra. Ad Hawaii, ed altrove nel mondo, le gallerie di scorrimento sono persino trasformate in attrazioni turistiche. Il Thurston Lava Tube é visitato molto spesso dai turisti nel Parco Nazionale di Hawaii.

Meno conosciuta, ma molto più interessante specialmente durante le piogge torrenziali, é la Kaumana Cave, nei sobborghi di Hilo. Altre gallerie di scorrimento sono molto note per diversi motivi, come la Ape Cave, una rinomata attrazione per i turisti, nei pressi del M.St.Helens. Esiste una crescente produzione letteraria in molte lingue, ma c'è il serio pericolo di sottovalutare il potenziale residuo per le ricerche vulcanospeleologiche, e la carenza di studi speleogenetici in cavità ed in aree speleologiche differenti dalle

caratteristiche e dai processi cui é stato dato in precedenza un particolare rilievo.

Alcune delle piú interessanti gallerie di scorrimento del mondo si trovano in isole oceaniche.

Probabilmente, dopo quelle dell'Etna, le prime gallerie di scorrimento che si sono imposte all'attenzione della civiltá occidentale furono quelle dell'Islanda, specialmente la Surtshellir. Probabilmente quelle delle Isole Canarie vennero subito dopo, specialmente il sistema della Cueva de Los Verdes, a Lanzarote. Tuttavia i Guanches conoscevano ed usavano le gallerie di scorrimento di Tenerife già prima della venuta degli Spagnoli. Tra queste oggi la Cueva del Viento e la Cueva de San Marcos sono annoverate tra le piú grandi del mondo.

Le gallerie di scorrimento delle Azorre hanno attirato l'attenzione solo in tempi relativamente recenti, ma una galleria di dimensioni apprezzabili si sviluppa sotto il centro urbano di Ponta Delgada, e le grotte di Terceira, studiate recentemente, presentano molte caratteristiche interessanti.

A mezzo mondo di distanza, le civiltá asiatiche probabilmente conobbero ed adoperarono le gallerie di scorrimento già molto prima, ma a causa delle scarse comunicazioni il resto del mondo vulcanospeleologico sta cominciando solo ora ad apprendere le risorse e i potenziali di questa area.

Nell'isola Cheju, in Corea, si trova una galleria di scorrimento che oggi é ritenuta la piú lunga del mondo.

Gli studi dei tubi lavici dell'Isola di Pasqua sono ancora allo stato iniziale, a causa della necessità di proteggere le ricchezze archeologiche e culturali nascoste nelle grotte dell'isola. Anche Hawaii ha cavità usate come sepolture, ma si sta iniziando soltanto adesso a studiarne le grotte per la loro importanza scientifica, e proprio qui Gerald Favre é riuscito recentemente a penetrare in una delle fessure (a lungo ipotizzate) che in profondità convogliano grandi volumi di lava dalla bocca di alimentazione alle lontane zone eruttive periferiche. Molte gallerie di scorrimento dell'arcipelago si trovano sulla "Big Island", ma ce ne sono alcune sull'isola di Mawi e due piccole su Oahu. Qualcuna di esse presenta caratteristiche veramente straordinarie.

Probabilmente ogni continente ha le sue grotte laviche. Attualmente non ne abbiamo la certezza per l'Antartide e per il continente asiatico, ma la penisola di Kamchatka, nell'estremo oriente dell'Unione Sovietica potrebbe avere grotte laviche che non sono giunte all'attenzione della vulcanospeleologia organizzata.

Le grotte laviche ritrovate sui continenti presentano forse una maggiore varietà di ubicazioni, contenuti e morfologie rispetto a quelle delle isole oceaniche. La grande città preistorica messicana di Teotihuacan fu costruita sopra e attorno ad un complesso di gallerie di scorrimento formatesi in una lava macrocristallina insolitamente viscosa.

Le volte di queste cavità sono ancora annerite da un fumo vecchio di centinaia di anni, ed ancora si rinvergono sparuti resti dell'antica civiltá malgrado ne sia stata effettuata una massiccia raccolta. Una delle gallerie piú grandi é oggi utilizzata da un rinomato ristorante del luogo.

In Kenia le grotte del Mt. Suswa e la grotta Leviathan sono tra le piú conosciute del mondo, le prime per la loro varietà di concrezioni silicee e laviche e le caratteristiche speleogenetiche, la seconda per la sua ampiezza che viene mantenuta per tutta la lunghezza della cavità. Anche l'Australia ha una grande varietà di gallerie di scorrimento lavico intensamente studiate, che hanno suggerito una teoria genetica tuttavia difficilmente applicabile a gallerie di scorrimento in altre parti della Terra.

Ad eccezione di quelle trovate in Alaska ed ad Hawaii, tutte le grotte di scorrimento lavico degli Stati Uniti sono state scoperte nel terzo occidentale del paese. Esse presentano una vasta gamma di morfologie, ampiezze e geometrie tridimensionali. La Ape cave, vicino al M. St. Helens, é la piú lunga negli Stati Uniti continentali con circa 3,9 Km di sviluppo. Quasi tutta la grotta consiste di un'unica galleria principale variante in altezza e in larghezza, ed avente diversi brevi segmenti di livelli superiori sovrapposti. Sono presenti anche alcuni brevi passaggi confluenti a livelli superiori, tutti di dimensioni molto

piú ridotte di quelle della galleria principale.

L'ingresso principale di questa cavità si trova ad appena 6 Km dalla vetta del M.St.Helens, e la grotta fu leggermente intaccata dalle eruzioni del 1980.

Alcuni studi su altri depositi, nella terminazione inferiore della Ape cave hanno mostrato che almeno 1 m di depositi da colata di fango é stato lasciato nella grotta in due diverse occasioni, circa 800 anni fa. Alcune altre gallerie di scorrimento delle zone del M.St.Helens sono state interessate dalle eruzioni del 1980, e dagli effetti post-eruttivi molto più che non la Ape cave. Altre ancora nelle immediate vicinanze sono perfettamente intatte e mostrano anche una notevole varietà di caratteristiche morfologiche. Tuttavia, alcune delle grotte più interessanti dello Stato di Washington sono situate vicino il M.Adams, un vulcano inattivo che si trova molto più ad Est. La Dynamited cave é particolarmente interessante per una serie di sette od otto livelli sovrapposti e per qualche traccia di cattura in un vecchio letto di scorrimento; inoltre vi si trovano pozzi profondi fino a 15 m.

Lo Stato dell'Utah ha relativamente poche grotte di scorrimento lavico, ma c'é stato un periodo in cui la galleria Duck Creek é stata la più lunga negli Stati Uniti continentali. La vicina Mammoth Cave presenta due livelli non sovrapposti o raggruppati. L'Idaho possiede numerose gallerie laviche, molte delle quali sono relativamente brevi. Alcune di esse sono a più livelli, e questi si trovano raggruppati. Nella Crystal Falls cave un ghiacciaio sotterraneo forma una cascata tra un livello e quello sottostante.

Relativamente poco é stato pubblicato sulle grotte laviche della California, ma esse sono conosciute e frequentate da lungo tempo.

Le zone centrali ed orientali dell'Oregon comprendono numerose gallerie di scorrimento lavico. Alcune di esse, nelle zone più remote del deserto dell'Oregon, sono molto grandi e contengono passaggi sovrapposti, e tubi interni che occupano quasi interamente il condotto principale. Qualche grotta si trova in lave molto granulose, con un elevato tenore di gesso e, a seguito di inondazioni, presentano concrezionamenti simili a quelli di percolazione delle grotte carsiche. Vi si trovano infatti vasti depositi di gesso, ed una fauna insolita; un'altra grotta, in questa zona dell'Oregon, contiene un lungo lago.

Da queste e da altre osservazioni connesse, sembra che si possa dedurre che nelle grotte laviche ci siano diversi tipi di formazioni a più livelli. Sebbene sembri il più comune, il fenomeno di raggruppamento potrebbe essere solo un caso particolare. Anche catture e deformazioni per ostruzione, con e senza trabocco, sembrano essere responsabili di uno sviluppo di livelli in ordine sparso, e ci sono alcuni labirinti sinuosi a carattere tridimensionale che al presente sembrano sfidare ogni spiegazione. Uno di questi esempi é il sistema della Red cave, nello stato di Washington. Forse l'analisi tridimensionale delle colate superficiali che appaiono tortuosamente intrecciate fornirà modelli adeguati per la comprensione di queste grotte. E' abbastanza chiaro che in alcuni casi la lava può introdursi entro tubi preesistenti senza riempirli o distruggerli. Questo meccanismo ha provocato la formazione di spettacolari colonne laviche in grotte del Washington, ed a Cheju Island. Un campo di ricerca, che può presentare un certo interesse, é la natura della lava, apparentemente priva di caratteristiche particolari, che separa alcuni condotti sovrapposti.

Infine occorre anche prendere in considerazione alcuni tipi insoliti di grotte laviche, diverse dalle gallerie di scorrimento, come i blister ignimbrici in Etiopia, e i blister basaltici nell'Idaho.

E' noto che in alcune zone come le Azorre e l'Oregon, ed anche l'Etna, vi sono condotti vulcanici verticali che raggiungono notevoli dimensioni; e le cavità in fessure vulcaniche dell'Idaho, delle Hawaii e di altre aree, a causa della loro importanza extraterrestre, sono oggi oggetto di particolare attenzione.

In definitiva, quindi, il nuovo campo della vulcanospeleologia é per molti aspetti scientifici stimolante al pari della speleologia carsica. A causa delle diversità delle caratteristiche di queste grotte, e della loro irregolare distribuzione sulla Terra, i simposi internazionali sono ancora più necessari di quelli riguardanti il carsismo. Solo mettendo insieme su base mondiale le varie conoscenze su queste caratteristiche geografiche veramente uniche, lo studio della vulcanospeleologia può procedere con criteri razionali.

MORFOLOGIE VULCANICHE EXTRATERRESTRI NEL SISTEMA SOLARE

V. CASTELLANI - Istituto Astronomico, Roma

Riassunto

In una breve conversazione, con l'ausilio di immagini riprese dalle sonde spaziali Mariner e Viking, l'Autore espone alcune considerazioni sul ruolo del vulcanismo nel modellamento della superficie di corpi planetari di tipo terrestre nel sistema solare, quali in particolare Mercurio e Marte.

Il modellamento della superficie di Mercurio, privo di atmosfera e di acqua, é stato determinato esclusivamente da fenomeni tettonici e/o vulcanici; va comunque considerata una terza categoria di fenomeni definita dall'Autore "tettonica indotta". In questo caso i movimenti tettonici non sono determinati da forze endogene, bensí dall'impatto di grandi masse meteoritiche con la formazione di campi di fratture di ampiezza regionale, con successiva fuoriuscita di lava.

La situazione appare invece diversa per quanto concerne Marte: accanto al modellamento di origine tettonica e/o vulcanica, almeno nel passato deve esservi stato un modellamento dovuto all'azione dell'acqua.

Infatti sembrerebbe che la superficie del pianeta (ricoperta da un suolo regolitico, almeno nelle zone esplorate dai Viking) sia interessata da permafrost per uno spessore variabile da 1 a 3 Km.

Ciò inevitabilmente comporta non soltanto che in un passato non ancora quantificabile si sia avuta sul pianeta dell'acqua allo stato liquido, ma anche che la superficie di Marte può subire un ulteriore modellamento se e quando il fluido che oggi é congelato nel permafrost potrà tornare allo stato liquido e fluire sulla superficie del pianeta.

Summary

During a brief conversation, supported with pictures taken by the space probes Mariner and Viking, the Author states his considerations on the role played by volcanism in shaping the surface of planetary bodies of terrestrial type, such as Mercury and Mars.

The shaping of Mercury's surface, in absence of water and atmosphere, was exclusively controlled by volcanic and/or tectonic phenomena, though the Author considers an additional category, defined "induced tectonics". In fact some tectonic movements are generated by the crash of huge meteorites against the planet's surface, forming regional wide fracture fields with subsequent lava outpouring, rather than by endogenetic forces.

The situation is quite different on Mars. Besides tectonic and/or volcanic shaping, also a shaping by water action (weathering) occurred on this planet, at least in past times.

In fact Mars' surface displays a regolithic soil (at least in Vikings' landing points) under which a permafrost lies, 1 through 3 Km. thick.

As a consequence, not only some liquid water should have existed on the planet in a past time not yet defined, but Mars' surface could be further shaped if and when the fluids today congealed in the permafrost can shift back to liquid and flow again.

N.d.R.

Non essendo pervenuto agli organizzatori il testo scritto della comunicazione, la stessa non viene inclusa negli Atti; la registrazione della stessa rimane a disposizione degli interessati, per l'ascolto, presso la sede del Centro Speleologico Etneo.

DUE TIPI DI GROTTES VULCANICHE NEL DISTRETTO DEL LAGO MYVATN (ISLANDA NE)

D. ZAMPIERI - Centro Speleologico "Proteo" Vicenza - S.S.I.

Riassunto

Durante una visita compiuta nell'estate del '77 nel Distretto del Lago Myvatn, nel NE dell'Islanda, l'Autore ha osservato due tipi di cavità vulcaniche strettamente connesse con la particolare situazione tettonica ed eruttiva qui presente.

Un tipo di cavità é localizzato in una frattura beante con dislocazione verticale ed é originato dalla sconnessione della colata piú superficiale.

Un altro tipo di cavità é dovuto all'intrappolamento di vapor d'acqua da parte di una colata in avanzamento sulle rive del lago.

Summary

Visiting the Lake Myvatn District (NE of Iceland) in summer '77, the writer could observe two different types of volcanic caves, strictly connected with the particular tectonic and eruptive features of the place. A type of cave is placed in a open fissure with displacement, and was originated by the disjointedness of the upper lava flow.

The second type of cave took origin from the steam entrapped by the advancing flow on the lake shores.

Condizioni geologiche

L'Islanda, la piú grande isola vulcanica della Terra, é la manifestazione superficiale di un **hot spot** situato proprio in corrispondenza della Dorsale Medio-Atlantica. La concomitanza della risalita di grandi quantità di magmi basici e di una pronunciata attività tettonica distensiva dá luogo a eruzioni lineari, che sono l'unico esempio attuale di un fenomeno che nel passato ha originato i grandi **plateaux** lavici del mondo.

L'attività vulcanica é attualmente concentrata in un **graben** che taglia a metà l'isola e che rappresenta la zona assiale della Dorsale.

Il **graben** ha una orientazione N-S nella parte settentrionale, mentre nel centro si biforca in due rami con orientazione NE-SW. La regione del Lago Myvatn, nel NE dell'isola, é un'area unica al mondo per la grande concentrazione di piccoli crateri, allineati lungo fratture beanti. Le ultime eruzioni risalgono al quinquennio 1724-29, se si esclude una piccola eruzione nel 1975.

Le cavità

Il **plateau** appena ad oriente del lago appare solcato da un fascio di fratture orientate N-S. Una di queste fratture beanti, detta Griótagjá, presenta una lunghezza evidente di circa 8 Km. Nei pressi dell'abitato di Reykjahlid la frattura disloca il **plateau** ribassandone la zona orientale di circa 10 m. La colata piú superficiale, formata da lava di tipo **pahoehoe**, si é adeguata alla dislocazione divaricandosi verso l'alto e dando luogo a un piano inclinato di circa 40° che fa da raccordo tra le due porzioni del gradino tettonico (fig.1).

Alla base della placca inclinata attraverso delle aperture di crollo si entra in una cavità larga quasi 10 m e lunga due volte tanto. Il fondo é allagato da acqua con una temperatura di 27°C, che é la manifestazione di un circuito termale di debole profondità alimentato dalla penetrazione di acque meteoriche. La faglia é tuttora attiva e un cartello all'ingresso avvisa del pericolo di crolli provocati da attivita' sismica (fig.2). La cavità é meta di visite turistiche, in quanto si presta molto bene a prendervi dei bagni in un ambiente che contrasta notevolmente con le basse temperature presenti all'esterno.

Nella zona meridionale del Lago Myvatn, lungo la strada anulare, si osservano delle cavità laviche. La superficie topografica é costituita da una colata tabulare di tipo **pahoehoe** che presenta leggere ondulazioni cupoliformi con diametro di una ventina di metri.

Alcune di queste strutture sono parzialmente sfondate e mostrano che al di sotto di una crosta spessa un metro o poco piú si trova una cavità bassa ma estesa (fig.3). Il fondo é riempito di materiali di crollo che non permettono di valutare l'originaria profondità del pavimento, che comunque deve essere di appena qualche metro.

La formazione di queste cavità va probabilmente imputata a intrappolamento di acqua delle rive acquitrinose del lago su cui é avanzata la colata lavica. Nelle vicinanze vi sono numerosissimi piccoli coni senza radici prodotti da esplosioni freatiche (THORARINSSON, 1953). Verosimilmente le cupole rappresentano sollevamenti della colata in via di solidificazione causati da sacche di vapor d'acqua non sufficientemente grandi da perforare la colata.

BIBLIOGRAFIA

THORARINSSON S., 1953 - The crater groups in Iceland. Bull.Volcanol., Serie 2, Vol.14, pp.1-44.

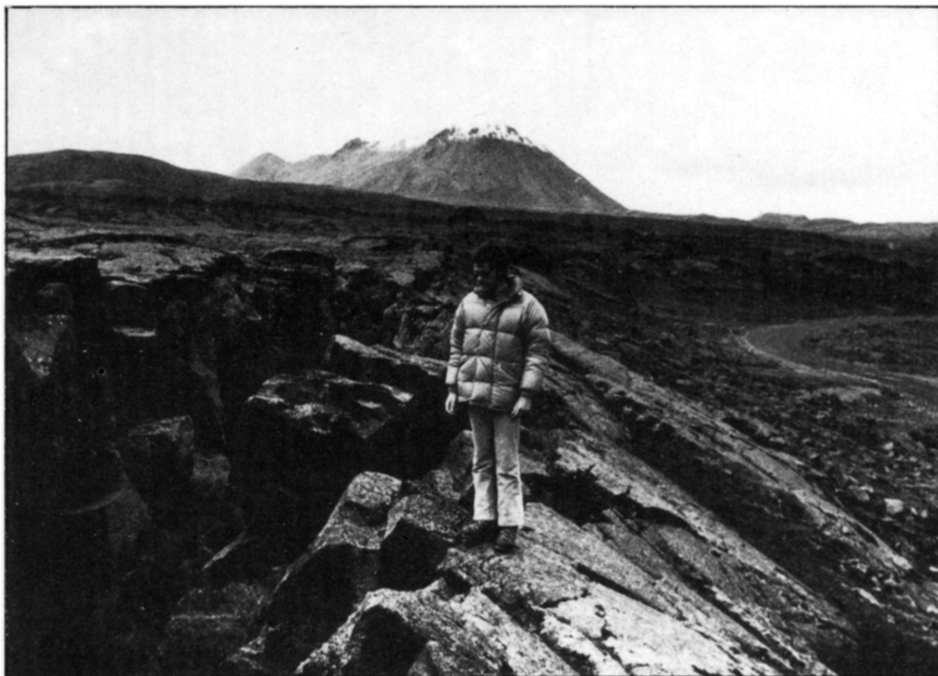


Fig.1 - Fianco del graben a oriente del Lago Myvatn. In primo piano la frattura Griótagjá, sullo sfondo la cupola di ristagno riolitica del Hlidarfjall.

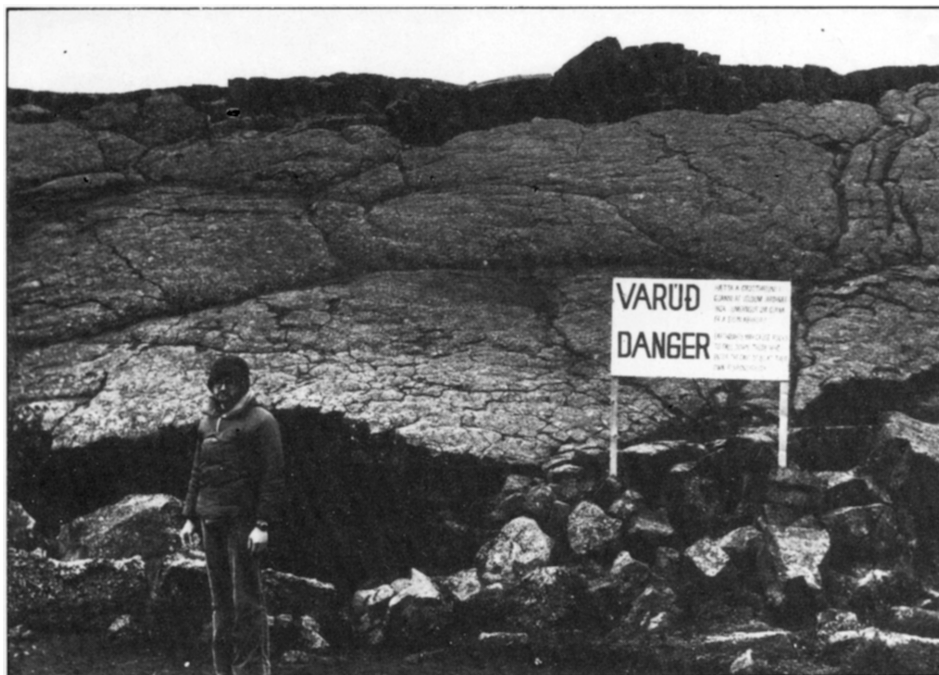


Fig.2 - Uno degli ingressi della cavità localizzata all'interno della frattura.



Fig.3 - Cavità laviche sottostanti strutture a cupola parzialmente crollate.

A PROPOSITO DI ALCUNE CONCREZIONI DELLE GROTTA DI LAVA DELL'ETNA

M. DEL MONTE - Istituto di Geologia, Università di Bologna

P. FORTI - Istituto Italiano di Speleologia, Bologna

E. RABBI - Istituto Italiano di Speleologia, Bologna

Riassunto

All'interno delle grotte laviche dell'Etna esistono molte piccole concrezioni dovute all'acqua meteorica di infiltrazione. Le morfologie di queste concrezioni sono molto simili a quelle delle analoghe forme nelle grotte carsiche.

Lo studio mineralogico e chimico di campioni di concrezioni prese in 4 differenti grotte dell'Etna ha dimostrato come queste siano formate essenzialmente da ossidi idrati di Silicio (Opale), di alluminio e di ferro; in un solo campione è stata trovata una certa percentuale (13%) di Calcite. Si è anche giunti all'individuazione di un minerale secondario di grotta: la Pistacite ($\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3(\text{OH})(\text{SiO}_4)_3$), che si forma nel substrato delle concrezioni per azione dell'acqua meteorica. Tale minerale si presenta sotto forma di piccoli cristalli di color verde giallo pallido.

La contemporanea presenza di concrezioni di Opale molto recenti e molto antiche, però sempre attive, ha permesso di evidenziare come la deposizione di questo minerale in ambiente di grotta sia possibile anche in climi temperati e da parte di acque a chimismo del tutto normale.

Summary

Inside Mt Etna lava tubes, several small speleothems due to the seepage of meteoric water have been observed. The morphologies of these concretions are quite similar to those present in Karst cavities.

The dripstones are mostly composed by Silicium, Iron and Aluminium hydrated oxides. The mineralogical analyses allowed to define Pistacite ($\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3(\text{OH})(\text{SiO}_4)_3$) as a new cave mineral, whose forming is due to weathering.

Moreover, the presence of young Opale formations, together with very old but still active ones, suggests that the deposition of this mineral in cave environments is possible also in temperate climate.

Introduzione

La vulcanospeleologia si é molto sviluppata negli ultimi decenni ed ha permesso di spiegare la maggior parte dei vari meccanismi che portano alla genesi e all'evoluzione morfologica delle grotte laviche.

Un aspetto della vulcanospeleologia che a tutt'oggi é ancora assai trascurato, come si può rilevare dalla scarsa bibliografia in merito, é quello relativo alla genesi dei riempimenti chimici secondari legati all'azione delle acque meteoriche percolanti all'interno di queste cavità (Harter, 1973; Hill, 1976; Lindsey, 1966; Rimbach, 1963; Swartzlow e Keller, 1937).

In questo panorama non fa eccezione l'Etna, ove da oltre 50 anni vengono esplorate e studiate le grotte laviche, senza che mai si siano analizzate in dettaglio le concrezioni che esse contengono.

Si é ritenuto utile, quindi, illustrare alcune caratteristiche morfologiche e chimiche di concrezioni rinvenute in 4 differenti grotte laviche dell'Etna, per poi giungere a delineare un possibile meccanismo genetico, che, per le sue implicazioni, potrebbe anche essere utile nello studio di analoghe forme rinvenute in grotte non vulcaniche.

Le grotte studiate

Si sono analizzate 4 grotte (Brunelli e Scammacca, 1975) di età molto differente, da preistorica (G.Micio Conti e G.Marrano) a recentissima (G.di Serracozzo, 1971) e questo per evidenziare l'influenza del fattore tempo nella formazione delle eventuali concrezioni.

Si é osservato che in tutte le grotte analizzate esistono più o meno grossi depositi concrezionali che, nella Grotta del Santo raggiungono anche dimensioni di circa 10 cm.

Anche se nelle grotte più antiche le concrezioni sembrano essere generalmente più sviluppate, l'esistenza di cannule (Fig.1) nella Grotta di Serracozzo già nel 1976 indica come i processi concrezionali in queste cavità non siano certamente lenti, come sino ad oggi si era propensi a credere.

Morfologia delle concrezioni

Dal punto di vista morfologico le concrezioni presenti nelle grotte laviche dell'Etna non si discostano da quelle analoghe delle grotte carsiche.

Sono state osservate cannule (G.di Serracozzo), stalattiti (G. Marrano), coralloidi (G. Marrano e Micio Conti), crostoni e patine (G. Marrano, Micio Conti e del Santo), microvaschette (G. Marrano), infiorescenze (G.di Serracozzo e del Santo).

Il colore delle concrezioni varia dal bianco candido delle cannule al rosso di alcune infiorescenze al grigio nerastro di alcune patine.

La morfologia esterna di questi depositi chimici sembra dipendere, come accade per le concrezioni per così dire normali, dal tipo di moto cui é sottoposta l'acqua concrezionante. All'interno presentano bande di accrescimento che sono in genere molto più sottili di quelle delle concrezioni calcaree.

In conclusione quindi possiamo affermare che, dal punto di vista

strettamente morfologico, queste concrezioni sono identiche a quelle formate nelle comuni grotte carsiche, anche se i processi chimico-fisici che le generano sono sicuramente molto differenti.

Parte Sperimentale

Tutti i campioni sono stati analizzati per via diffrattometrica col metodo delle polveri. I diffrattogrammi ottenuti sono risultati privi di picchi definiti: in generale quindi le concrezioni risultano esser formate da materiale amorfo.

Fanno eccezione il campione 5 della G. Marrano, ove si sono avuti picchi, anche se molto deboli, attribuibili a Bitownite; e il campione 2 della G. del Santo ove sono evidenti i picchi della Calcite.

L'analisi chimica, fatta per fluorescenza ai raggi X, ha evidenziato come, nella maggioranza dei casi, la frazione prevalente delle concrezioni sia data da SiO_2 (Tab.1); notevole anche il contenuto in Alluminio che in due casi (camp.3, 6) risulta esser il componente prevalente.

Tab.1-Composizione chimica delle concrezioni delle grotte vulcaniche dell'Etna.

Camp.	Grotta	Età	Tipo concr.	Composizione %								
				MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3
1	Serracozzo	<10	Cannula			80*						
2	Santo	~1000	Coralloidi	6.5	1.3	77	0.65	0.1	10.	0.04	0.02	0.2
3	Santo	~1000	Infiorescenza	0.3	32.3	16	0.70	0.1	1.4	0.04	3.24	0.8
4	Marrano	>2000	Stalattite	3.2	3.2	73	4.30	0.2	2.4	0.65	0.04	17.0
5	Marrano	>2000	Spalmatura	1.5	15.8	51	1.55	0.9	2.2	0.40	0.03	2.6
6	Micio Conti	>2000	Microgour	0.3	36.6	25	1.0	0.1	1.4	0.06	0.04	0.1

* stima effettuata per via umida, dato che il campione non era sufficiente per un'analisi completa.

All'aumento percentuale dell'alluminio, corrisponde un calo nella somma percentuale degli ossidi, e questo può essere spiegato con una maggiore idratazione dei composti dell'alluminio che, con ogni probabilità, sono sotto forma di idrossidi.

Nel caso del campione 2 vi é anche la presenza di una notevole quantità di calcio (sotto forma di calcite), come evidenziato anche dall'analisi diffrattometrica.

L'analisi petrografico-mineralogica delle sezioni sottili dei campioni di concrezione, effettuato al microscopio da mineralogia, ha evidenziato come tutte le concrezioni presentino la classica struttura a bande, che in questo caso risulta essere sempre molto fine.

All'interno delle singole bande non é possibile notare anche solo cenni di cristallizzazione: pertanto le concrezioni delle grotte laviche apparivano essere da criptocristalline ad amorse.

Nel caso della concrezione 5, questa ingloba alcuni piccoli frammenti di plagioclasio bitownitico, evidentemente derivanti da relitti di fenocristalli della roccia madre basaltica, che sono responsabili dei picchi riscontrati nel diffrattogramma.

Non é stato invece possibile procedere all'analisi ottica dei campioni 1 e 2 poiché completamente utilizzati per le analisi diffrattometriche e chimiche.

Le bande di accrescimento sono generalmente costituite da opale con più o meno fitte alternanze di ossidi idrati di Alluminio e/o Ferro, dei quali non é stato possibile accertare l'esatta natura. Infatti non é stato possibile osservare su alcuno dei diffrattogrammi i picchi caratteristici di minerali dell'uno o dell'altro elemento.

Il substrato basaltico risulta essere spesso alterato, soprattutto al contatto con la concrezione; l'alterazione, chiaramente dovuta a weathering, interessa più i plagioclasti dei fenocristalli e del fondo che non i minerali femici (pirosseni augitici e olivina).

L'alterazione é maggiore nei substrati delle cannule e delle stalattiti, ove si presuppone un impregnamento totale della roccia, mentre é molto minore nel caso delle spalmature e quasi nullo sotto le microvaschette.

L'alterazione procede sempre, sia a partire dalla superficie di contatto sia nei vuoti della roccia basaltica, nel senso di una argillificazione dei fenocristalli bitownitici e della neogenesi nella pasta di fondo di un epidoto (la Pistacite, $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3(\text{OH})(\text{SiO}_4)_3$) (Fig.2).

Questo minerale si presenta con cristalli aciculari allungati lungo b con striature nella stessa direzione, di colore verde giallo chiaro. La Pistacite presenta sfaldatura perfetta lungo 001, geminazione sullo 100. Il piano ottico é parallelo allo 010, mentre la birifrangenza varia rapidamente con la composizione e non é raro notare tale variazione all'interno di un singolo cristallo.

L'identificazione si é basata principalmente sull'analisi petrografico-mineralogica e sulle caratteristiche ottiche, ed é stata quindi confermata dalla composizione chimica qualitativa ottenuta con l'EDAX.

Il meccanismo di alterazione porta anche all'ossidazione degli abbondanti cristalli di magnetite, con formazione di ematite.

Discussione

La composizione mineralogica prevalente, nelle concrezioni studiate delle grotte laviche dell'Etna (opale ed ossidi idrati di Alluminio e Ferro) é analoga a quella di corrispondenti forme di grotte laviche di altre regioni (Harter, 1973).

Nel caso delle grotte dell'Etna, partendo dalle osservazioni sperimentali, si può tentare di schematizzare la genesi delle concrezioni in tre stadi:

- 1 - L'acqua meteorica percolando lungo le fratture ed i vuoti del basalto causa l'idrolisi dei fenocristalli e della pasta di fondo con l'allontanamento degli ioni metallici.
- 2 - L'acqua di percolazione quindi si arricchisce in idrati di alluminio, ferro e soprattutto silice che, polimerizzando e condensando, porta alla formazione di opale.
- 3 - All'interfaccia lave-grotta vulcanica l'acqua evapora depositando silice idrata (opale) o, più raramente, ossidi variamente idrati di alluminio e ferro a seconda delle condizioni cinetiche di acidità, di Ph e ossido riduttive dell'acqua medesima.

Dove la dinamica delle acque lo permette, si ha l'agglutinamento degli idrossidi di alluminio, che vengono quindi cementati dalla silice, come conferma l'analisi chimica: infatti dove l'energia cinetica è minore (microgours e infiorescenze) il contenuto in alluminio è massimo.

L'alterazione prodotta dall'acqua sui plagioclasti e sui femici del fondo passa per una fase intermedia, che porta alla formazione di pistacite, che circonda totalmente i fenocristalli corrosi residui sia nei vuoti che al contatto con la concrezione, o nelle fratture beanti.

Basandoci su questo meccanismo appena proposto, si vede come la pistacite debba essere considerata un minerale secondario di grotta, e questa risulterebbe essere la prima segnalazione di questo tipo.

Invece l'ematite, presente, anch'essa come minerale secondario di grotta, dovuto all'ossidazione dei cristalli di magnetite della roccia basaltica ad opera delle acque di percolazione, deve la sua genesi con ogni probabilità alle condizioni di alta sovrassaturazione esistenti nella soluzione circolante, dovuta all'evaporazione di veli d'acqua molto ossidanti.

In questo caso, infatti, non è possibile postulare alte temperature, che in alcuni casi sembrano esser responsabili della formazione secondaria dell'ematite, e questo perché il processo è evidentemente ancora in atto in tutti i campioni, e quindi deve poter avvenire in condizioni di clima temperato come quello che si ha sulle pendici dell'Etna.

La presenza di carbonato di calcio in notevole quantità, nel campione 2 della G. del Santo, può essere spiegata con l'idrolisi dei plagioclasti bitownitici, che porta in soluzione ioni Ca^{++} che possono combinarsi, soprattutto in ambiente basico, con l'anidride carbonica delle acque meteoriche e di percolazione, portando alla precipitazione della calcite.

Il fatto che solamente in questa grotta siano state trovate concrezioni contenenti calcite, può essere spiegato col fatto che la Grotta del Santo, a differenza della maggioranza delle grotte dell'Etna, possiede una copertura di humus, la cui intensa attività microbiologica arricchisce di molto il contenuto in CO_2 delle acque di percolazione, per cui al livello del loro riaffiorare nell'ambiente vadoso di grotta queste possono diffondere nell'atmosfera la CO_2 , con conseguente diminuzione di solubilità e quindi precipitazione del CaCO_3 .

Le basse percentuali di calcio degli altri campioni non sono correlabili a presenza di calcite, ma sono probabilmente legate agli allumo-silicati.

L'esistenza di frammenti di dimensioni submillimetriche, all'interno del campione 3, può essere correlata al tipo di circolazione idrica che ha portato alla formazione della concrezione stessa: in questo caso infatti l'acqua concrezionante era di stillicidio, e quindi possedeva una certa energia sufficiente a scalzare parte dei frammenti del substrato basaltico parzialmente alterato e portarlo quindi in sospensione, fino al punto in cui veniva cementato dal concrezionamento e quindi inglobato all'interno della concrezione stessa.

Da ultimo è interessante notare come pressoché tutte le concrezioni analizzate non presentino alla loro superficie esterna morfologie da

ridissoluzione o da fossilizzazione, ma anzi risultino tutte attive.

Questo fatto é molto importante se si pensa al differente tempo di formazione delle cavitá.

Infatti, considerando le grotte molto antiche, di origine sicuramente preistorica, possiamo affermare che il processo di concrezionamento con deposizione di opale può avvenire anche in condizioni di non elevate temperature, dato che queste grotte hanno al loro interno un clima del tutto normale, che non dipende in nessuna misura dalla loro origine.

D'altro canto la presenza di cannule di opale all'interno di grotte appena formate (meno di 10 anni) indica come questo fenomeno sia anche sufficientemente rapido e non richieda quindi quei tempi lunghi, che sino ad oggi si era soliti ritenere.

Conclusioni

Il presente studio, anche se del tutto preliminare e parziale, ha permesso di evidenziare come le concrezioni delle grotte laviche dell'Etna siano, per composizione mineralogica (opale e ossidi idrati di alluminio e ferro) e caratteristiche morfologiche, simili alle analoghe forme già descritte in bibliografia relativamente ad altre grotte laviche.

Nel caso dell'Etna, però, é stato possibile anche evidenziare come il processo di dilavamento porti alla formazione di Pistacite, che pertanto, in questo caso e per la prima volta, deve esser considerata un minerale secondario di grotta.

Ma l'indicazione piú importante, che a nostro avviso si é ottenuta da questo studio, riguarda la deposizione di SiO_2 (Opale) da parte delle acque percolanti all'interno delle cavitá naturali.

Infatti grazie alla possibilitá, che le grotte laviche hanno, della datazione della loro formazione, é stato possibile mostrare come il processo di deposizione dell'opale sia sufficientemente rapido da portare alla genesi di una cannula in meno di 5 anni e, d'altro canto, che tale deposizione continui anche dopo che gli effetti termici dell'eruzione si sono completamente esauriti, in condizioni climatiche temperate quali quelle che si hanno sulle pendici dell'Etna.

Tutto questo porterebbe a rivedere molte delle convinzioni, ancor oggi radicate, relativamente alla possibilitá di rinvenire concrezioni attive di opale all'interno di cavitá laviche o carsiche in climi non tropicali.

A supporto di quanto osservato sull'Etna vi sono anche le osservazioni fatte recentemente in Sardegna (Forti, Perna, 1982) ove, sia all'interno di grotte tettoniche di quarzite, sia all'interno di grotte calcaree, sono state osservate infiorescenze e crostoni di opale che, per struttura e condizioni di giacitura, sembravano esser attuali ed in accrescimento.

Naturalmente, per definire il meccanismo genetico che porta alla formazione di concrezioni di opale all'interno di grotte, non solo laviche, in condizioni chimico-fisiche e ambientali normali, sará necessario nel prossimo futuro compiere controlli sistematici sul chimismo delle acque di percolazione che danno origine a queste formazioni, sia in grotte laviche sia in quelle carsiche.

Fig.1 - Una cannula nella grotta di Serracozzo (foto scattata nel 1975 da P.Forti).



Fig.2 - Foto SEM (microscopio elettronico a scansione) (X200) dei cristalli di Pistacite all'interno di una piccola cavità basaltica, al contatto con la superficie inferiore del campione n.4 (foto di P.Ferrieri).

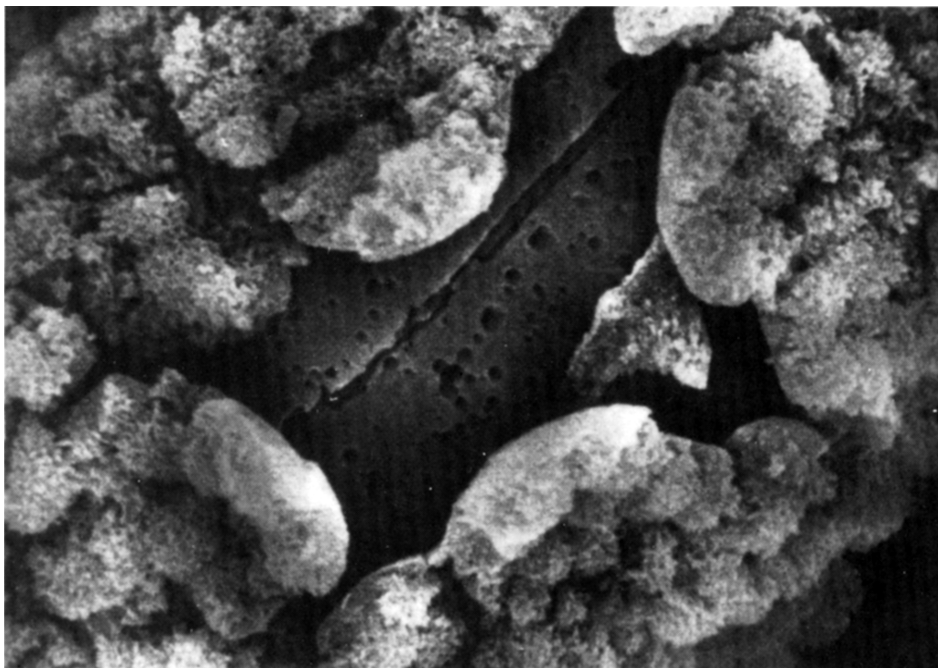


Fig.3 - Foto SEM (X5000) di un cristallo spezzato di Pistacite: é evidente l'alterazione superficiale, ed un canale centrale in cui probabilmente scorre l'acqua di percolazione (foto P.Ferrieri).

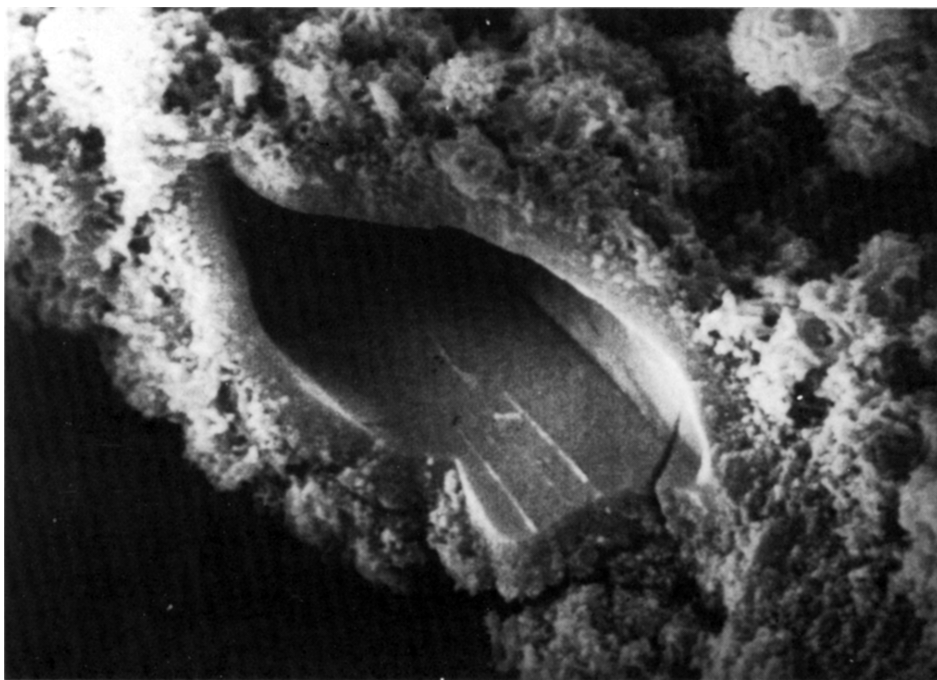


Fig.4 - Foto SEM (X15.000) della parte superficiale di un cristallo di Pistacite, che mostra tracce di corrosione (foto P.Ferrieri).

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano Antonio Marino, del Gruppo Grotte Catania del CAI-Etna (n.d.r. oggi socio del C.S.E.), per la preziosa collaborazione fornita nella raccolta dei campioni analizzati, e Natale Calanchi per le analisi di fluorescenza ai raggi X.

BIBLIOGRAFIA

- F.BRUNELLI, B.SCAMMACCA (1975) - Grotte vulcaniche di Sicilia. G.G.C.-CAI/Etna, Catania (62+XI).
- P.FORTI, G.PERNA (1982) - Le cavit  naturali dell'Iglesiente. Mem.ls.2 Ist. It. Speleol. :1-224
- R.HARTER (1973) - Secondary chemical deposits in lava tubes. The Speleograph 9(7):114-116
- C.HILL (1976) - Cave Minerals. Nat. Spel. Soc.
- N.LINDSEY (1966) - Lava caves. Texas caver 11 (7-8): 86-100
- D.RIMBACH (1963) - Salt coatings and salt beds in caves at Pitsgah Crater, California. Calif. Spel. Surv. Bull. 1
- C.R. SWARTZLOW, W.D.KELLER (1937) - Coralloidal opal. J.Geol. 45(1): 101-108

ATTIVITA' VULCANICA SU IO

M. FULCHIGNONI - Osservatorio Astrofisico del C.N.R., Frascati, Roma

Riassunto

Nel suo volo verso gli spazi siderali, la sonda americana Voyager ha incontrato e fotografato diversi corpi celesti del sistema solare; particolarmente interessanti sono le immagini ad alta risoluzione (inferiore ad 1 Km.) della superficie di Io, satellite galileiano di Giove.

Queste immagini hanno consentito di verificare l'esistenza, sul satellite, di un vulcanismo molto attivo (già ipotizzato con breve anticipo da alcuni scienziati), con continua emissione di colate di zolfo di grandi dimensioni. La superficie di Io è incessantemente modificata e ringiovanita da questa attività.

Viene data una descrizione del satellite, della sua morfologia e delle sue manifestazioni vulcaniche, e vengono formulate ipotesi sulla sua dinamica e sulla sua composizione interna.

Summary

The American space probe Voyager met and photographed several heavenly bodies in the solar system; the high resolution (less than 1 Km.) images of Io (galileian satellite of Jupiter) are of high interest.

It was possible to ascertain, through these images, that this satellite hosts a very active volcanism (already argued by some scientist a short while before), with recurrent emission of large sulphur flows. Io's surface is endlessly modified and rejuvenated by such activity.

The satellite, its morphology and its volcanic activity are described, and hypotheses are presented on its inner composition and dynamics.

Nelle immagini ravvicinate trasmesse dai Voyagers il più spettacolare fra i quattro satelliti galileiani è Io: anche in quelle a minore risoluzione, i vivaci colori della sua superficie, rosso, arancione, giallo e bianco, lo rendono nettamente diverso da tutti gli altri corpi planetari noti. Le immagini hanno inoltre rivelato la presenza di un gran numero di centri vulcanici, otto dei quali in attività contemporanea nel breve lasso di tempo in cui sono stati effettuati i rilievi fotografici durante il sorvolo dei Voyagers.

Si tratta di un corpo planetario peculiare in tutti i sensi poiché è il corpo più attivo dell'intero sistema solare.

Il diametro del satellite è di 3640 Km e la sua densità di $3,5 \text{ g/cm}^3$, valori praticamente identici a quelli della Luna e, se non fosse per la prossimità con Giove, si tratterebbe anche in questo caso di un corpo roccioso ed inattivo, morto come il satellite della Terra. Sulla sua superficie non è stato trovato un solo cratere da impatto; neppure nelle fotografie a migliore risoluzione, che

permettono di individuare strutture di dimensioni inferiori al chilometro. Ciò non può dipendere dalla mancanza di "proiettili", infatti i meteoriti dovrebbero essere più numerosi all'altezza dell'orbita di Io che nel resto del sistema gioviano, proprio per l'effetto della maggiore attrazione determinata dalla vicinanza del pianeta, che agisce come una lente gravitazionale e ingrandisce quindi l'effetto di focheggiamento delle particelle di materia solida nelle immediate vicinanze della sua superficie. L'assenza totale di strutture da impatto meteoritico implica che Io ha una superficie estremamente "giovane" e dinamica, capace cioè di rinnovarsi in tempi brevissimi: si è calcolato che i crateri possano essersi cancellati dalla superficie di Io se si suppone che ogni mille anni vengano depositati materiali per uno spessore di 1 metro.

La struttura dominante della superficie di questo satellite è rappresentata dai centri vulcanici, che sono in generale individuati da macchie nere con dimensioni di qualche decina di chilometri; nelle immagini ad alta risoluzione risultano essere simili alle caldere dei vulcani terrestri o marziani (crateri collassati, formati per sprofondamento o esplosione di una bocca vulcanica preesistente).

Il 5% della superficie totale del satellite è occupato da tali strutture scure, che riflettono appena il 5% della luce solare, e che spesso sono circondate da un alone di materiali scuri quasi come il cratere centrale. La similitudine con i vulcani terrestri è più stretta se si pensa alle bocche capaci di eruttare grandi quantità di cenere, caratteristiche ad esempio dei vulcani messicani. Da questi centri vulcanici si vedono partire vari tipi di colate, che possono assumere forme disperate, da quelle a ventaglio, (estese per un centinaio di chilometri) a quelle a serpente, che si snodano in percorsi lunghi e sinuosi. Le colate possono essere sia più chiare che più scure dei terreni su cui scorrono, hanno colorazioni variabili dal rosso all'arancio e spesso i bordi hanno albedo diversa, tanto da risultare in contrasto con la colata stessa mettendola così in risalto.

Le regioni equatoriali non presentano rilievi notevoli, qualche collina arriva ai 1000 metri di altezza rispetto ai terreni circostanti e non è stata notata alcuna relazione dei vulcani con i rilievi. Sono presenti numerose scarpate e valli profonde qualche centinaio di metri, indici di tensioni che hanno spaccato la crosta, come le faglie o i graben terrestri.

Le regioni prossime ai poli sono più irregolari; ci sono meno centri vulcanici ma si ergono numerose montagne, alte qualche chilometro; si sono inoltre individuati terreni stratificati in cui è possibile distinguere livelli diversi di materiali, laddove l'erosione li ha tagliati, esponendoli. Il più ampio fra questi altipiani ha un'estensione pari a circa un terzo dell'Italia. L'erosione cui abbiamo fatto cenno è quella determinata dagli sforzi di tensione capaci di generare le faglie e le fratture che spesso appaiono intersecate; il sovrapporsi di sistemi diversi è un indice di una notevole complessità nei fenomeni di deposizione, di frattura e di erosione di quelle zone.

Il vulcanismo su Io era in qualche modo stato predetto in un articolo, apparso qualche giorno prima che il Voyager inviasse le prime immagini del satellite, di Stanton J. Peale, Patrick M. Cassen e Ray T. Reynolds (vi si raccontano storie divertenti sui salti mortali che i tre ricercatori avrebbero fatto per rendere possibile la pubblicazione del loro articolo in anticipo rispetto ai dati inviati dal Voyager). Il loro modello indicava nelle forze mareali la sorgente di energia capace di fondere grandi quantità di materiali all'interno di Io e di provocare le tensioni che potevano fratturare la sua crosta. Io, nel suo moto intorno a Giove è soggetto periodicamente all'attrazione gravitazionale esercitata dagli altri satelliti galileiani, e di Europa in particolare, viene quindi leggermente "strattonato" ogni qualvolta si trova in opposizione con uno dei satelliti esterni. La sua orbita oscilla rispetto a quella circolare che gli imporrebbe il forte campo gravitazionale di Giove: insorgono quindi forze di marea che producono al suo interno un'enorme quantità di calore per attrito. Tale calore dovrebbe essere dissipato attraverso la superficie del satellite; Peale e compagni ipotizzarono perciò che su Io "dovrebbe verificarsi un diffuso e ricorrente vulcanismo superficiale".

Ma nessuno pensava di trovarsi di fronte a vulcani attivi nell'arco ristretto di tempo in cui il Voyager I avrebbe sorvolato il satellite.

La scoperta del primo vulcano attivo su Io è stata fatta da Lina A. Morabito, un ingegnere del JPL che aveva l'incarico di verificare l'andamento della sonda lungo la sua traiettoria.

Ai fini della navigazione spaziale, erano state riprese un certo numero di immagini dei satelliti sovraesposte, in cui comparivano fuori fuoco il bordo di Io ed evidenziate le stelle di fondo, necessarie per fare il punto. Nell'esaminare una foto la Morabito si accorse che al di fuori del bordo di Io, nell'emisfero australe, compariva una forma luminosa ad ombrello: verificato che non si poteva trattare di segnali spuri, si utilizzarono tutti i procedimenti delle tecniche di elaborazione elettronica delle immagini per determinare l'altezza e la densità di quella nuvola. A 270 Km al di sopra della superficie del satellite c'era un pennacchio di materiali la cui densità era variabile, ciò rivelava la presenza di un vulcano in attività. Un esame di tutte le altre immagini disponibili portò in breve ad accertare la presenza di altri otto centri vulcanici in eruzione, che lanciavano "fumate" ad altezze variabili fra i 70 ed i 300 Km, a velocità che potevano raggiungere 1 Km/sec. Nella seguente tabella sono riportate alcune caratteristiche delle bocche attive, con i nomi loro attribuiti dai ricercatori che facevano parte dell'imaging team della missione Voyager.

Vulcano n.	Nome	Dislocazione lat./long.	Altezza (Km.) Voyager 1	Attività durante Voyager 2
1	Pele	-20°/255°	280	cessata
2	Loki	20°/300°	100	aumentata
3	Prometheus	-5°/155°	70	aumentata
4	Volund	20°/175°	95	mancano dati
5	Amirani	25°/120°	80	simile
6	Maui	20°/120°	80	simile
7	Marduk	-25°/210°	120	simile
8	Masubi	-40°/50°	70	simile

E' interessante notare come non siano state rilevate "fumate" di altezza inferiore ai 70 Km, malgrado il limite di risoluzione raggiungibile fosse di 40 Km: sembra che su Io non possano esserci eruzioni più modeste. Attorno ai vulcani si distinguono degli anelli circolari od ovali di materiali più chiari: il primo ad essere individuato è stato quello a forma di ciambella che circonda il vulcano Prometheus, l'anello ha il diametro di 300 Km; piccolo a confronto con il ferro di cavallo (700 x 1000Km) che circonda la bocca di Pele, la cui forma è apparsa ellittica nelle immagini del Voyager 2, indicando così un'intensa attività del vulcano nel periodo di tempo che separava le due missioni. Questi anelli simmetrici indicano che l'eruzione avviene come un getto d'acqua di una fontana: i materiali, lanciati verso l'alto, ricadono attorno al punto di uscita coprendo una porzione anulare della superficie circostante. I materiali che possono produrre simili effetti su Io sono zolfo condensato e l'anidride solforosa che piovono dalla fontana vulcanica.

Lo spettrometro infrarosso imbarcato sulla sonda ha fornito anche una mappa delle temperature superficiali del satellite, che ha mostrato come vi fossero numerosi punti caldi; la temperatura massima (17 °C, la temperatura ambiente terrestre) è stata misurata in prossimità del vulcano Loki, in corrispondenza di una struttura di colore scuro a forma di U. Il violento contrasto tra il valore della temperatura in quei punti e nelle zone vicine, che si trovano alla normale temperatura superficiale di Io (-146°C), ha fatto avanzare l'ipotesi che la struttura scura sia una specie di lago di lava, un luogo cioè dove materiali fusi (rocce o zolfo) sono in prossimità della superficie. Se si trattasse di zolfo, che ha un punto di fusione a 112°C, si potrebbe pensare che la superficie del lago fosse ricoperta da una pellicola di zolfo solidificatosi.

I colori brillanti, che hanno fatto dire che Io ha l'aspetto di una pizza, suggeriscono la presenza dello zolfo; infatti, quando si porta questo elemento a valori diversi di temperatura e lo si raffredda rapidamente esso può assumere colorazioni molto diverse, che vanno dal nero al normale giallo chiaro, attraverso tutta una gamma di rossi ed arancioni, che sono proprio le sfumature che caratterizzano i paesaggi di Io.

Studi di laboratorio ed osservazioni telescopiche sia pre- che post- Voyagers indicano che lo zolfo ed i suoi composti hanno caratteristiche chimiche e spettrali che ben si accordano con quanto misurato sul satellite di Giove. L'anidride solforosa, che sulla Terra viene prodotta dall'attività vulcanica e, combinandosi con l'acqua forma acido solforico, nelle condizioni ambientali di Io può condensare direttamente in un solido bianco, che potrebbe perciò essere

la "neve" che copre le vaste aree bianche osservate nelle immagini dei Voyagers. Tale composto é stato osservato da Terra e dalla strumentazione di bordo, quando lo spettrometro infrarosso é stato puntato sulla bocca in attivit  del vulcano Loki.

Tutte queste osservazioni sembrano dunque confermare i calcoli di Peale e colleghi, che su base dinamica avevano previsto l'esistenza di possibile attivit  vulcanica su Io. La sorgente di calore rappresentata dall'azione mareale ha agito probabilmente per tutto il periodo di vita del satellite, cio  per oltre 4 miliardi di anni, mantenendo allo stato fuso il suo interno ed alimentando in continuazione l'attivit  vulcanica. Ci  ha portato ad un completo rimescolamento dei componenti, con perdita di tutte le sostanze volatili, come l'acqua e l'anidride carbonica, che sono totalmente assenti al momento; la maggior parte dello zolfo   salito in superficie, dove   continuamente riciclato dall'attivit  vulcanica. Un possibile modello di interno, che pu  spiegare anche la massiccia presenza di vulcani attivi, prevede che al di sotto della crosta di Io, composta da zolfo solido, si estenda un oceano di zolfo liquido profondo parecchi chilometri; la regione di transizione fra superficie solida e strato di zolfo liquido sarebbe occupata da uno strato in cui si trovano miscelati zolfo solido ed anidride solforosa liquida, la cui espansione durante fasi di attivit  sarebbe in grado di spiegare le velocit  di elezione dei materiali eruttati.

Delle 100.000 tonnellate di materiale che viene eruttato ogni secondo dai vulcani di Io, solo una parte infinitesima, 10 tonnellate, non ricade sulla superficie del satellite e viene catturata dalla magnetosfera di Giove. L'iniezione di parecchie tonnellate al secondo di materiale in tale ambiente produce degli effetti che sono visibili anche da Terra.

Lungo l'orbita di Io   presente una nuvola di sodio, rilevata da osservazioni telescopiche nel 1973; i Voyagers hanno permesso di individuare un toro di plasma (una ciambella di particelle cariche) che avvolge tutta l'orbita del satellite. Gli atomi ionizzati (carichi cio  perch  hanno perso un elettrone) presenti in tale plasma provengono sia dalle eruzioni vulcaniche che dall'interazione delle particelle ad alta energia trasportate dalla magnetosfera del pianeta con i materiali superficiali. Con lo spettrometro ultravioletto dei Voyager si   misurata la composizione del plasma presente nel toro di Io gi  da distanze di 150 milioni di Km: gli atomi pi  abbondanti erano quelli dello zolfo, ionizzati una, due o tre volte (che cio  avevano perso uno, due o tre elettroni, strappati per l'interazione con la radiazione solare ultravioletta), dell'ossigeno ionizzato, del sodio neutro e ionizzato. Con particolari tecniche, lo zolfo ionizzato   stato fotografato da Carl Pilcher, dell'Universit  delle Hawaii, nell'aprile del 1979 da Terra.

Io si comporta come un conduttore nel muoversi all'interno del campo magnetico di Giove: ci  genera una corrente, di intensit  pari a 10 milioni di Ampere ed una potenza di un milione di milioni di Watt, che scorre fra Io e Giove: la regione di spazio interessata da questa corrente si indica come tubo di flusso. Il tubo di flusso   concatenato al moto delle linee di forza del campo gioviano.

LE GROTTA A BOLLA DEL VULCANO FANTALE (RIFT ETIOPICO)

G. GUZZETTA* - Department of Geology - Addis Abeba University - Ethiopia

A. CINQUE* - Istituto di Geologia - Università di Napoli - Italia

Riassunto

Sebbene meno frequenti delle grotte laviche, le cavità "a bolla" (blister caves) che possono formarsi durante la messa in posto di sequenze ignimbritiche sono altrettanto interessanti ai fini della comprensione dei meccanismi eruttivi legati ai vari tipi di attività vulcanica.

Tutto intorno il piede del vulcano pleistocenico Fantalé -sito nella parte nord del rift etiopico- si possono osservare centinaia di blisters le quali coprono un'area di varie decine di Km². L'ignimbrite che contiene le cavità rappresenta uno dei più recenti prodotti del vulcano ed è da mettersi in relazione alla formazione dell'ampia caldera sommitale.

La maggior parte delle blisters si manifestano in superficie come cupole dal diametro variabile tra i pochi metri ed il centinaio. Esse si elevano sulla piatta sommità della ignimbrite per un massimo di circa dieci metri, anche in virtù del fatto che le più grandi fra le cupole risultano collassate o, comunque, meno acute di quelle a diametro minore.

Le osservazioni condotte permettono di affermare che le cavità in esame si formarono a causa della degassazione della porzione inferiore del deposito ignimbritico, avvenuta mentre la porzione superiore di esso era ancora calda e plastica.

Sulla origine di detti gas, gli autori avanzano delle ipotesi che, una volta suffragate da ulteriori evidenze, potrebbero costituire un contributo alla comprensione della genesi dei depositi ignimbriiferi.

Summary

Some underground cavities which seem produced during the emplacement of hot fragmental flows (ignimbrite) are in some way more exceptional than lava tube caves. A typical occurrence of such features, perhaps more unique than rare, is represented by a cluster of blister caves in a welded tuff surrounding the Fantalé volcano, in the Ethiopian Main Rift.

Several hundreds blisters have been counted all round the piedmont of the volcano, over an extent of some tens of square km. Most probably the ignimbrite containing these unusual caves was produced upon the subsidence of the 3.5 km wide caldera that characterizes this pleistocene volcanic center. Most of the cavities appear just like little domes abruptly rising above the flat top-surface of the rock unit. Their diameter ranges from a few meters up to almost one hundred. The ceiling of the larger blisters is often collapsed and the caves can be entered. The analysis of the cavities and the rock enables the Authors to reconstruct the mechanism of blister formation in ignimbrites, as well as to explain the reason of the rarity of such phenomenon.

(*) Soci del Gruppo Speleologico del CAI Napoli

Introduzione

Le cavità a bolla del vulcano Fantalé furono inizialmente descritte da I.L. Gibson (1967, 1974), il quale riteneva che la loro origine fosse dovuta all'azione della "fuga di gas dal tufo vulcanico immediatamente dopo la sua deposizione". Poiché si ritiene che la liberazione di gas sia caratteristica di tutti i depositi di colate piroclastiche, occorre integrare la precedente interpretazione genetica, in modo da spiegare perché tali cavità si formino raramente nelle ignimbriti. Per cominciare si possono individuare due spiegazioni plausibili: o la colata piroclastica che ha prodotto l'ignimbrite del Fantalé era di per se in qualche modo differente dalla grande maggioranza delle altre colate conosciute, o lo spandimento della stessa ignimbrite è avvenuto in condizioni ambientali eccezionali.

Così, a parte l'interesse speleologico, lo studio di queste cavità ha alcune interessanti implicazioni vulcanologiche.

In questo lavoro gli Autori si propongono di fornire un contributo preliminare alla spiegazione di entrambi questi effetti.

L'ignimbrite del Fantalé

Il monte Fantalé è uno strato-vulcano pleistocenico con componente lavica secondaria, i cui prodotti riolitici si trovano a strati discordanti nella sequenza, per lo più basaltica, dell'"Afar Group" (Mohr, P.A. 1960). Esso si trova all'estremità settentrionale della Main Ethiopian Rift Valley, circa 100 Km ad est di Addis Abeba. Il Fantalé è uno degli innumerevoli centri eruttivi situati lungo la Wonji Fault Belt (Mohr, P.A. 1960), sistema di faglie dirette verso N.E. che cominciarono ad interessare la superficie del Rift circa 1,8 ÷ 1,6 milioni di anni fa, e che è ancora oggi attivo in molte località. Il vulcano si eleva per circa 600 metri al di sopra del circostante Metahara Plain, che ha un'altitudine media di 950 m., e la sua sommità è caratterizzata da un'ampia caldera ellittica del diametro di quasi 3,5 Km.

L'ignimbrite pantelleritica contenente le cavità a bolla fu probabilmente emessa in connessione con la fase di subsidenza calderica, evento che quasi sicuramente si verificò durante il tardo Pleistocene. L'ignimbrite ricopre una grossa porzione dei territori ai piedi del vulcano e, quasi ovunque, costituisce l'unità litica posta più alta fra tutte quelle del vulcano stesso. Ricerche sul terreno hanno dimostrato che la colata (o le colate) che formarono l'ignimbrite percorsero i fianchi del vulcano quando la situazione topografica del rilievo non era apprezzabilmente diversa da quella attuale; la roccia è generalmente sottile e discontinua sui fianchi della montagna, dove gli affioramenti si riducono ad alcuni corpi allungati corrispondenti ai tracciati seguiti dalle colate che, lungo le vallate preesistenti, venivano giú raggiungendo la pianura.

Nella Metahara Plain alcuni rigetti di faglie molto recenti, mettono in mostra fino a 10 m. di spessore dell'ignimbrite senza esporre ancora la base dell'unità. Altri autori hanno tuttavia scritto di una potenza massima di 20 ed anche 30 m. (Gibson I.L. 1967; Gibson I.L. e Tazieff H. 1967).

L'attività post calderica del Fantalé diede luogo ad alcune limitate colate di ossidiana - con associate piogge di materiale piroclastico - e ad alcune colate di lave basiche che furono emesse durante la prima metà del XIX secolo attraverso una faglia del sistema delle Wonji Faults, che tagliarono la parte sud orientale del vulcano e misero in posto l'ignimbrite ricca di bolle. Alcune di queste faglie si mossero anche dopo lo spandimento della lava.

L'ignimbrite cui sono associate le bolle mostra alcuni caratteri litologici che portano ad interpretarla come risultato di diverse colate piroclastiche, piuttosto che il prodotto di un singolo, poderoso episodio eruttivo. Nei 10 metri superiori più superficiali, la roccia appare piuttosto compatta e ben saldata; tuttavia un esame più accurato rivela la presenza di almeno tre livelli in cui i frammenti più pesanti (in maggior parte litici) sono concentrati, interstratificati, con almeno quattro bande composte dalla frazione più leggera (zolle di pomice e cenere). La transizione dalle bande leggere alle più pesanti è graduale verso il basso e piuttosto brusca verso l'alto. Fiamme ben evidenti,

spesso vetrose, si trovano per tutto lo spessore della sequenza rocciosa. Il loro grado di appiattimento non segue le ritmiche variazioni verticali delle caratteristiche litologiche, come ci si potrebbe aspettare nel caso di una serie di colate che si espansero con lunghi intervalli di tempo. Al contrario, l'appiattimento decresce quasi uniformemente dalla base alla sommità, ad eccezione degli ultimi due metri della sequenza ignimbritica che è caratterizzata dalla presenza di fiamme molto appiattite e vetrose, fino agli ultimi centimetri superiori di roccia. Chiaramente lo schiacciamento di queste ultime fiamme non può essere imputato al peso dei materiali giacenti al di sopra. Come ha suggerito Tazieff (1967), queste fiamme furono originate da alcune inclusioni di vetro fuso non vescicolato che erano molto fluide al tempo dell'eruzione, e si appiattirono poi all'atto della deposizione. Sulla base delle prove dedotte sul luogo possiamo condividere questa interpretazione per quello che riguarda l'ultima colata della sequenza, dello spessore di due metri.

Secondo la nostra opinione, la cosiddetta ignimbrite del Fantalé deve essere vista come una tipica "unità di raffreddamento" che derivò dalla deposizione di almeno cinque colate piroclastiche eruttate in rapida sequenza e raffreddatesi insieme. Questa interpretazione può spiegare sia la variazione ritmica dei tipi litologici, sia la continua variazione verticale del grado di saldatura e compattazione all'interno della sequenza rocciosa. La seconda cessa alla base dell'ultima colata piroclastica a causa della sua peculiare natura. Inoltre l'ultima colata era probabilmente più calda più vetrosa e meno fluida delle precedenti; i depositi che ha lasciato, sebbene non caricati da prodotti più recenti, conseguirono per compattazione un peso specifico che è notevolmente vicino ai valori mostrati dalle porzioni più profonde dell'unità di raffreddamento.

Le cavità a bolla

Sebbene soltanto poche di esse siano penetrabili, quasi tutte le bolle, il cui diametro varia da pochi metri a qualche centinaio, sono ispezionabili nel piatto paesaggio della Metahara Plain, ergendosi improvvisamente come piccoli domi sulla superficie dell'Ignimbrite del Fantalé (Fig.1). Molte bolle hanno una base perfettamente circolare, ma ne sono state viste alcune, anche se poche, a base ellittica, dovuta forse alla coalescenza di due bolle adiacenti. L'altezza dei domi non supera mai la dozzina di metri, ed è generalmente compresa tra un terzo ed un decimo del diametro di base.

Diverse centinaia di bolle sono ispezionabili nella pianura tutt'intorno al Fantalé. L'area interessata dalle bolle - una sorta di banda ad anello - comincia dove la pendenza dei fianchi del vulcano scende al di sotto del 10%, e termina ad una distanza di 8 - 9 Km dall'orlo calderico.

La densità topografica delle bolle è estremamente variabile da un posto all'altro, essendosi osservato un massimo di circa 80 cupole per Km² nella fascia pedemontana meridionale del vulcano. Le bolle sembrano essere sparse secondo una distribuzione casuale. Non sono state trovate né tendenze preferenziali, né qualsiasi altro tipo di regolarità, ad eccezione di un'accennata tendenza delle bolle più grandi a concentrarsi nelle parti periferiche dell'area interessata.

Le bolle più piccole di 10 - 15 m sono generalmente "sigillate" ed inaccessibili, mentre le più grandi spesso appaiono così in rovina da sembrare coni craterici, la cui forma e dimensione iniziale può essere solo vagamente intuita studiando l'orlo residuo. Pertanto, allo scopo di ottenere un quadro completo e rappresentativo della fisionomia originaria di queste cupole cave, abbiamo focalizzato la nostra attenzione su quelle bolle che appaiono meglio conservate, e precisamente, quelle che furono tagliate artificialmente durante la costruzione della linea ferroviaria Addis Abeba - Djibuti.

La tipica sezione trasversale di una bolla (Fig.2) mostra un pavimento piatto roccioso, localizzato circa due metri al di sotto del piano di campagna. La forma superiore corrisponde allo spessore dello strato roccioso inarcuato a formare la volta della cavità e il conseguente rilievo a forma di cupola. Si deve rilevare che, per tutte le bolle visitate, lo spessore della copertura rocciosa (il che equivale a dire anche la profondità alla quale si trova il pavimento della cavità) era quasi invariabilmente di 2 m. Tuttavia, all'interno

della stessa cavità la copertura mostra un leggero assottigliamento andando dalla periferia verso il centro della cupola. Questo fatto, insieme alla presenza di alcune stalattiti (strutture di roccia pendenti dalla volta), suggerisce che l'ignimbrite fu inarcuata mentre era ancora calda e quindi plastica. Non sono state trovate chiare evidenze di un comportamento fragile. Tuttavia il pavimento delle cupole cave appare spesso caratterizzato da fessure di raffreddamento formatesi probabilmente dopo il rigonfiamento della bolla. Le cupole più piccole presentano in genere fianchi più ripidi rispetto a quelle più grandi, mentre la distribuzione radiale delle fessure da raffreddamento (se osservate in sezione trasversale) appare più marcata nelle bolle più piccole. Sembra che le cupole di diametro ridotto siano meccanicamente più resistenti, dal momento che la percentuale delle unità collassate si incrementa andando dalle bolle più piccole alle più grandi. Il termine "collassate" che abbiamo utilizzato per descrivere le cupole crollate, sembra essere il più adeguato. Infatti, non si è trovata alcuna prova che potesse far pensare ad una rottura della volta dovuta ad esplosione come ultima conseguenza della crescita della bolla. Ad esempio, l'insieme dei rottami ritrovati all'interno dell'orlo corrisponde grosso modo al volume di roccia "mancante" dalla volta.

La genesi delle bolle

In breve, il processo che portò alla formazione della bolla può essere descritto come il sollevamento di uno strato di roccia relativamente impenetrabile e plastico, sotto la spinta di gas in pressione prodotti o liberati dalle parti sottostanti. Questa definizione, benché generica e vaga, permette di individuare i due punti cruciali che ogni modello interpretativo deve considerare e chiarire in modo più completo:

- i) la natura degli strati impenetrabili plastici;
- ii) l'origine dei gas.

Riguardo al punto (i), Gibson(1974) suggerì che la porzione superiore dell'ignimbrite del Fantalé divenne impermeabile a causa del suo "rapido raffreddamento", a prescindere dal fatto che la porzione superiore di un deposito da colata piroclastica è insolitamente meno compatta e più permeabile della parte inferiore, e ciò anche - se non soltanto - a causa del più rapido raffreddamento; l'assunto di Gibson del rapido raffreddamento sembra contraddire un'altra affermazione dello stesso autore, specificatamente quella che lo strato deformato "era ancora molto caldo nel momento della formazione della bolla".

Alla luce delle prove che abbiamo raccolto, lo strato di roccia che fu sollevato dai gas sembra non essere altro che l'ultima colata della serie che generò l'ignimbrite del Fantalé. In accordo col lavoro di Gibson I.L. e Tazieff H. (1967) noi riteniamo che l'ultima colata, mentre si spandeva sul pianoro, fosse ancora molto calda, ricca in vetro e povera di gas. Il deposito risultante era plastico e relativamente impenetrabile per liberare del gas a causa delle sue caratteristiche intrinseche. Come mostreremo più avanti, sembra che il raffreddamento di questo strato fu il responsabile della fine graduale del rigonfiamento di bolle, piuttosto che dell'inizio del fenomeno.

La nuova interpretazione qui proposta circa la natura dello strato impenetrabile giustifica anche la costanza della profondità alla quale ha luogo il formarsi della bolla all'interno dell'ignimbrite e l'uniformità del pavimento della cavità.

Riguardo al punto (ii) si possono suggerire tre ipotesi sull'origine dei gas:

- a) fluidi idrotermali provenienti da fonti vulcaniche più antiche della zona;
- b) vapore acqueo prodotto alla base della colata piroclastica a causa del depositarsi del tufo al disopra di una superficie umida o di un corpo idrico poco profondo;
- c) elementi volatili residui liberati dal tufo durante le fasi iniziali del suo raffreddamento e consolidamento.

Alla luce dei dati raccolti noi riteniamo che l'ipotesi (c) sia la più

affidabile fra le tre. Essa dá ragione dell'estesa e quasi uniforme liberazione di gas, come dell'assenza di distinte bocche da ascensione di gas all'interno della massa rocciosa. Allo stesso tempo, l'assunto di una lenta, regolare liberazione di elementi volatili - che solo "gradualmente" raggiunsero la pressione necessaria a sollevare lo strato roccioso "sigillante" - può ben spiegare la già menzionata assenza di caratteristiche in relazione a fenomeni esplosivi nella morfologia delle bolle.

In conclusione, il modello genetico da noi proposto per le cavità a bolla dell'ignimbrite del Fantalé può essere riassunto nel modo seguente:

i - Presumibilmente in connessione con la formazione della sua enorme caldera, il Fantalé produsse una serie di colate piroclastiche che si espansero ad intervalli di tempo molto ristretti. L'ultima colata della serie era molto ricca di frammenti vetrosi non vescicolati, povera di pomice, calda e, nel suo insieme, meno porosa dei depositi sottostanti lasciati dalle precedenti colate.

ii - prima del raffreddamento e del consolidamento dell'unità di flusso superiore, gli elementi volatili residui ancora emessi dalla porzione inferiore della serie raggiunsero una pressione sufficiente a rigonfiare lo strato superiore relativamente irregolare e plastico. Dei nuclei di bolle si formarono probabilmente nei punti in cui la resistenza dello strato sigillante era più bassa (per es. dove esso era un po' meno spesso o meno viscoso) e la distribuzione delle cupole fu quindi determinata solo dalla variabilità casuale delle proprietà della colata più recente.

iii - la crescita delle bolle fu accompagnata dal raffreddamento dell'intera ignimbrite. Questo processo incluse il graduale incremento della viscosità della roccia (specialmente dello strato superiore, il quale perdeva calore più velocemente), insieme al progressivo abbassamento della pressione dei gas. A causa dell'effetto combinato di questi due fenomeni, la crescita delle cupole cave rallentó, per finalmente cessare al raggiungimento di un equilibrio tra la resistenza della volta e la pressione dei gas all'interno.

iv - Non appena il raffreddamento della volta causava la formazione di fessure di contrazione sulla volta stessa delle cupole, il gas trovava una via di fuga. Tuttavia, dal momento che lo spessore roccioso era divenuto una sorta di mosaico di blocchi solidi piuttosto grandi, a forma poligonale, i getti di gas non riuscivano a scagliare via tali blocchi.

v - dopo la fuoriuscita terminale del gas (non possiamo completamente escludere che la crescita delle bolle fu accompagnata da piccole emissioni di gas verso la superficie) alcune cupole collassarono a causa della mancanza della pressione interna di contrasto che, fino a quel momento, aveva contribuito a sostenere la volta della cavità. Come già detto, la stabilità finale della bolla fu anche influenzata dalla forma e dalla dimensione (diametro) delle singole cupole.

Alla luce del modello qui proposto, la ragione del rarissimo verificarsi di questo tipo di cavità potrebbe essere riconosciuta nel raro contemporaneo verificarsi di una quantità di fattori necessari e di condizioni tra le quali tre si possono definire nel modo seguente:

- a) é richiesto lo spandimento di almeno due colate piroclastiche (o di una serie di colate) la prima delle quali deve essere più porosa e ricca di gas;
- b) l'intervallo di tempo che separa l'arrivo delle due colate deve essere abbastanza breve da consentire l'uniforme spandimento della prima mentre essa é ancora calda e ricca di gas;
- c) l'ultima colata strato dovrebbe essere abbastanza spessa da formare una effettiva barriera ai gas e, allo stesso tempo, abbastanza sottile perché la pressione dei gas riesca a sollevarla.

BIBLIOGRAFIA

- GIBSON I.L.- 1967. Preliminary account of the volcanic geology of Fantalé, Shoa.
Bull. Geoph. Obs. Addis Abeba Vol.10; pp.59-67
- GIBSON I.L.- 1974. Blister caves associated with an ethiopian ash-flow tuff.
Studies in Speleology, vol.2, part 6; pp.225-232.
- GIBSON I.L. & TAZIEFF H. - 1967. Additional theory of origin of fiamme in ignimbrites. Nature, vol.215; pp.1473-1474
- MOHR P.A.-1960. Report on a geological excursion through southern Ethiopia.
Bull. Geophys. Obs. Addis Abeba vol.3; pp.9-20

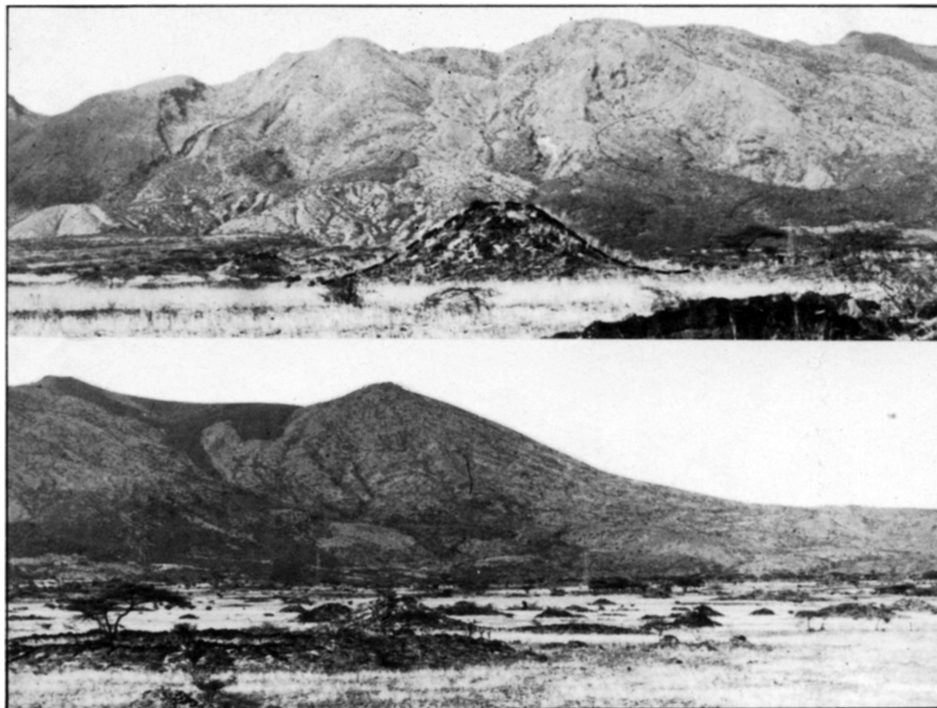


Fig.1 - Due vedute del campo di blisters nell'area pedemontana meridionale del Fantalé.

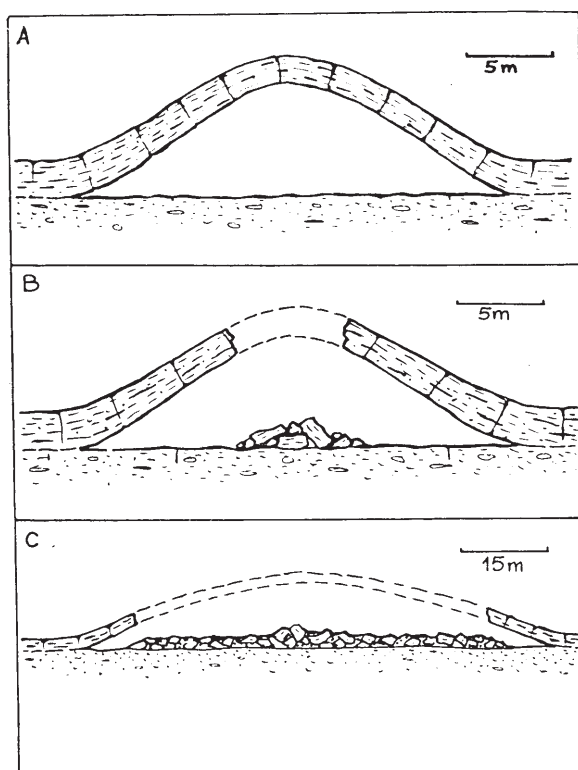


Fig.2 - Sezione trasversale di tre blisters rappresentanti tre differenti stadi di conservazione:
 A - integro (non collassato)
 B - aperto al vertice
 C - crollato (collassato)

MORFOLOGIA E FUNZIONAMENTO DEI SISTEMI DI TUBI LAVICI

C. WOOD - Yorkshire Dales National Park, Grassington, England

Riassunto

Le mappature delle gallerie laviche e le osservazioni su colate laviche in movimento, alimentate da tubi, consentono la ricostruzione della morfologia di un tipico sistema di tubi lavici in una grande colata di lava a forma di lingua. Questo sistema sarà costituito da un lungo condotto assiale sinuoso, parzialmente ramificato, che termina con un fronte, simile ad un delta fluviale, di tubi distributori minori anastomizzati, e di canali di lava aperti.

Questo modello di base può essere ulteriormente complicato dalla "concorrenza" tra linee di corrente (comprese le "catture" di flusso), e dallo sviluppo di tubi di straripamento.

L'esame dei modelli e delle forme dei tubi lavici, il loro raffronto con i sistemi fluviali, e la consapevolezza dell'efficienza dei tubi di lava nel conservare la temperatura e la modalità del flusso su grandi distanze, induce a ritenere senza perplessità che i sistemi di tubi lavici sono forme "adattate", ovvero in equilibrio; cioè, qualunque modificazione nelle variabili che ne determinano il funzionamento provocherà nel fiume di lava una variazione di pendenza in più o in meno, in modo che le perdite di energia meccanica e termica siano ridotte al minimo.

Pertanto si ritiene possibile il continuo allungamento del tubo di alimentazione assiale finché il rifornimento di liquido incandescente dalla bocca effusiva non diminuisca in maniera sensibile.

Questa interpretazione spiegherebbe l'apparente anomalia di lunghissime colate di lava effuse su deboli pendii, e la formazione di vulcani-scudo con pendenze trascurabili, del tipo hawaiano.

Summary

Maps of lava tube caves and observation of active tube-fed pahoehoe lava flows enable a reconstruction of the morphology of a typical lava tube system in a large, tongue-shaped flow. Such a system will consist of a long, sinuous and partly braided axial conduit, terminating at a delta-like front of smaller anastomosing distributary tubes and open lava channels. This basic pattern may be further complicated because of competition between flow (including stream piracy) and the development of overflow tubes.

Examination of the shapes and patterns of lava tubes, comparison with water river systems, and knowledge of the efficiency of lava tubes in maintaining flow temperature and mobility over great distances, strongly suggest that lava tube systems are "adjusted", or equilibrium forms; i.e., any change in the controlling variables will cause the lava river to aggrade or degrade its channel in such a way that thermal and mechanical energy losses are minimized.

Thus, the continued elongation of the axial feeder tube is held to be possible as long as the supply of hot liquid from the vent does not significantly diminish.

Such an explanation would account for the apparent anomaly of very long lava flows emplaced down negligible gradients, and for the growth of low-angled, hawaiian-type shield volcanoes.

Introduzione

Ai fini di questa discussione, si considera galleria di scorrimento lavico la parte abbandonata del canale che in precedenza convogliava internamente il fiume alimentatore di una colata lavica di tipo pahoehoe. Di conseguenza, l'analisi delle variabili morfologiche e planimetriche e delle forme dei condotti di gallerie di scorrimento é di particolare valore per visualizzare l'estensione, la morfologia e la dinamica del sistema ideale delle colate pahoehoe (un fiume lavico é qui definito come flusso mobile confinato tra gli argini di uno stretto canale, sia per un canale a cielo aperto, che per un tubo lavico), e per confermare i processi di costruzione e di funzionamento dei canali descritti dai vulcanologi, durante i periodi di spandimento di colate attive. Tale analisi é qui descritta e costituisce uno studio comparativo delle forme e dei fenomeni relativi a fiumi di lava ed a corsi d'acqua. Chi scrive si é ampiamente ispirato ai lavori di Leopold, Wolman e Miller (1964) e Morisawa (1968) riguardo le descrizioni delle forme e dei processi nei sistemi idrici fluviali. Lo studio é di carattere qualitativo, a causa della sua forma ancora embrionale e delle ridotte possibilitá di raccolta di dati quantitativi, sebbene venga indicato il cammino per un futuro approccio quantitativo.

Canalizzazione di una colata lavica

Un liquido che fluisce, sia esso acqua o lava, é soggetto a due forze esterne principali: una forza "motrice" di natura gravitazionale e una resistenza al movimento verso valle, come risultante dell'attrito lungo il contorno del canale. Nella lava, tuttavia, il comportamento del liquido in prossimitá della bocca effusiva é la risultante di un alto contenuto volumetrico in gas e di un'alta temperatura. Con la progressiva perdita di gas e di calore verso valle, si ha incremento nella formazione di cristalli e nella viscositá, il che dá luogo ad un incremento della resistenza interna al flusso. Cosí, come evidenziato da Booth e Self (1973), in molte colate laviche si realizza, tra le bocche e il fronte, un cambiamento da un regime ad alta energia termica e bassa energia meccanica ad un regime a bassa energia termica ed alta energia meccanica. Gli stessi Autori hanno anche supposto che il regime non-Newtoniano (flusso di Bingham) puó coincidere col regime ad alta energia meccanica; lo sforzo tangenziale necessario per mantenere il flusso verrebbe fornito dalla massa di materiale fuso fluente dalle bocche verso valle.

Sembra che tali perdite di energia siano minime nelle colate di lava pahoehoe confinate in canali o in sistemi di tubi lavici, cosí come Swanson (1973, p.622) osservó durante l'eruzione del Mauna Ulu (Kilauea, Hawaii (1969-71):

"I tubi fornivano un isolamento termico talmente efficace che la lava fluente mantenne una temperatura uguale, o leggermente inferiore, alla temperatura di effusione di 1165-5 C. Ad esempio, un ramo che si estendeva dall'Alae Crater ad un punto vicino all'oceano (su una distanza di circa 10 Km) mostró che la piú alta temperatura della lava rilevata al pirometro ottico in ogni finestra del sistema di tubi, andava da 1150 a 1155°C, senza che vi fossero tendenze evidenti al raffreddamento".

E' stato comunemente stabilito che una ragione della trascurabile perdita di energia termica dal fiume di lava all'interno di un tubo va ricercata nella conducibilitá termica del basalto vescicolare che lo contiene (Robertson e Peck, 1969). Questo é sicuramente vero, ma non puó costituire l'unica ragione del mantenimento di temperatura e mobilitá del flusso lungo tali considerevoli distanze. Per contro, si ipotizza qui che i sistemi di tubi-canali lavici nelle colate pahoehoe si trovano, come i loro consimili d'acqua, in situazione di equilibrio: come risultato della loro costruzione, una sufficiente quantitá di energia meccanica é utilizzata per superare l'attrito del pendio, mentre le perdite di energia termica nell'aria e nel terreno sono sufficientemente ridotte, in modo da conservare una temperatura capace di garantire un flusso continuo. In veritá, come ha descritto Wentworth (1954), sembra che vi sia una stretta relazione tra il movimento della lava e la conservazione del calore in quanto la convezione, piuttosto che la conduzione, é maggiormente responsabile del trasferimento di energia termica, e la mobilitá della lava dipende dal mantenimento di alte temperature. Pertanto la mobilitá aumenta con la temperatura e, per converso, la temperatura é altrettanto ben conservata da un incremento o dalla conservazione del movimento.

Durante le fasi iniziali dello spandimento della colata va tenuto presente un principio fondamentale: la lava é soggetta a perdite di energia meccanica e termica, e le parti marginali del flusso rallentano il loro movimento fino ad arrestarlo del tutto, a causa della mancanza di calore (come ad esempio descritto da Peterson e Swanson, 1974, p.211). La situazione é quella in cui la lava inizialmente molto calda e mobile viene a contatto con superfici decisamente fredde e si ha una brusca transizione. Questa non é una condizione di stabilit , e si forma una zona di transizione per temperatura e velocit , che d  luogo ad una variazione di velocit  verso i margini del flusso attivo. Ci , a sua volta, mediante la riduzione della fuga di calore verso l'esterno, provoca la solidificazione e causa il restringimento del flusso attivo. La mobilit  viene mantenuta lungo le linee di pi  attivo movimento e, come ha puntualizzato Wentworth (1954), si ha infine la formazione di un ben definito canale in cui, esistono condizioni termiche e di flusso stazionarie, con una zona di transizione per temperatura e viscosit  che procede dalla vena centrale lateralmente e verso il basso fino alla parte solida del canale (tentativi parzialmente riusciti di quantificare questo comportamento sono stati effettuati da Hulme, 1974, e Sparks, Pinkerton e Hulme, 1976).

In ogni canale aperto si verifica una grande perdita di calore verso l'atmosfera, ma la velocit  del flusso ed il rifornimento di calore attraverso il canale sono tali che la temperatura si mantiene pressoch  costante. Tuttavia, non appena si riduce la velocit  ed il rifornimento di calore, forse per una riduzione di portata o di pendenza, oppure perch  la colata ha subito un'eccessiva perdita di calore a causa di un prolungato scorrimento, le direttrici di massima temperatura si spostano al di sotto della superficie e la parte superiore della corrente di lava comincia a solidificare. Alla fine, con l'incremento della viscosit , la velocit  della parte superiore diminuisce e il canale pu  restare completamente coperto, mentre al di sotto persiste un flusso relativamente rapido all'interno di un tubo. Vi   cos  un cambiamento verso valle da canale aperto a colata alimentata da tubi, che ha luogo quando l'entit  del rifornimento di calore diventa inferiore alle perdite verso i lati e la parte inferiore del canale e dalla superficie verso l'atmosfera.

Da queste idee scaturisce un'ipotesi di lavoro che spiega i processi di formazione di tubi descritti da osservatori di colate attive hawaiane alimentate da tubi (Greeley, 1971 e 1972; Cruikshank e Wood, 1972; Swanson, 1973; Peterson e Swanson, 1974). In prossimit  delle bocche il flusso appare turbolento, spruzzi e schizzi possono costruire argini arcuati che successivamente si congiungono al di sopra del flusso. In alternativa, il canale pu  ricoprirsi di una crosta stazionaria che   ispessita da trabocchi, oppure piastre cristalline trasportate dalla colata possono finire per saldarsi sulla superficie del canale. Questi processi non sono necessariamente limitati ai canali pahoe-hoe, ma possono verificarsi anche nei canali aa. Tuttavia in colate aa e in quelle pi  viscosi, segmenti della crosta superficiale vengono spaccati dall'attrito del fluido viscoso sottostante, e le coperture al disopra di canali aperti possono svilupparsi solo dove del materiale di risulta si ammassa in prossimit  di uno sbarramento, cos  come la schiuma si ammassa in prossimit  della chiusa di un canale.

Morfologia dei sistemi di tubi lavici

I vulcanologi hanno una visione decisamente realistica del flusso di lava interno che alimenta una colata di lava pahoe-hoe. La descrizione fattane da Macdonald (1967, p.11) costituisce un ottimo esempio:

"...Quasi tutti i tubi maggiori si biforcano e si ricongiungono ripetutamente, a volte con diversi bracci paralleli, alla maniera di un fiume ramificato, e dai tubi maggiori si dipartono molti piccoli tubi. Il sistema alimentatore interno di una colata pahoe-hoe attiva   un dedalo estremamente intricato, costituito da un gran numero di piccoli tubi anastomizzati, alimentati da uno o pi  tubi maggiori che a loro volta alimentano i margini della colata che si va allargando".

L'osservazione diretta, nelle gallerie di scorrimento, conferma e chiarisce nei dettagli questo quadro.

A seguito di accurate considerazioni fatte su rilievi di cavit , e osservazioni di colate attive alimentate da tubi, lo scrivente ha ipotizzato

(Wood, 1978 e 1981) che l'ideale sistema di tubi lavici che alimenta una semplice colata a forma di lingua è costituito da una combinazione dei seguenti elementi morfologici: (1) un lungo tubo alimentatore principale, sinuoso e parzialmente ramificato, che si estende lungo l'asse principale; (2) complessi laterali di tubi più piccoli, che convogliano il flusso liquido solo in occasione di straripamenti del tubo principale, causati da improvvisi incrementi di portata provenienti dalle bocche; (3) complessi di tubi in posizione più elevata, rimasti vacanti dopo che il loro flusso è stato catturato dal tubo sottostante; (4) un'area deltiforme di piccoli tubi distributori, sul fronte della colata. Gli elementi 1 e 4 sono ritenuti comuni a tutti i sistemi, mentre gli elementi 2 e 3 possono essere presenti o mancanti.

Funzionamento del tubo assiale

Il flusso assiale è convogliato generalmente all'interno di un unico lungo tubo di lava. Il tubo infatti è un canale di lava ricoperto, e ricalca forme caratteristiche degli alvei dei corsi d'acqua: una sezione trasversale di forma particolare, costruita dall'accumulo di strati di lava di periodici trabocchi, e forse un certo grado di erosione, dove il letto è degradabile; ed anche anse e ramificazioni.

I percorsi di tutte le gallerie di scorrimento sono segmenti di tubi alimentatori assiali. La Ainahou Ranch Cave, Kilauea, (Fig.1a) che si estende approssimativamente per il 40% della lunghezza della colata che la ingloba, rappresenta un tubo assiale ideale, mentre alcune parti della Cueva del Viento, Tenerife, (Fig.1b) mostrano la relazione tra il tubo alimentatore assiale e i complessi di tubi di trabocco laterale.

In colate costituite da molte unità di flusso a forma di lingua allungate e sovrapposte, ogni unità può contenere un tubo alimentatore assiale e l'intero campo di colate può essere composto da più sistemi complessi di tubi ramificati. Il sistema di tubi del Mauna-Ulu, Kilauea, ha questa forma (Fig.2).

Come nei corsi d'acqua, la capacità dei fiumi di lava di costruire canali con processi distruttivi e costruttivi dipende dalle relazioni tra forze motrici e forze resistenti. Le forze resistenti esercitate sul letto e sui bordi del canale sono una forza tangenziale. Se non vi è accelerazione, lo sforzo tangenziale che il fluido esercita sul contorno del canale è uguale ed opposto al parallelo sforzo resistente esercitato dall'alveo sul fluido in movimento. Lo sforzo di taglio è trasmesso da uno strato all'altro mediante uno scambio di movimento viscoso o turbolento (nelle lave principalmente il primo), che è conseguenza di una velocità differenziata. La forma "assestata" o stabile che può assumere un canale è quindi quella in cui lo sforzo di taglio in ogni punto del perimetro del canale viene equilibrato dallo sforzo resistente dell'alveo. Tuttavia nei corsi d'acqua con alveo variabile, il canale stesso deve essere capace di convogliare il flusso e mantenere la stabilità degli argini. Questi canali vengono definiti canali di "soglia", perché ogni punto sul perimetro è al limite del movimento. In queste condizioni un canale non potrebbe trasportare sedimenti, perché l'incremento richiesto nello sforzo provocherebbe erosione lungo gli argini. Infatti i flussi d'acqua naturali non solo trasportano sedimenti, ma migrano lateralmente mediante l'erosione di un argine, mantenendo nel complesso una sezione trasversale costante grazie alla sedimentazione lungo l'argine opposto. In tal modo si ha uno stato di equilibrio tra erosione e deposito, e la forma della sezione trasversale è stabile, mentre tale non è la posizione del canale.

I canali di lava devono anche soddisfare le due condizioni principali di un'efficiente convogliamento del flusso e del mantenimento della stabilità degli argini. Il convogliamento del flusso di lava fluida, tuttavia, implica non solo la conservazione della velocità (mobilità), ma anche della temperatura. La realizzazione di queste condizioni indica che i sistemi di canali/tubi lavici sono in equilibrio. Durante l'eruzione Mauna Ulu, Cruikshank e Wood (1972, p.424) notarono migrazioni laterali nei canali di lava dovute a processi di erosione delle sponde e tendenza a meandreggiare, sebbene non si conoscesse a quale stadio il canale raggiunse l'equilibrio, perché su di esso si formò rapidamente una copertura.

Wentworth (1954) ha avanzato delle ipotesi sulla sezione trasversale più

efficiente riguardo il convogliamento di lava fluida in condizioni di equilibrio. Da un punto di vista teorico, la forma più efficiente per ridurre le perdite di calore si avrebbe quando è esposta la minore superficie possibile, come in un condotto cilindrico. Tuttavia nelle zone più superficiali di un fiume di lava le temperature iniziali sono mantenute sufficientemente costanti dal letto e dalle pareti di un canale aperto. In questi tratti la dispersione di calore verso l'atmosfera è probabilmente maggiore di quella verso i lati e verso il basso, e la forma del canale sarebbe più profonda e meno ampia di quella che deriverebbe da considerazioni di carattere esclusivamente idraulico; questa forma viene mantenuta quando i canali si ricoprono formando tubi lavici. Si pensa che l'ulteriore allungamento verticale della sezione trasversale sia dovuto all'erosione del letto durante la fase di scorrimento successivo (Cruikshank e Wood, 1972, p.425; Peterson e Swanson, 1974, p.219; Wood, 1981, p.125-126). Così il caratteristico profilo dei tubi di alimentazione assiale in fase di svuotamento è dato da una forma a gola di rilevante altezza, determinata in parte dal progressivo approfondimento di un fiume di lava che fin dall'inizio avrebbe solo parzialmente riempito la sezione stessa (le stime di portata di lava fluida, basate sulle dimensioni dei tubi alimentatori assiali, sarebbero quindi completamente sbagliate).

Così come nei corsi d'acqua, un fiume di lava deve mostrare una zona di transizione della velocità, e quindi della temperatura e viscosità, andando dalla parte centrale della corrente verso l'esterno e il basso, fino all'alveo di roccia. La velocità sul letto del canale dovrebbe essere nulla e la variazione estremamente graduale. La temperatura della lava nella parte non mobile non è nota, sebbene si sappia che due colate di lava basaltica hanno cessato di muoversi lungo deboli pendenze quando la loro temperatura interna raggiunse rispettivamente i 760 °C (Macdonald e Finch, 1950) e i 785 °C (Macdonald, 1972, p.60). Conseguentemente si deve avere una differenza di temperature, dal letto del canale fino al centro della massa, di oltre 250°C, e tale profilo di transizione temperatura/velocità ha un probabile spessore di molte decine di centimetri. L'entità dell'incremento di velocità dal letto verso il filo centrale di massima mobilità è regolata dalla maniera in cui avviene la mescolazione tra gli elementi che si muovono più lentamente in prossimità del fondo e quelli più veloci al disopra di essi. In un flusso non turbolento o laminare il rimescolamento avviene a livello molecolare ed è determinato da forze viscosive. I flussi di lava devono quindi essere considerati come sottili cilindri racchiusi in modo concentrico che slittano uno dentro l'altro, dal momento che la temperatura e la mobilità si riducono in prossimità del letto. Questo concetto è stato adoperato correttamente da autori italiani (Malladra, 1917; Ponte, 1922; Gurrieri, 1933; Poli, 1959) per spiegare l'origine degli strati di rivestimento depositi concentricamente in gallerie di scorrimento sul Vesuvio e sull'Etna, ed è stato dettagliatamente descritto da Rittman (1975). Analogamente, strutture di flusso concentriche sono visibili in sezioni trasversali di tubi lavici interamente o parzialmente svuotati, come ad esempio nella sezione del tubo non svuotato lasciata esposta dal crollo all'ingresso della Borgarhellir (Tavola 1).

I rivestimenti lavici (croste di tubi lavici) sono presenti in molte cavità, ma il loro spessore è estremamente variabile. In una grotta hawaiana, ad esempio, è stato scoperto un rivestimento che presenta uno spessore di appena 2-5 cm, mentre nelle grotte di Tenerife, esso raggiunge i 20-30 cm. Questi rivestimenti, per definizione, rappresentano lava che non era sufficientemente fluida per defluire dal condotto, ma viscosa abbastanza da restare in posto anche sulle pareti e sulla volta, sebbene siano state osservate delle croste che si sono accartocciate al ritiro del fluido che occupava la parte interna del tubo. La temperatura della superficie esterna della crosta deve essere stata molto prossima alla temperatura alla quale cessava il movimento della lava, e la differenza di spessore tra croste di differenti cavità deve quindi riflettere variazioni rispetto allo stato di equilibrio del canale, determinate da riduzioni della pendenza lungo il suo perimetro. I rivestimenti si arrestano al contatto con unità di flusso laminari che hanno avuto un'espansione orizzontale e, a causa del loro contatto nettamente discordante, nelle cavità dove ciò è stato notato, si ritiene che l'ampliamento e l'approfondimento del canale (probabilmente con meccanismi quali l'asportazione di blocchi dalla parete rocciosa e la fusione, da parte della corrente di lava) avessero luogo prima che il canale si stabilizzasse (Wood, 1981, p.125-126). Così i rivestimenti delle pareti dimostrano anche che i fiumi di lava sono in grado di autoassestarsi.

Le ricerche hanno dimostrato che non soltanto la sezione trasversale di un corso d'acqua è determinata da fattori ambientali di carico e di portata, ma così pure avviene per il tracciato dell'alveo: tali assestamenti sono dati dalla

sinuosità e dalle ramificazioni. Anche sistemi di canali e tubi lavici assiali esibiscono sinuosità e ramificazioni.

La sinuosità è una caratteristica riconoscibile nei tracciati di ogni cavità (Fig.1a) ed è stata notata da un gran numero di ricercatori (ad esempio Hathaway ed Herring, 1970 e Greeley e Hyde, 1971).

Cruikshank e Wood (1972) hanno posto in evidenza che i meccanismi di tipo fluviale di erosione del fondo e delle sponde (fusione laterale e asportazione di blocchi di roccia dalla parete, specialmente sulle pareti esterne delle anse) possono operare sia in canali aperti, sia chiusi. Wood (1981, p.125-126) ha parimenti trovato le prove dell'erosione del canale in una cavità hawaiana. Profili asimmetrici nei condotti, analoghi ai profili trasversali nelle anse dei corsi d'acqua naturali, sono similmente comuni in tutte le cavità (tavola 2). Se è questo il caso, allora la sinuosità dei tubi lavici - come la sinuosità dei corsi d'acqua naturali - è una condizione di equilibrio risultante da assestamenti tra le molte variabili che regolano il flusso.

Anche il flusso attraverso canali ramificati sembra essere molto comune (Fig.3) nelle gallerie di scorrimento lavico, sebbene la correlazione tra forma e condizioni di flusso rimane sconosciuta.

Evoluzione del fronte della colata

Nel paragrafo precedente è stato ipotizzato, mediante paragoni con sistemi idrici, che i fiumi di lava pahoehoe che occupano tubi lavici assiali tendono ad assumere un profilo di equilibrio, che consente l'efficiente convogliamento di lava fluida dalla bocca al fronte della colata, senza significative perdite di temperature o mobilità. Al fronte, tuttavia, si ha un brusco cambiamento nelle caratteristiche del flusso, che riflette la ricerca di un equilibrio tra resistenza al moto e consumo di energia. Tecnicamente, il "perimetro bagnato" aumenta e vi è una più marcata incidenza dell'attrito, con conseguente perdita sia di energia termica, sia di energia meccanica. Il fronte rappresenta una zona di rapido accumulo in cui canali e tubi vengono ostruiti e, mentre il fronte avanza, si sviluppa un intricato sistema di piccoli tubi e canali in continua evoluzione.

Delta e conoidi di deiezione costituiscono gli analoghi dei fronti di colate in via di accrescimento, alimentati da flussi in condizioni di equilibrio che scorrono in un canale stabile. Infatti il delta "a piede d'uccello" del Mississippi è molto simile nella forma alla configurazione e al modello di espansione di una colata di lava pahoehoe (Fig.4).

Un approccio quantitativo teorico alla formazione dei delta fluviali fu portato avanti da Bates (1953) secondo la "teoria del getto", basata sulla descrizione che ne fece per primo Tollmein (1926). Bates ritenne che una corrente di flusso turbolento che si scarica dentro un grande bacino attraverso un orifizio stabile e ben definito è un getto libero, e quindi si ha un flusso a getto quando un grande fiume sfocia direttamente in un lago o in un oceano. Egli distinse tre possibili modelli di comportamento nell'afflusso verso un bacino, in funzione delle rispettive densità del fluido scaricante e del fluido del bacino. Due di questi comportamenti erano caratteristici del "getto piano", nei quali la miscelazione si verificava solo nel piano orizzontale, e l'altra era caratteristica del "getto assiale", nel quale la miscelazione avveniva nelle tre dimensioni. La formazione di un delta a piede d'uccello risultò dipendente dal modello di un getto di tipo piano, per portate di entità da moderata a grande.

Chiaramente, quando la lava fluida convogliata all'interno di uno stretto canale (o tubo lavico), nel quale mobilità e temperatura sono efficientemente mantenute, si spande su di un nuovo terreno (l'ipotetico bacino), non è capace di miscelazioni verticali e mostra le caratteristiche del getto piano descritte da Bates. L'applicazione della teoria del getto apre quindi la strada alla stimolante possibilità di prevedere i modelli di evoluzione di colate di lava pahoehoe.

Fig.1a -
Mappa della
Ainahou Ranch
Cave, Kilauea,
Hawaii (Dis. di
M.T. Mills)

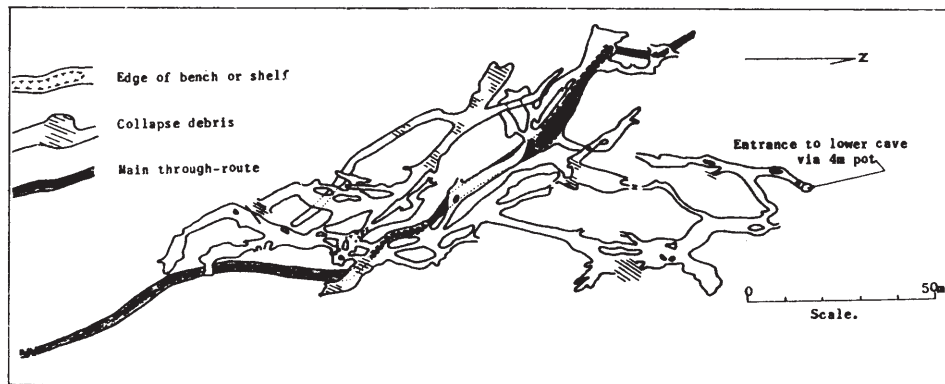
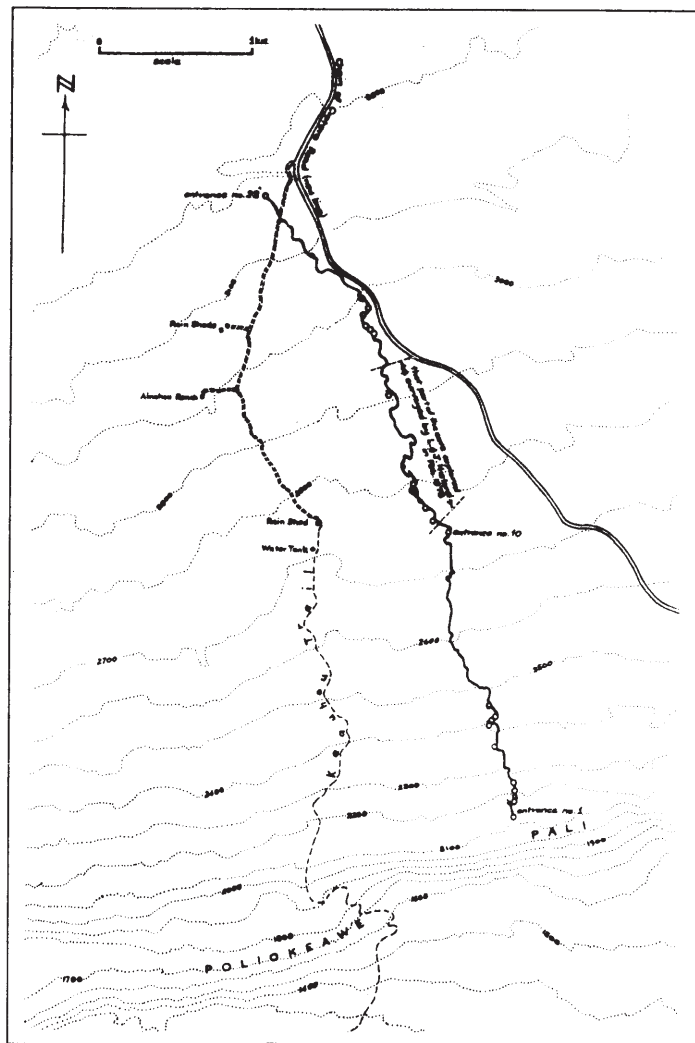


Fig.1b - Tracciato dei trabocchi nella Cueva del Viento, Tenerife.

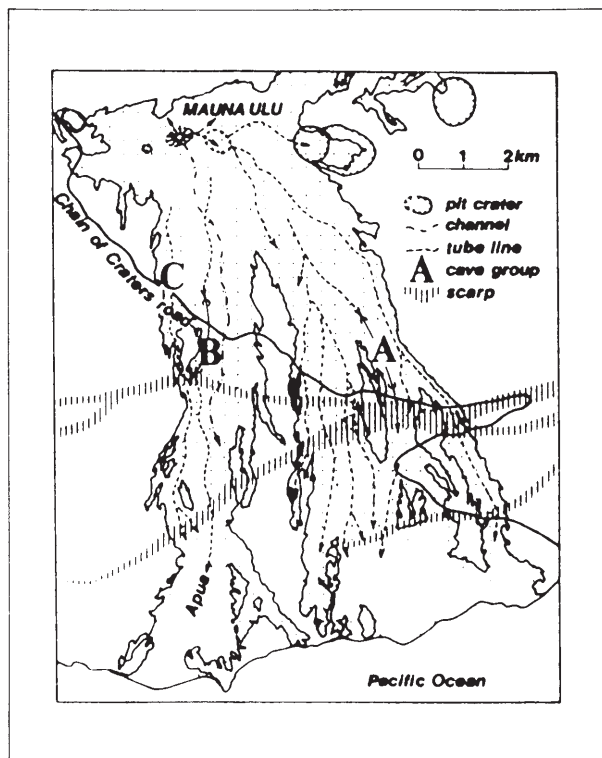


Fig.2 - Mappa del sistema di tubi del Mauna Ulu.

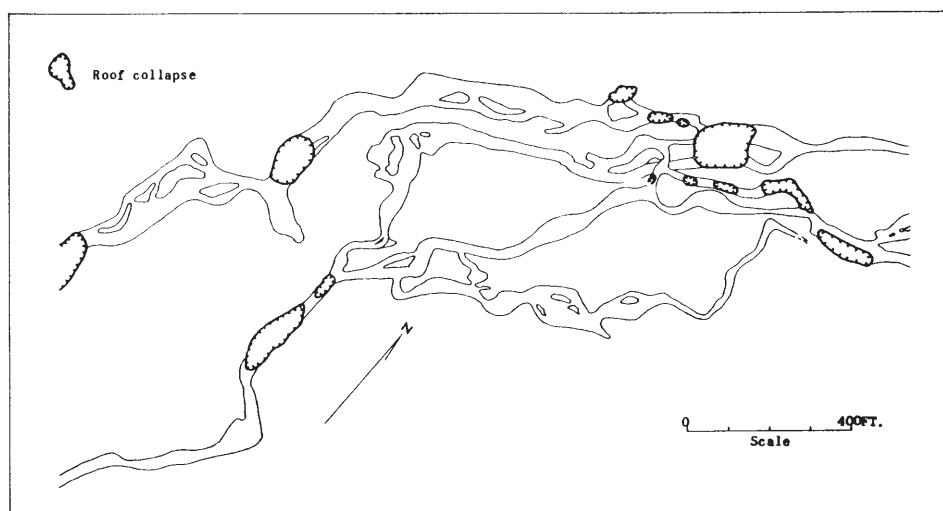
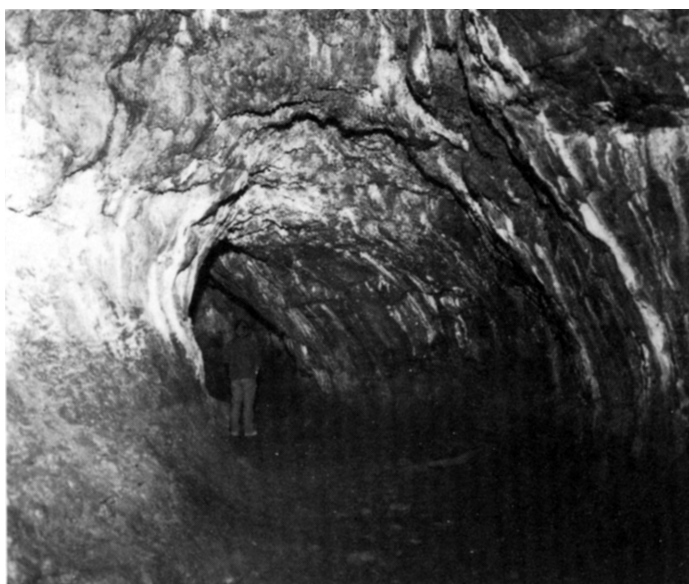
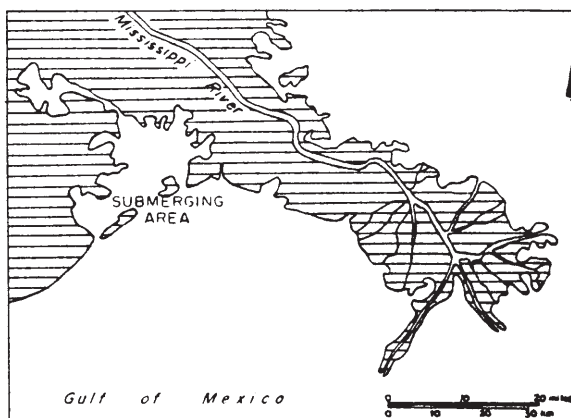


Fig.3 - Esempio di ramificazione in una galleria di scorrimento. Porzione del Labyrinth System, Monumento Nazionale dei Lava Beds, California. Rilevamento di Peck, Soper e Madaffer (Servizio dei Parchi Nazionali), 1963.

Fig.4 -
 Forma e rete di distribuzione del delta del Mississippi.



Tav.1 - Tubo non svuotato nella Gullborgarhraun, Islanda, che evidenzia lamine concentriche e strutture stratificate sulle pareti. (foto C.Wood)



Tav.2 - Sezione di condotto asimmetrico nella Borgarhellir, Gullborgarhraun, Islanda. (foto C.Wood)

Conclusioni

Le principali conclusioni da trarre da questa discussione sono:

1. I sistemi di tubi lavici sono frequentemente molto più complicati di quanto sia stato considerato dai geologi, e si può assumere che ognuno sia composto dai seguenti elementi: un lungo percorso assiale sinuoso, che è la parte normalmente occupata dal fiume di lava; complessi laterali di tubi che convogliano il flusso periodicamente, quando ondate provenienti dalle bocche causano traboccamenti dal percorso principale; complessi di tubi a quota più elevata, rimasti vuoti dopo la cattura del loro flusso da parte di percorsi sottostanti più antichi; una intricata regione deltizia di tubi distributori sul fronte della colata.
2. I sistemi di tubi lavici devono essere considerati come forme "assestate" o in equilibrio a causa della loro efficienza nella conservazione della temperatura e della mobilità del flusso interno lungo considerevoli distanze (40 Km ed oltre), e con pendenze trascurabili. In quanto tali, i flussi lavici sono paragonabili ai corsi d'acqua, poiché possiedono la capacità di auto-assestarsi. Determinate caratteristiche morfologiche, come canali lavici aperti o chiusi (tubi lavici), sinuosità dei canali, ramificazioni, rivestimenti di tubi lavici e catture di flusso, sono il risultato di processi costruttivi o distruttivi conseguenti all'incisione degli argini o all'erosione del letto. I sistemi di tubi lavici appaiono quindi molto importanti per l'evoluzione di alcune pianure basaltiche e dei vulcani-scudo di tipo hawaiano.
3. Poiché l'efficienza del flusso è ben mantenuta lungo tutta la lunghezza della colata, la lava fluida emerge dall'estremità del tubo assiale come un flusso a getto. L'improvviso incremento delle perdite di energia provoca il ristagno e la suddivisione della colata in rami distributori, come in un delta. Man mano che il fronte a delta avanza per continui accumuli, il tubo assiale si allunga attraverso la regione deltaica precedente. Viene così introdotto un nuovo modello sulla formazione di una colata, modello che è suscettibile di quantificazioni e sperimentazioni e consentirà la previsione dell'intensità della crescita frontale della colata mediante la futura applicazione della teoria del getto.

BIBLIOGRAFIA

- BATES, C.C. 1953. Rational Theory of Delta Formation: Bull. Amer. Assoc. Petr. Geol., 37(9), 2119-2162 (sept.).
- BOOTH, B. e SELF, S. 1973. Rheological Features of the 1971 Mount Etna Lavas: Phil. Trans. R. Soc. Lond., A, 274, 99-106.
- CRUIKSHANK, D.P. e WOOD, C.A. 1972. Lunar Rilles and Hawaiian Volcanic Features: Possible Analogies: The Moon, 3, 412-447.
- GREELEY, R. 1971b. Observations of Actively Forming Lava Tubes and Associated Structures, Hawaii: Modern Geology, 2, 207-223.
- GREELEY, R. 1972. Additional Observations of Actively Forming Lava Tubes and Associated Structures, Hawaii: Modern Geology, 3, 157-160.
- GREELEY, R. e HYDE, J.H. 1971. Lava Tubes of the Cave Basalt, Mount St. Helens, Washington. NASA Technical Memorandum, NASA TM X-62, 1-33.
- GURRIERI, G. 1933. Gallerie e Cavità nella Colata Lavica Etna del 1669: Atti Acc. Gioenia, Ser. 5, 20 (5), Catania.
- HATHEWAY, A.W. e HERRING, A.K. 1970. The Bandera Lava Tubes of New Mexico and Lunar Implications: Commun. Lunar and Planetary Lab., Univ. Arizona, 8 (4), 299-327.
- HULME, G. 1974. The Interpretation of Lava Flow Morphology: Geophys. Jour. R.

- LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G. e MILLER, J.P. 1964. Fluvial Processes in Geomorphology. San Francisco, W.H. Freeman and Company, 522p.
- MACDONALD, G.A. 1967. Extrusive Basaltic Rocks. Ch.1 in Hess, H.H. and Poldervaart, T.A. (Eds.), Basalts: the Poldervaart Treatise on Rocks of Basaltic Composition, 2 Vols. New York, Interscience.
- MACDONALD, G.A. e FINCH, R.H. 1950. The June 1950 Eruption of Mauna Loa: Weekly Bull. Hawaiian Volc. Obser., Volc. Letter, 509, p.2 (July-Sept).
- MALLANDRA, A. 1917. Grotta di Scolamento Lavico negli Efflussi Vesuviani del 1858: Boll. Soc. Naturalisti, 30 (31), Napoli.
- MORISAWA, M. 1968. Streams: Their Dynamics and Morphology. New York and London, McGraw-Hill Book Company, Earth and Planetary Science Series, 175p.
- PETERSON, D.W. e SWANSON, D.A. 1974. Observed Formation of Lava Tubes during 1970-71 at Kilauea Volcano, Hawaii: Studies in Speleology, 2 (6), 209-222.
- POLI, E. 1959. Genesi e Morfologia di alcune Grotte dell'Etna: Boll. della Soc. Geol. Italiana, 12, 452-463.
- PONTE, G. 1922. Gallerie di Scolamento Lavico dell'Etna: Boll. delle sedute dell'Accad. Gioenia di Sci. Nat. in Catania, 2 (51).
- RITTMANN, A. 1977. La Formazione delle Grotte Vulcaniche: Atti del Seminario sulle Grotte Laviche, 1975. Gruppo Grotte Catania, Sez. Etna del C.A.I., Catania, 1977.
- ROBERTSON, E.G. e PECK, D.L. 1969. Thermal Conductivity of Vesicular Basalt: Amer. Geophys. Union Trans., 50 (4), p.339.
- SPARKS, R.S.J.; PINKERTON, H. e HULME, G. 1976. Classification and Formation of Lava Levees on Mt. Etna, Sicily: Geology, 4 (5), 269-271 (May).
- SWANSON, D.A. 1973. Pahoehoe Flows from the 1969-1971 Mauna Ulu Eruption, Kilauea Volcano, Hawaii: Geol. Soc. Amer. Bull., 84, 615-626 (feb.).
- TOLLMEIN, W. 1926. Berechnung Turbulenter Ausbreitungsvorgänge: Zeitschrift fuer Angewandte Mathematik und Mechanik, 6, p.468.
- WENTWORTH, C.K. 1954. The Physical Behaviour of Basaltic Lava Flows: Jour. Geol., 62 (5), 425-438.
- WOOD, C. 1978. Lava Tubes: Their Morphogenesis and Role in Flow Formation: Unpublished Ph.D. Thesis, Leicester University, England.
- WOOD, C. 1981. Exploration and Geology of some Lava Tube Caves on the Hawaiian Volcanoes: Trans Brit. Cave Res. Assoc., 8 (3), 111-129.

PRIMO CONTRIBUTO ALLA CONOSCENZA DEL FENOMENO VULCANOSPELEOLOGICO IN CONTRADA GUARDIOLA CANTARELLA (S. GREGORIO DI CATANIA - SICILIA)

F. CAVALLARO - Gruppo Grotte Catania C.A.I. Sez. dell'Etna, Catania

G. PUGLISI - Gruppo Grotte Catania C.A.I. Sez. dell'Etna, Catania

A. TRANCHINA - Istituto di Scienze della Terra, Università di Catania

Riassunto

Il presente lavoro prende in esame un'area ubicata nel basso versante sud-orientale dell'Etna, nelle immediate vicinanze della città di Catania.

Questa è caratterizzata da un insolito addensamento di cavità (dodici in un'area di circa un Km²), le quali sono da tempo oggetto di studio. Tuttavia, finora manca uno studio che confrontando i dati in possesso, fornisca uno schema, anche se non dettagliato e definitivo, dell'evoluzione del fenomeno vulcanospeleologico nell'area. Ciò è quanto gli Autori si sono proposti col presente lavoro, prendendo in esame nove delle dodici cavità che, per le loro caratteristiche e localizzazione topografica, sono state ritenute le più interessanti.

Morfologicamente l'area in esame è caratterizzata da un terrazzo marino delimitato a monte e a valle da due scarpate. Le cavità esaminate nel presente studio sono localizzate sulla morfologia pianeggiante del terrazzo.

Un rilevamento geologico di dettaglio in scala 1:2000, dell'area in esame ha messo in evidenza che questa è interessata, in epoche diverse, da due distinte colate, delle quali l'una messasi in posto in epoca preistorica e l'altra tra il 122 a.C. ed il 252 d.C.. In queste colate si sviluppano le cavità oggetto del presente studio. Nell'area affiorano inoltre lave riferibili ad episodi eruttivi avvenuti fra 80.000 e 200.000 anni addietro, poggianti su terreni sedimentari del Pliocene inf.medio.

Il presente studio ha consentito di osservare una marcata differenza delle morfologie interne tra le cavità che si sviluppano nell'una e nell'altra colata. Sono state così individuate due associazioni di morfotipi dei quali viene fatta una dettagliata descrizione e per le quali viene proposto un modello evolutivo.

La sintesi di tutti i dati raccolti ha consentito di evidenziare che le caratteristiche fisiche e chimiche delle colate in esame, hanno regolato le morfologie e l'evoluzione delle singole cavità, mentre le caratteristiche topografiche dell'area sono quelle che hanno definito la localizzazione spaziale del fenomeno vulcanospeleologico.

A riprova di quest'ultima affermazione va notato che le due colate, sebbene di età differenti e con caratteristiche diverse hanno dato luogo alla formazione di tunnel di lava nella stessa area.

Summary

This paper considers an area located on the low S.E. slope of Mt. Etna, in the close vicinity of Catania.

The area is characterized by an unusual number of caves (12 in the space of about 1 sq. Km.), which are for some time under investigation. However an up-to-date study is missing, to detect (even approximately) the evolution of the vulcanospeleological phenomena in the area through the comparison of the acquired data.

The Authors intend to reach this goal in the present paper, by an analysis of nine caves, which have been considered the most interesting among the 12 ones

owing to their topographic location and features.

The examined area is morphologically characterized by a marine terrace, bordered upslope and downslope by two scarps. The caves considered in the paper are located on the flattish morphology of the terrace. A detailed geological survey (1:2000 scale) of the area outlined that the latter was affected, in two different times, by two different lava flows.

The first flow was emplaced in prehistoric age, while the second emplacement is dated in a period between 122 B.C. and 252/523 A.C. These flows contain the examined caves. In the area outcrop also lavas attributable to eruptive episodes dated between 80.000 and 200.000 years B.P., lying on sedimentary grounds of the lower and middle Pliocene.

This study enabled the Authors to observe a marked difference between the inner morphologies of the caves located in the two lava flows. The associations of morphotypes have been identified; for both of them a detailed description is given and an evolutionary model is suggested.

By the synthesis of all collected data it is possible to outline that the physical and chemical features of the examined flows controlled the morphology and evolution of each cave. On the other hand, the topographical features in the area controlled the emplacement and distribution of the volcanospeleological phenomena.

Though their different ages and characteristics, it must be noted that the two flows formed lava tube caves in the same area, as an evidence of this.

N.d.R.

Non essendo pervenuto agli organizzatori il testo scritto della comunicazione, la stessa non viene inclusa negli Atti; la registrazione della stessa rimane tuttavia a disposizione degli interessati, per l'ascolto, presso la sede del Centro Speleologico Etneo.

GRUPPI DI GROTT E MECCANISMI DI ESPANDIMENTO DI CAMPI DI COLATE LAVICHE ALIMENTATE DA TUBI

C. WOOD - Yorkshire Dales National Park, Grassington, England

Riassunto

Le gallerie di scorrimento tendono a formarsi in gruppi. L'analisi di questi gruppi di cavità dimostra che nei campi di colate alimentate da tubi operano differenti meccanismi di spandimento.

Questo lavoro descrive la morfologia, e le modalità di spandimento ipotizzate per quattro differenti campi di lava.

Summary

Lava tube caves tend to occur in groups. Analysis of these cave groups provides evidence for different modes of emplacement of tube-fed flow fields.

This paper describes the morphology and proposed mode of emplacement of four such contrasting flow fields.

Introduzione

Le gallerie di scorrimento lavico tendono a formarsi in gruppi all'interno di singoli campi lavici ed un problema da risolvere frequentemente da parte del ricercatore è quello di trovare la relazione tra una cavità ed un'altra, e il ruolo del gruppo di cavità nello spandimento della colata. Questo lavoro, descrivendo brevemente quattro gruppi di grotte in differenti campi lavici, mostra come lo studio delle cavità faciliti l'interpretazione della sistemazione delle colate, e attira l'attenzione sulla gamma di morfotipi basaltici nei quali si riscontrano gallerie di scorrimento lavico.

Unità di flusso e tubi lavici

La relazione genetica tra unità di flusso e tubi lavici è stata discussa dall'autore in precedenza (Wood, 1978, pp.58-91). Da un'analisi delle strutture di cinque campi lavici alimentati da tubi, egli individuò due tipi di unità di flusso: unità laminari e unità a forma di lingua. Ciascun tipo rappresenta una differente espansione di lava mobile su nuove superfici, o sopra unità formatesi in precedenza, durante il corso di una singola eruzione. Una singola colata di lava sarà dunque costituita da unità formatesi successivamente, di forma e dimensioni variabili.

In base all'esperienza dell'autore, le unità di flusso laminari hanno un'ampiezza variabile, e possono presentare da 6 cm a 2,5 m di spessore.

Esse sembrano derivare da un flusso diffuso di durata relativamente breve, o di portata moderata, proveniente da periodici trabocchi da bocche eruttive e/o da canali. Pertanto è possibile riscontrare ampie unità di flusso laminari intorno a bocche effusive e ai lati di canali aperti, e grandi gallerie di scorrimento (originatesi probabilmente da canali aperti - vedi oltre). Le unità di flusso laminari non formano tubi lavici.

Le unità di flusso a "forma di lingua" sono il prodotto di un flusso più concentrato in senso longitudinale, piuttosto che disperso in senso areale, e sono alimentate esclusivamente da tubi o canali. Nella loro forma più semplice queste unità sono note come digitazioni pahoehoe, o possono presentarsi come vaste estensioni lobate del fronte della colata, come è stato classicamente descritto da Nichols (1936). Un tubo si sviluppa durante la fase di allungamento dell'unità, che viene racchiusa in un guscio esterno indurito (Wentworth e Macdonald, 1953; Macdonald, 1967 e 1972; Peterson e Swanson, 1974). Queste unità di flusso a forma di lingua, più piccole, sono facilmente identificabili nelle esposizioni di colate raffreddate, grazie alle loro forme ellissoidali e al loro tubo assiale che può essere o non essere riempito (Fig.1).

Lingue più grandi, tuttavia, possono raggiungere lunghezze di molti chilometri, e possono di fatto costituire un intero campo lavico. Esse presentano una struttura composita, consistente di molti fogli e lingue più piccoli.

Ogni grande unità di flusso a forma di lingua è il prodotto di un cospicuo efflusso dalla bocca eruttiva, e si sviluppa dopo che una colata inizialmente dispersa viene convogliata in un canale (per esempio, come descritto da Peterson e Swanson, 1974, p.211 - vedere anche il secondo lavoro dello scrivente in questi Atti). Cruikshank e Wood (1972) hanno affermato che, una volta formatosi il canale, la sua sezione diviene più pronunciata a causa di deposizioni di lava per traboccamento, e possibilmente per via di una certa erosione del letto. Infine, un'eccessiva perdita di calore, dalla lava fluente verso l'atmosfera, provoca la progressiva formazione di una volta, trasformando il canale in un tubo (Fig.2).

Come visualizzato dall'autore (Wood, 1978 e 1981), un sistema di tubi lavici che alimenta una grande unità di flusso a forma di lingua, consiste in un tubo principale lungo, sinuoso, parzialmente ramificato, allineato con l'asse dell'unità, il cui fronte termina in una specie di delta ramificato di tubi e canali minori. Complessi di tubi più piccoli che fiancheggiano il tubo assiale fungono da sfioratori di livello quando improvvisi aumenti di portata del fluido colmano il tubo più grande, mentre il flusso dei tubi soprastanti sarà stato "catturato" dal collettore principale. Si è quindi immaginato che, quando il fronte della lingua di lava avanza per successive protrusioni di piccole unità lobate, il tubo alimentatore assiale si estende attraverso i delta lavici di più recente formazione, catturando la colata dispersa e provocando l'ostruzione di molti tubi più piccoli.

Le grandi unità di flusso a forma di lingua sono quindi strutturalmente complesse, e con ogni probabilità in questa sede sono state semplificate eccessivamente. Tuttavia, ai lati del canale o del tubo assiale, si trovano potenti ammassi di unità laminari (normalmente osservabili nelle pareti dei canali e in grandi segmenti di cavità in cui il rivestimento lavico è crollato), intersecati da piccole occasionali unità a forma di lingua, che in assoluto rappresentano successivi trabocchi del canale (Foto 1). D'altronde, lungo gran parte dell'unità, alla sua base e ai suoi margini, l'esposizione di sezioni trasversali rivela molte unità di flusso minori a forma di lingua, che rappresentano le estensioni lobate del fronte in movimento (Foto 2).

Le unità di flusso laminari, e quelle a forma di lingua, sono il materiale da costruzione dei campi lavici, e la conoscenza delle loro forme e strutture consente l'interpretazione della genesi delle grotte e dell'espandimento delle colate.

Grotte dell'Hallmundarhraun, Islanda centro-occidentale

L'Hallmundarhraun é un singolo, grande campo di lave a forma di lingua, del tipo descritto in precedenza. Esso é lungo 38 Km e mai piú ampio di 7 Km, e fu emesso nel 775 d.C. \pm 100 anni (Saemundsson, 1966) da due, o possibilmente tre, bocche eruttive situate nei pressi del bordo occidentale della copertura glaciale Langjokull (Atkins, 1971).

Tre grandi gallerie di scorrimento lavico - Vidgelmír, Surtshellir e Stephánshellir - complessivamente circa 6 Km di lunghezza, sono allineate lungo l'asse della colata nella sua parte distale, nel tratto in cui essa é decisamente confinata nella valle sovraescavata del fiume Nordingarfljot (Fig.3). La colata lavica, nella zona delle grotte, é larga solo 1-2 Km, e presumibilmente riempie la valle per una considerevole profondità. Queste sono le cavitá islandesi meglio sviluppate e piú frequentemente visitate, ma nonostante le numerose esplorazioni di geologi e speleologi, non sono state trovate altre cavitá di uguale estensione nelle restanti parti della colata.

Il crollo che costituisce l'unico ingresso di Vidgelmír si trova a 33 Km dalle bocche effusive, ed é il piú distante da esse. L'enorme, sinuoso, unico condotto della grotta, lungo 1,59 Km é allineato col centro della colata. Surtshellir (2,2 Km) e Stephánshellir (2 Km di lunghezza) sono probabilmente parti di una singola cavitá interrotta da un crollo della volta. Queste cavitá sono anche situate nella parte centrale della colata, sebbene il collasso a valle nella volta di Surtshellir (la cavitá a valle) é situato 28 Km oltre le bocche eruttive, e 5 km a monte dell'ingresso di Vidgelmír. Surtshellir consiste in un condotto sinuoso di grandi dimensioni, dal quale divergono e nel quale confluiscono una serie di diramazioni. I pavimenti dei condotti laterali sono situati 3 m piú in alto del pavimento del condotto principale, dando l'impressione che quest'ultimo abbia intersecato gli altri. Stephánshellir si presenta in maniera diversa da Vidgelmír o Surtshellir, poiché il suo condotto principale é meno voluminoso ed ha una topografia relativamente complessa e ramificata.

Il gruppo di cavitá di Hallmundarhraun ha tutte le caratteristiche per essere considerato come il relitto di un tubo alimentatore assiale svuotato. Esso si adatta bene al modello fornito dall'autore (Wood, 1978 e 1981), poiché presenta un collettore di grande ampiezza, sinuoso e ramificato, insieme ad alcuni tubi laterali di trabocco nella sezione Surtshellir.

Si ritiene dunque che le tre cavitá abbiano preso origine da un singolo sistema di tubi lavici che si estendeva per tutta la lunghezza della colata. L'autore ha preliminarmente mostrato (Wood, 1977) che il drenaggio delle cavitá é in relazione con la pendenza variabile della colata. L'Hallmundarhraun, nella valle del Nordingarfljot, é disposta a gradoni. Al cessare dell'attività delle bocche, il piú rapido svuotamento del tubo sull'alzata di ogni gradone (a valle di Vidgelmír e tra Vidgelmír e Surtshellir) significó che si era creato un certo spazio in seguito al drenaggio del fluido residuo dalle parti del sistema di tubi situate sulle pedate del gradone. Probabilmente il drenaggio agí anche in altre parti del sistema, ma queste rimangono nascoste finché un crollo nella volta non aprirá un'ingresso per l'esplorazione.

Grotte nelle lave del Mauna Ulu, Kilauea, Hawaii

Il campo di lava del Mauna Ulu é il prodotto di un abbondante efflusso di lava, che fu emessa dalla parte piú elevata della rift-zone orientale del vulcano Kilauea, fra il 1969 e il 1974. L'effusione provocó la formazione di un nuovo rilievo vulcanico avventizio a scudo, a cavallo della frattura, e sviluppó un campo lavico composto da sovrapposizioni di grandi unitá di flusso a forma di lingue.

Durante l'eruzione fu osservata l'attività di tubi alimentatori che si estendevano fra la bocca e i fronti avanzanti (Greeley, 1971 e 1972; Cruikshank e Wood, 1972; Swanson, 1973; Peterson e Swanson, 1974; Holcomb, Peterson e Tilling, 1974), e i loro tracciati furono rilevati piú tardi, durante il rilievo topografico, da parte di Holcomb (1976), del campo di lave raffreddato. In seguito l'autore ha riportato sulla mappa i segmenti esplorabili delle cavitá

della colata (Wood, 1981).

Nella lava del Mauna Ulu furono localizzati quattro gruppi di brevi cavitá, in totale oltre 3 km di condotti (Fig.4). Ogni gruppo presentava le caratteristiche di un tubo assiale alimentatore, e le loro ubicazioni coincidevano con i tracciati dei tubi alimentatori sulla mappa di Holcomb. Cosí, ogni sistema di tubi alimentava una unitá di flusso a forma di lingua di maggiori dimensioni, sebbene sia anche evidente che alcuni tubi, in unitá di flusso formatesi in precedenza, catturarono il flusso dai tubi o da unitá successive.

Il campo di colate del Mauna Ulu é differente dall'Hallmundarhraun poiché, invece di un singolo, voluminoso tubo alimentatore, esso presenta un complesso sistema di tubi divergenti nel quale ogni ramo maggiore alimentava una lunga unitá a forma di lingua. Sebbene alcuni di questi tubi cessarono di funzionare prima della fine della eruzione, che duró cinque anni, alcuni funzionarono simultaneamente. Non c'è dubbio che se la lava si fosse riversata in un'ampia vallata, anche essa avrebbe generato un singolo tubo alimentatore assiale.

Cavitá del Gullborgarhraun, Snaefellnes, Islanda

Il Gullborg é uno dei sei piccoli scudi lavici monociclici, ubicati sul pavimento di Hnappadalur, nella penisola dello Snaeffells, Islanda. Nella forma lo scudo é del classico tipo "Eldborg" (per coincidenza il vulcano-tipo, Eldborg, é un membro di questo gruppo), avendo la forma di un piatto capovolto, del diametro di 2-3 Km, e sormontato da un ripidissimo cratere formato da scorie e spruzzi di materiale saldato. Il campo di lava é noto come Gullborgarhraun, e raggiunge lo spessore, al di sotto dell'area sommitale, di circa 60 m. L'espandimento del campo di lava non fu uniforme, poiché tre lunghe unitá di flusso, a forma di lingua, si estendono rispettivamente verso S-O, N-O e N-E. A parte i tubi di lava, i canali che si dipartivano dal lato orientale e da quello occidentale del cratere, ebbero un ruolo importante nel convogliare la lava fluida lontano dalla bocca.

Il gruppo di cavitá é composto da quattro grotte molto diverse. Due di queste - Íshellir e Thrihellir (rispettivamente della lunghezza di 120 m e 365 m) - sono ciò che rimane di una complessa combinazione di tubi sovrapposti, sviluppatisi all'interno di una conoide di deflusso sotto la frattura occidentale dell'orlo craterico. Questi piccoli tubi sovrapposti, intercomunicanti per mezzo di cascate di lava, hanno un termine di paragone negli strati multipli di tubi intercomunicanti notati nella zona effusiva, durante l'eruzione del Mauna Ulu sul Vulcano Kilauea (Peterson e Swanson, 1974). La piú grande grotta del gruppo é Borgarhellir. Questa grotta é lunga 670 m, e rappresenta la parte drenata di un grande tubo alimentatore. L'ampiezza della sua sezione trasversale, la sua profonditá all'interno della colata, la posizione e l'orientamento dentro una cresta allungata all'estremitá della grande unitá di flusso nord-occidentale, fanno ritenere che essa abbia svolto le funzioni di principale condotto di alimentazione per questa unitá. La quarta cavitá - Vegghellir (320 m di lunghezza) - giace proprio accanto a Borgarhellir, ma é caratterizzata da un orientamento leggermente differente, non si trova alla stessa profonditá nella colata e non é ampia come la sua vicina. La grotta é un singolo condotto nel quale molta parte del tubo originario é andato distrutto per progressivo sgretolamento. L'orientamento di Vegghellir fa ritenere che essa può aver convogliato la lava in movimento verso l'unitá di flusso nord-orientale.

Le relazioni rilevate tra la posizione delle cavitá, il cratere eruttivo, i due canali lavici aperti e le maggiori unitá di flusso, ha consentito una ricostruzione dello spandimento di questo campo di lava (Wood, 1978, pp.145-163). Lo scudo lavico si formó come prodotto di simultanei trabocchi dal cratere e dai canali lavici, e di una distribuzione radiale di lava mobile dalle bocche attraverso canali e tubi. Il campo lavico é quindi composto da unitá di flusso a forma di lingua che si diramano e si sovrappongono, e le cui radici si saldano e si intrecciano con estese unitá laminari attorno alla bocca e ai canali superiori.



Foto 1 - Digitazioni pahoehoe con tubi, lave Mauna Ulu, Hawaii.



Foto 2 - Finestre nelle lave Mauna Ulu del 1971 mostranti trabocchi di unità a foglio.

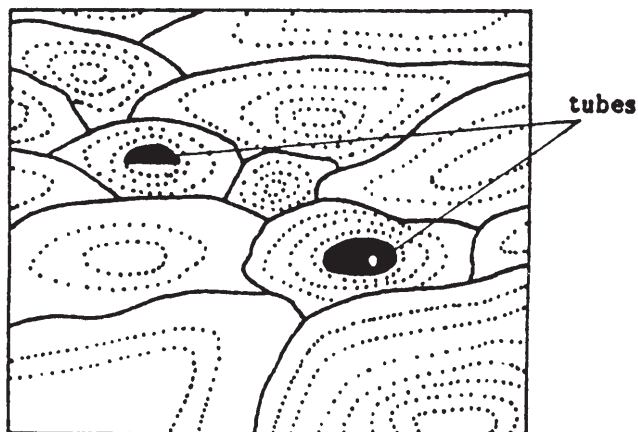


Fig.1 - Sezione trasversale idealizzata di digitazioni pahoehoe secondo Macdonald.

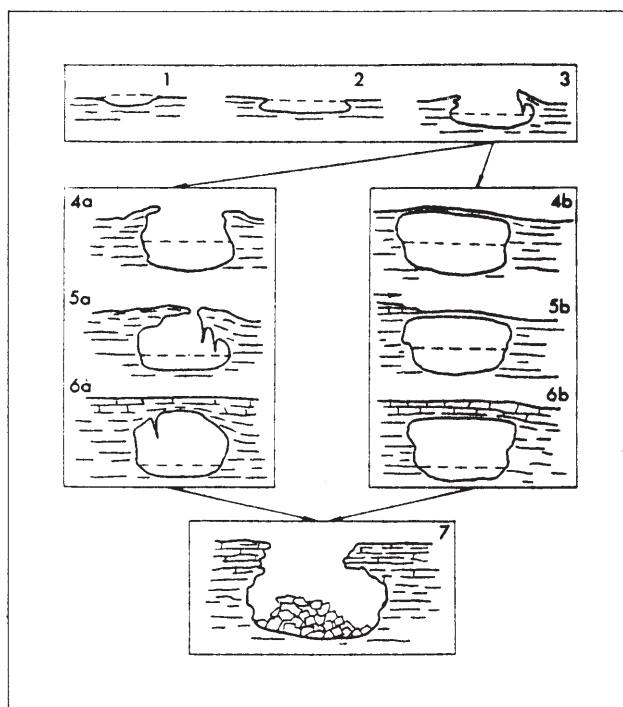


Fig.2 - Lo sviluppo di volte coprenti secondo Cruikshank e Wood (1972). "In 1-3 una sottile colata sviluppa argini laterali tramite spruzzi lungo i suoi margini e intagliando lentamente le pareti del canale. Negli stadi 4a-6a, gli spruzzi laterali si accrescono fino a congiungersi e vengono poi coperti da flussi di superficie. Negli stadi 4b-6b una crosta superficiale sulla lava fluente si salda e cresce con le modalità descritte da Wentworth e Macdonald (1953), fino ad essere coperte da flussi superficiali. Lo stadio 7 mostra una forma di collasso della volta di un tubo lavico spesso osservata ad Hawaii, generando lunghe trincee con pavimenti ingombri di sfasciumi, o catene di craterini circolari o allungati.

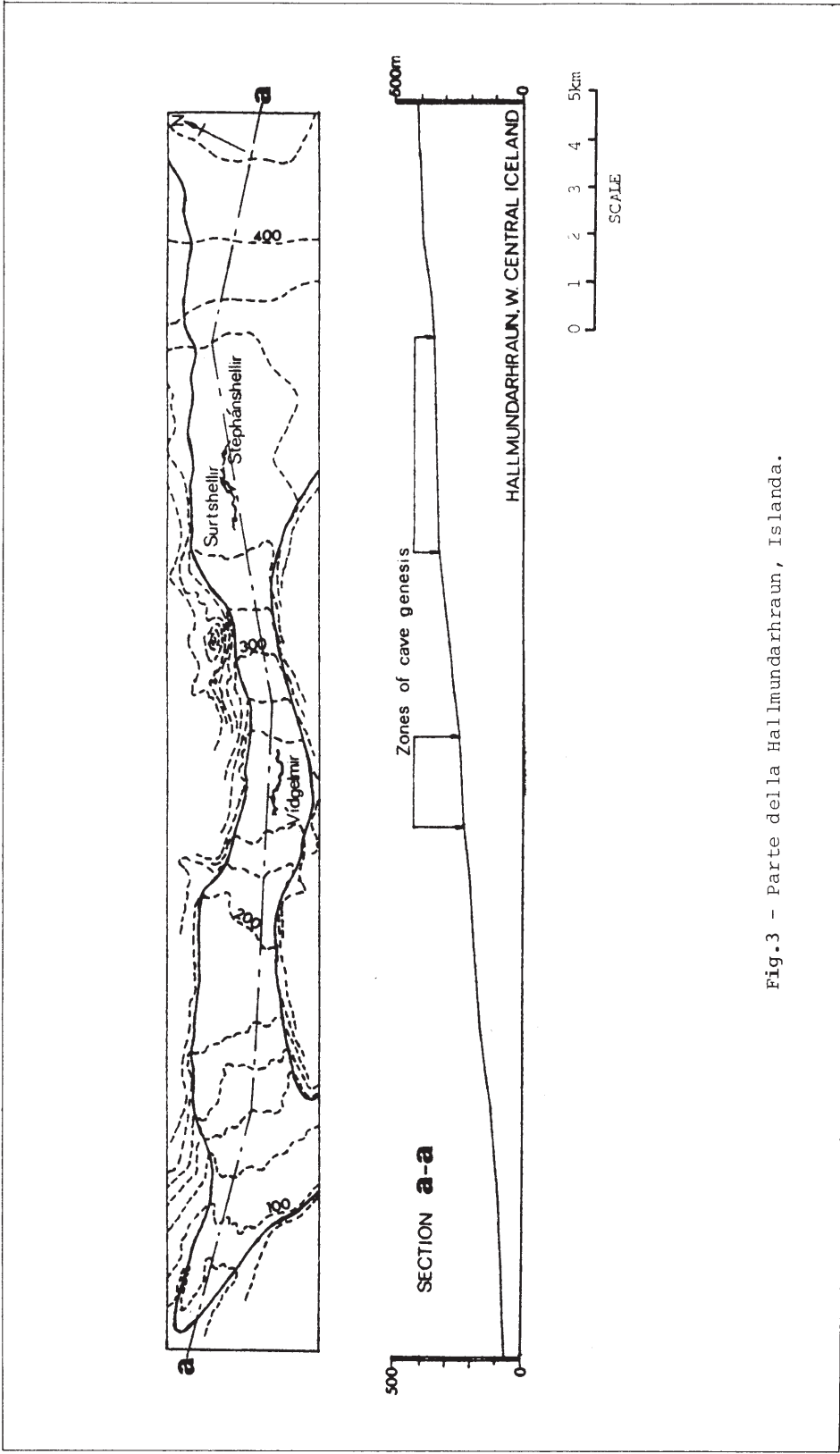
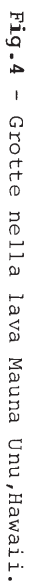


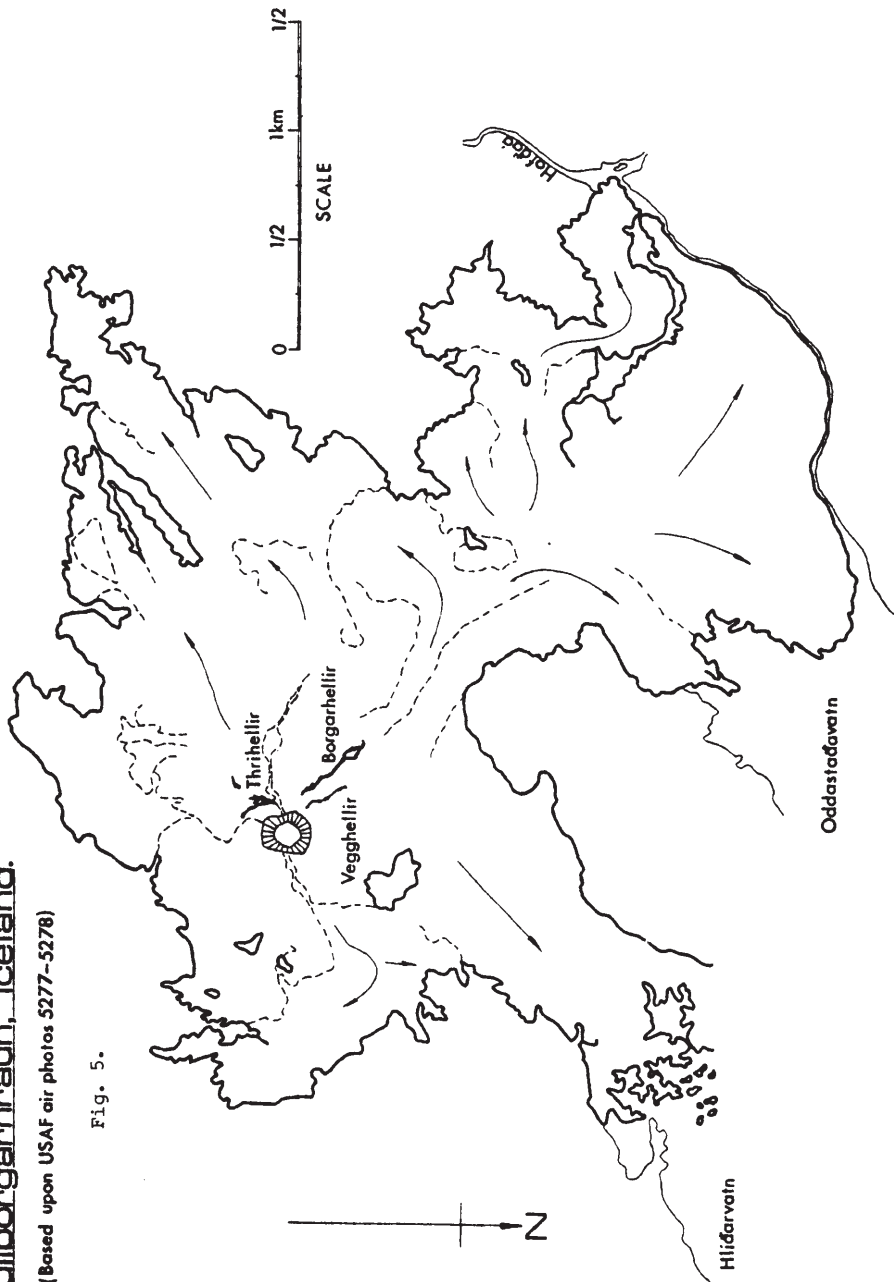
Fig.3 - Parte della Hallmundarhraun, Islanda.



Gullborgarhraun, Iceland.

(Based upon USAF air photos 5277-5278)

Fig. 5.



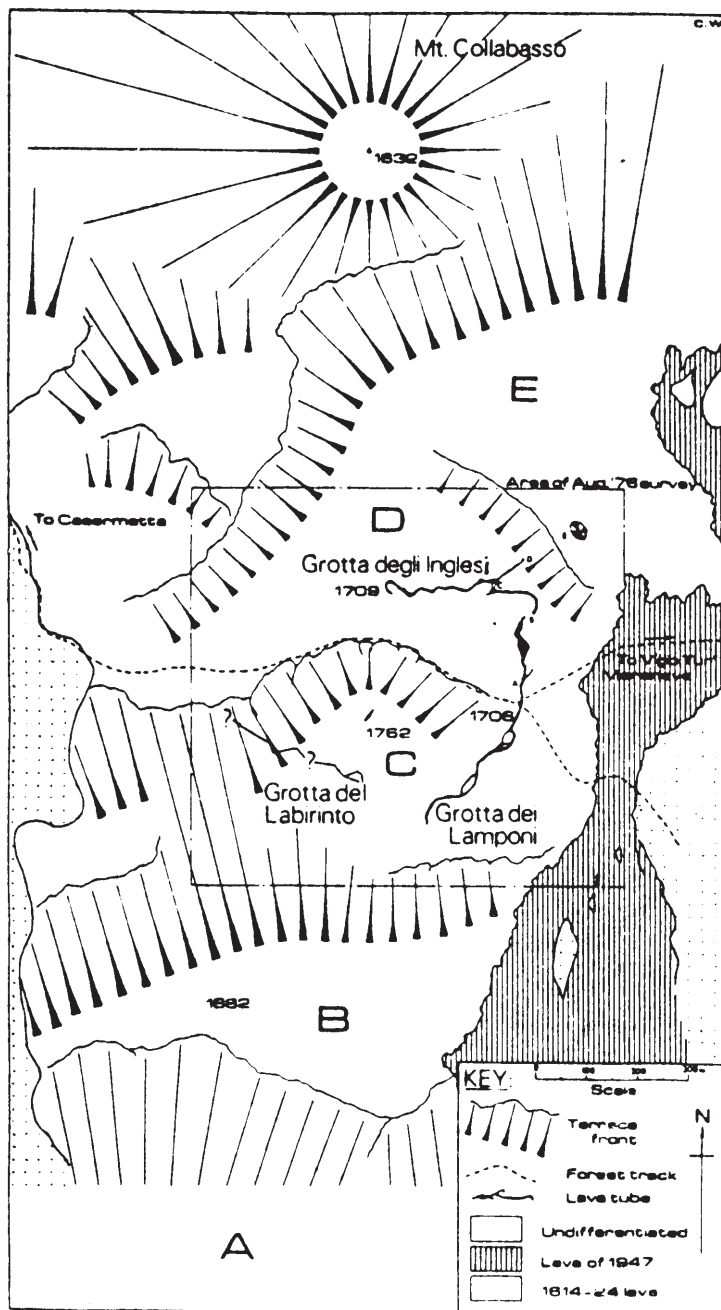


Fig.6 - Terrazze e cavità da tubi lavici sulla parte orientale della colata lavica del 1614-24, M.Etna (rilievo basato principalmente su fotografie da satellite).

Cavit  della colata lavica del 1614-24, M.Etna, Sicilia

Il campo delle lave del 1614-24   il pi  complesso fra quelli descritti in questo lavoro, dal momento che le sue unit  di flusso alimentate da tubi differiscono significativamente nella loro morfologia e formazione da quelle degli altri campi lavici descritti in precedenza. Una pi  dettagliata descrizione della geologia della colata del 1614-24   data da Guest, Greeley e Wood altrove in questi Atti.

L'effusione che inizi  nella met  del 1614 dal rift nord-orientale dell'Etna, produsse in volume uno dei maggiori campi lavici del vulcano. Tre unit  di flusso maggiori si svilupparono a ventaglio, ed ogni unit  si estese per 7 Km o pi  sul versante settentrionale del vulcano. Il campo lavico   degno di nota specialmente a causa della sua insolita morfologia. In primo luogo, gran parte di esso ha una tessitura di lava pahoehoe, caratteristica insolita sull'Etna. Ancora, alcune parti sono caratterizzate da terrazzamenti lavici, i cui fronti vanno da 20 a 150 m di altezza, mentre altre parti sono coperte da grandi strutture a forma di cupola, alte fino a 130 m, che sono state chiamate "mega-tumuli" da Guest, Greeley e Wood.

Nella colata del 1614-24 si conoscono 6 cavit  principali, per  due di queste, poste ad una quota intermedia, sono state solo superficialmente esaminate dall'autore. Di esse la Grotta di Aci, situata a 2150 m di altitudine,   lunga approssimativamente 0,5 Km ed   evidentemente solo un segmento di un pi  grande tubo alimentatore (sebbene la sua relazione con la struttura della colata non sia conosciuta), mentre la Grotta del Gelo (2030 m s.m.)   un breve tubo riempito di ghiaccio e di forma indefinibile.

Le altre quattro cavit  sono tutte concentrate in una piccola parte dell'unit  di flusso orientale, denominata come Lava del Passo dei Dammusi. La grotta pi  piccola - Pozzo superiore -   una sala profonda 8 m, situata nel punto pi  alto di una delle terrazze laviche. Leggermente a monte, tuttavia giacente appena al di sotto della superficie della stessa terrazza, vi   il tortuoso complesso di tubi, della lunghezza di oltre 1 km, che si intersecano fra loro e che costituiscono la Grotta del Labirinto. La cavit  pi  nota e pi  grande   la Grotta dei Lamponi, anch'essa con origine sulla terrazza del Pozzo Superiore, vicino a quella della Grotta del Labirinto. Questa cavit    lunga oltre 780 m e consiste in un unico grande condotto, ramificato nella sua parte a monte. La parte a valle del tubo   stata notevolmente danneggiata da sgretolamento. La Grotta dei Lamponi   interessante perch  si origina nella terrazza del Pozzo superiore, e se ne allontana, mentre la sua met  a valle   sepolta ad una notevole profondit  (a pi  di 50 m nella parte terminale) sotto la vicina terrazza pi  bassa, contenente la quarta cavit  - Grotta degli Inglesi. La Grotta degli Inglesi comprende 565 m di passaggi esplorabili. In pianta essa ha la forma di una lettera Y, ed un orientamento che   in generale a 90 gradi rispetto a quello della Grotta dei Lamponi. Lo stelo della Y e il ramo di sinistra (a valle) si sviluppano apparentemente su un livello pi  alto, all'interno della terrazza, rispetto al ramo di destra, dal momento che questi condotti sono separati da un dislivello di 20 m. Il braccio pi  alto termina di fronte all'inizio della terrazza, mentre il ramo pi  basso discende e curva gradualmente fino a tendere verso monte. Pu  sembrare che il braccio inferiore comunicasse originariamente con la parte a valle della Grotta dei Lamponi, ma quando sono stati visti in sezione quotata si   osservato che questi rami sono separati verticalmente da almeno 30 m di dislivello.

I tubi lavici si formarono apparentemente da bocche secondarie indipendenti, e per buona parte dei dieci anni dell'eruzione il campo delle lave del 1614-24 deve essere consistito di un grande campo di bocche effimere. Le relazioni spaziali tra le cavit  nella Lava del Passo dei Dammusi hanno consentito la ricostruzione delle relative et  e quindi dell'et  delle terrazze nelle quali le grotte sono contenute. Con questi presupposti, le terrazze, che possono essersi formate come laghi di lava ognuno trattenuto da uno sbarramento di detriti, si sono formate progressivamente verso valle. Considerando l'intero campo lavico, le terrazze sfumano in mega-tumuli. Si pensa allora che un mega-tumulo si sia formato dopo che la lava, spinta da una considerevole pressione idrostatica all'interno di un sistema di tubi, ha gonfiato un terrazzo, provocando l'inclinazione verso dietro della sua superficie e lo scolamento di lava fluida che ha addolcito la pendenza del fronte della terrazza, e in parte della superficie inclinata.

BIBLIOGRAFIA

- ATKINS F.B. 1971 The Geology of the Eiríkjökull Region, West Central Iceland: British Schools Exploring Society Report 1969-1971, 104-111.
- CRUIKSHANK D.P. e WOOD C. A. 1972 Lunar Rilles and Hawaiian Volcanic Features: Possible Analogies; The Moon, 3, 412-447.
- GREELEY R. 1971 Observations of Actively Forming Lava Tubes and Associated Structures, Hawaii; Modern Geology; 2(3), 207-223.
- GREELEY R. 1972 Additional Observations of Actively Forming Lava Tubes and Associated Structures, Hawaii; Modern Geology 3 (3), 157-160
- HOLCOMB R.T. 1976 Preliminary Map Showing Products of Eruptions, 1962-1974 from the Upper East Rift Zone of Kilauea Volcano, Hawaii; USGS Misc. Field Studies, Map MF-811, 1:24,000.
- HOLCOMB R.T., PETERSON D.W. e TILLING R.I. 1974 Recent Landforms at Kilauea Volcano; Hawaiian Planetology Conference Guidebook (Ed. Greeley, R.) NASA/Ames Research Centre, pp 49-86.
- MACDONALD G.A. 1967 Extrusive Basaltic Rocks. Ch. 1 in Hess, H.H. and Poldervaart T.A. (Eds), Basalts: the Poldervaart Treatise on Rocks of Basaltic Composition, 2 Vols. New York, Interscience.
- MACDONALD G.A. 1972 Volcanoes. New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 510p.
- NICHOLS R.L. 1936 Flow Units in Basalt: Jour. Geol., 44, 617-630.
- PETERSON D.W. e SWANSON D.A. 1974 Observed Formation of Lava Tubes during 1970-71 at Kilauea Volcano, Hawaii; Studies in Speleol. 2 (6), 209-222.
- SAEMUNDSSON K. 1966 Zwei Neue C¹⁴ Datierungen Isländischer Vulkanausbrüche: Eiszeitalter und Gegenwart, 17, 85-86 (Dec).
- SWANSON D.A. 1973 Pahoehoe Flows from the 1969-71 Mauna Ulu Eruption. Kilauea Volcano, Hawaii; Geol.Soc.Amer.Bull 83, 615-626.
- WENTWORTH C.K. e MACDONALD G.A. 1953 Structures and Forms of Basaltic Rocks in Hawaii; U S Geol.Surv.Bull. 994, 98p.
- WOOD C. 1977 Factors Contributing to the Genesis of Caves in Lava; Atti del Seminario sulle Grotte Laviche, Catania, 27-28 Agosto 1975. Pub.Sez.Etna del Club Alpino Italiano 1977.
- WOOD C. 1978 Lava Tubes: Their Morphogenesis and Role in Flow Formation; unpublished PhD thesis, University of Leicester, England.
- WOOD C. 1981 Exploration and Geology of Some Lava Tube Caves on the Hawaiian Volcanoes; Trans Brit. Cave Research Association 8 (3) 111-129.

IPOTESI DINAMICA SULLA FORMAZIONE DELLE GALLERIE DI SCORRIMENTO LAVICO

G.M. LICITRA - Gruppo Grotte Catania C.A.I. Sez. dell'Etna, Catania

Riassunto

L'argomento più dibattuto e controverso, negli studi di Vulcanospeleologia, è quello riguardante la formazione delle gallerie di scorrimento lavico. Nell'ultimo ventennio il problema ha stimolato l'attenzione di numerosi studiosi, senza che tuttavia se ne riuscisse a trovare una soluzione abbastanza soddisfacente e di generale applicabilità.

Infatti, molte delle teorie genetiche proposte tendono a generalizzare particolari situazioni osservate in singole grotte; oppure risolvono il problema in maniera troppo semplicistica, senza analizzarne attentamente i vari elementi.

Soltanto due teorie, invero geniali, avrebbero il pregio dell'applicabilità generale: la teoria "del cannocchiale" di Poli-Rittman (basata sul concetto di "flusso laminare" di Rittman), e la teoria dalla "layered lava" di Ollier e Brown.

Ma sono anch'esse insoddisfacenti poiché estendono all'intero meccanismo genetico di una cavità un fenomeno la cui validità è limitata nello spazio e nel tempo.

Per risolvere il problema è necessario considerare il tubo di lava come un sistema dinamico in continua evoluzione, durante il flusso attivo della lava, ed attraverso un attento studio comportamentale di detto flusso introdurre ed applicare i concetti di "curva di raffreddamento" e "compensazione termica", che possono appunto chiarire, essendo di generale applicabilità, i meccanismi che regolano la formazione delle gallerie di scorrimento lavico.

Summary

The most controversial and discussed topic, in volcanospeleological studies, is the one concerning lava tube cave genesis. This problem largely attracted the attention of many scholars in the last two decades, but a solution enough satisfying and generally applicable is not yet at hand.

In fact many genetic theories are affected by a trend to generalize particular situations observed in single caves. Others give a too simplistic explanation of the problem, without a careful analysis of its components.

Only two really ingenious theories could be generally applicable: the "telescope" theory by Poli-Rittmann (based on Rittmann's "laminar flow" principle), and the "layered lava" theory by Ollier and Brown.

But they are unsatisfying as well, as in these theories a phenomenon operating in a given moment and place is considered, and then it is broadened and applied to the whole genetic mechanism.

For a correct solution of the genetic problem one should consider a lava tube as a dynamic system in continuous evolution, during the active lava flow. It is therefore advisable to carry out a careful study on the behaviour of active lava flows by introducing the concepts of "cooling curve" and "thermal compensation". In fact these concepts can make clear the mechanism governing lava tube cave formation, through their general applicability.

INTRODUZIONE

Tra le diverse problematiche poste dalla Vulcanospeleologia, la piú sentita é senza dubbio quella riguardante la formazione delle gallerie di scorrimento lavico: infatti é evidente che determinati meccanismi hanno operato durante il flusso attivo della lava, per condurre alla formazione della galleria, cosí come essa si presenta agli occhi dello speleologo. Ma data l'impossibilitá - finora - di indagine diretta, sia pure strumentale, all'interno di un tubo di lava attivo, si é costretti a rimanere nel campo delle ipotesi.

Lo studio di gallerie di scorrimento lavico e di colate laviche in movimento ha indotto numerosi studiosi, specie nell'ultimo ventennio, a proporre diverse teorie genetiche, a volte molto simili, altre volte anche in apparente contrasto tra loro. Ma per diversi motivi nessuna di esse, fino ad oggi, é riuscita a riscuotere l'unanimitá dei consensi fornendo un'ipotesi sufficientemente valida e generalmente accettata dei meccanismi che intervengono nella formazione di questo tipo di cavitá'.

ANALISI CRITICA DELLE ATTUALI TEORIE GENETICHE

Un panorama delle principali teorie sulla formazione delle gallerie reogenetiche é stato giá presentato dallo scrivente nell'Appendice IV degli "Atti della Settimana Speleologica Catanese" (II Symposium Internazionale di Vulcanospeleologia, Catania, 24-30 Agosto 1975).

Il prospetto nella pagina che segue riporta una sintesi delle teorie speleogenetiche descritte nel lavoro richiamato, al quale si rinviano gli interessati per una piú approfondita conoscenza dell'argomento.

Vanno tuttavia messi in evidenza i motivi per i quali tali teorie non sono atte a fornire una soddisfacente ipotesi di meccanismo genetico per le cavitá di scorrimento lavico.

Le critiche mosse dallo scrivente alle teorie genetiche sono le seguenti:

a - Teorie basate sull'osservazione e lo studio di cavitá esistenti.

Queste teorie, perfettamente atte a spiegare i meccanismi genetici della cavitá sulla quale sono state elaborate, raramente trovano riscontro se applicate allo studio di un'altra galleria di scorrimento, persino nella stessa area vulcanica. Infatti ogni galleria ha una sua propria identitá morfogenetica, determinata dai fattori speleogenetici elencati da WOOD (1977), e questi fattori possono variare da una grotta a un'altra e da un'eruzione a un'altra, anche sullo stesso vulcano.

b - Teorie basate sull'osservazione e lo studio di flussi lavici in movimento.

Queste teorie sono state enunciate da KJARTANSSON (1949, citato da Wood, 1971), che ha studiato in Islanda un flusso lavico dell'Hekla, e da vari studiosi che hanno seguito i flussi lavici del Kilauea tra il 1969 e il 1974. Seppure i dati raccolti ed elaborati hanno aggiunto una notevole massa di conoscenze dirette alle conoscenze teoriche giá acquisite, l'applicabilitá delle teorie elaborate sulla scorta di queste osservazioni é ancora piú limitata, in quanto é nota l'estrema fluiditá delle lave islandesi e ancor piú di quelle hawaiane, e pertanto il loro comportamento é del tutto eccezionale, rispetto al comportamento degli efflussi lavici osservabili in ogni altra parte della Terra.

Ne é riprova il convincimento generale che le gallerie di scorrimento si formino soltanto in lave **pahoehoe**, mentre quasi tutte le gallerie esistenti sull'Etna sono formate in lave **aa**.

c - Ipotesi di lavoro non riferite ad una determinata cavitá.

Si tratta in particolare di due teorie. La prima é la cosiddetta "teoria del cannocchiale", enunciata da POLI (1959) e ripresa da RITTMANN (1977), basata

PROSPETTO DELLE TEORIE SULLA FORMAZIONE DELLE GALLERIE DI SCORRIMENTO		
AUTORE	ANNO	TEORIA
HARTWIG, G.	1892	Formazione di croste sulla lava in movimento. Svuotamento del condotto, che lascia un tubo vuoto.
NICHOLS, R. L.	1936	Concetto di "unità di flusso", che alla fine si svuotano per drenaggio della lava liquida.
SKEATS e JAMES	1937	Coalescenza di unità di flusso o di tubi primari, con successiva asportazione dei setti di separazione e formazione di gallerie più ampie.
KJARTANSSON	1949	Formazione progressiva di croste che galleggiano sulla superficie del flusso lavico, e contemporaneo sviluppo di croste dagli argini verso il centro del flusso; drenaggio finale.
WENTWORTH e MACDONALD	1953	a) Chiusura dei canali di lava in seguito alla formazione di croste, con drenaggio finale della lava ancora fluida; b) Fuoriuscita di lava liquida da lingue di lava esternamente solidificate.
POLI, E.	1959	Ipotesi del cannocchiale: il nucleo liquido di una colata lavica in movimento è costituito da lamine cilindriche concentriche, la cui velocità aumenta dalla periferia verso il centro. Il drenaggio finale procede dalla parte più interna verso la periferia.
OLLIER e BROWN	1965	Al di sotto della parte più esterna, solida, il flusso è suddiviso in due fasi: cilindri di lava virtualmente liquida fluiscono in tubi immersi in una pila di strati di lava virtualmente solida. Il drenaggio finale produce gallerie di scorrimento immerse nella roccia lavica a strati.
MACDONALD, G.	1970	Formazione della crosta su un flusso lavico; il movimento viene gradualmente confinato in ambienti ad andamento tubolare; drenaggio finale.
KERMODE, L.	1970	Formazione di crosta su un canale aperto; ingrossamento degli argini per successivi trabocchi laterali. Drenaggio finale del condotto, immerso in una serie di strati di lava.
GREELEY e HYDE	1971	La lava in movimento inizia a raffreddarsi dalla periferia verso l'interno. Il nucleo fluido si muove in condotti tubolari vaganti in seno ad una massa estremamente viscosa. Sulle pendenze più accentuate è possibile che il flusso sia turbolento, provocando l'accrescimento degli argini, che finiscono per congiungersi, mediante l'accumulo di spruzzi e brandelli di lava fusa.
WOOD, C.	1971	Sovrapposizione di unità di flusso; i loro nuclei liquidi fluiscono in tubi primari. Questi tubi convergono in tubi più ampi (tubi secondari), in seguito alla rifusione e all'erosione dei setti di separazione.
PETERSON e SWANSON	1974	a) Le gallerie con la volta piatta si formano in quattro modi differenti: 1. Croste che si estendono verso valle a partire dalla bocca effusiva; 2. Croste che si estendono controcorrente a partire da un punto di sifonamento della lava fluida; 3. Croste che si estendono dalle pareti del canale verso il filo della corrente; 4. Lastroni di crosta galleggiante che si saldano tra loro e finiscono per ancorarsi alle pareti del canale. b) Le gallerie con volta arcuata si formano per drenaggio delle lingue di lava pahoe-hoe.

sull'applicazione dell'ipotesi di RITTMANN, del flusso laminare nelle lave, allo studio di numerose gallerie dell'Etna. La seconda é la "teoria della layered lava", elaborata da OLLIER e BROWN (1965) in seguito allo studio sistematico delle gallerie di scorrimento del Victoria (Australia).

Entrambe queste teorie, essendo enunciate come ipotesi di lavoro, potrebbero essere applicate a qualunque galleria di scorrimento lavico, anche perché ipotizzano in maniera abbastanza soddisfacente il tipo di movimento della lava all'interno di un tubo.

Esse sono tuttavia limitate dal fatto che sono riferite ad un'azione ben circoscritta nello spazio e nel tempo, come se venisse "fotografato" un determinato momento del meccanismo speleogenetico. Anche in questo caso, quindi, ci troviamo di fronte ad una dilatazione arbitraria di azione ed effetti, come se questi fossero costanti ed invariabili in qualunque punto della colata, durante la sua fase attiva.

IPOTESI DINAMICA

Restando sempre nel campo delle ipotesi di lavoro, é necessario considerare il tubo di lava, nella sua fase attiva, come un sistema dinamico in continua evoluzione. Pertanto é lecito supporre che nello stesso istante, ma in punti differenti del tubo, possono agire differenti meccanismi, così come possono essere differenti i meccanismi che agiscono nello stesso punto ma in tempi diversi.

Partendo dal presupposto che le lave fluiscono con moto esclusivamente laminare (RITTMANN, 1977), é possibile formulare un'ipotesi dinamica sulla genesi delle gallerie di scorrimento, basata sulla costruzione della **curva di raffreddamento** di un flusso lavico ideale.

Dispersione del calore in un flusso lavico

Le lave basiche, nelle quali in determinate condizioni possono formarsi le cavità reogenetiche superficiali (LICITRA 1981, 1982b), affiorano in superficie a temperature normalmente comprese tra i 1100 e i 1200 °C, allo stato fluido, e quindi in condizione di scorrere su un pendio anche molto debole. Esse si mantengono in queste condizioni finché la loro temperatura non scende al di sotto di circa 1000 °C (*) (soglia di immobilizzazione), quando la viscosità raggiunge valori tali da impedire ogni ulteriore movimento. L'abbassamento della temperatura é però estremamente lento, anche nelle condizioni più sfavorevoli (colate laviche subacquee e subglaciali), poiché la laminarità del flusso impedisce la dispersione del calore per convezione (che dovrebbe avvenire mediante la traslazione fisica di particelle di lava tra lamine contigue; ciò é ammissibile in un moto turbolento, ma in antitesi con i principi del moto laminare), e limita alle lamine più esterne la dispersione di calore per irraggiamento nell'aria. Inoltre la dispersione del calore per conduzione, che é già trascurabile per la bassissima conducibilità specifica della lava (circa 0,005 cal. cmq/sec - RITTMANN, 1977), é tanto più insignificante quanto maggiore é la velocità del flusso, poiché diminuisce il tempo in cui una particella a temperatura T_x rimane a contatto con un'altra particella a temperatura T_{x-n} , cioè in condizione di cedere una quantità Q_x del suo calore.

Ne consegue che la lava si raffredda prevalentemente per irraggiamento, in quelle zone in cui lo scorrimento del fluido avviene "a pelo libero" (scorrimento gravitativo), mentre in un flusso lavico all'interno di un tubo, dove lo scorrimento avviene generalmente a pressione idrostatica, il raffreddamento - trascurabile - avviene prevalentemente per conduzione.

(*) Si tratta di un valore medio e comunque arbitrario, dipendente oltre che dalle caratteristiche chimico-fisiche della lava, anche da fattori esterni come topografia, pendenza, ecc.

Curva di raffreddamento

Si immagini di avere un flusso lavico nel quale siano soddisfatte le condizioni ideali di chimismo, fluidità, velocità, ecc., e in un diagramma cartesiano si riportino in ordinata le temperature T_x misurate a distanze D crescenti dalla bocca effusiva in un medesimo istante x_i . Il grafico che se ne ricava sarà rappresentato da una curva di tipo esponenziale (Fig.1) espressa dalla formula

$$T_x = \frac{(T - T_f) \cdot e^{-\frac{K D}{\eta}} + T_f}{m \cdot \left(\frac{K \eta}{\varphi} \right)}$$

dove:

T = temperatura della lava alla bocca effusiva;

T_f = temperatura della lava al fronte della colata;

k = conducibilità specifica della lava (circa 0,005 cal x cmq./sec.);

D = distanza dalla bocca effusiva del punto in cui si misura T_x

η = viscosità media della lava secondo la formula di Both e Self

$$\eta = \frac{g g h^2 \cdot \sin \alpha}{n V} \quad (*)$$

φ = fattore di frizione di Darcy

$$\varphi = \frac{8 g g h \cdot \sin \alpha}{V^2}$$

m = fattore di correzione della compensazione termica (non costante) ≤ 1 , che occorre introdurre per valori di $D \geq 5000$.

n = numero adimensionale di Reynolds.

(*) RITTMANN, 1977, pag.90

ρ = densità media della lava.

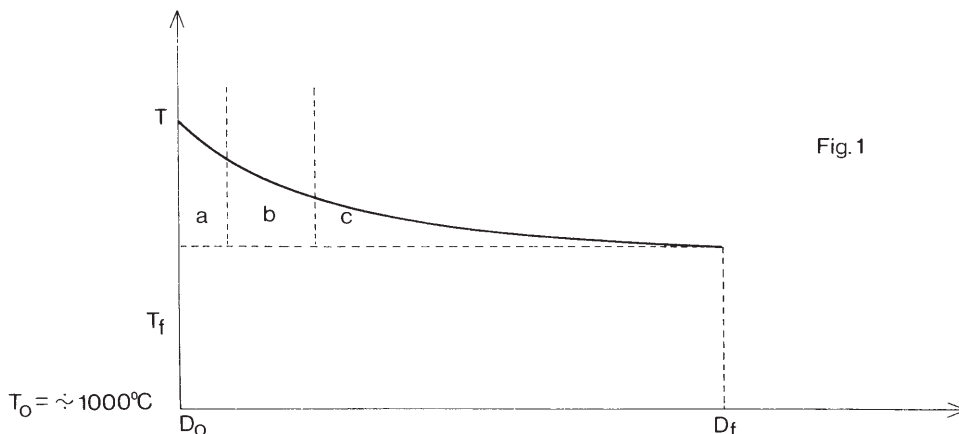


Fig.1

Tale curva é divisa in tre sezioni arbitrarie, che corrispondono alle "zone" di una colata descritte da RITTMANN (1977, pag.93, fig.3).

Nella sezione **a**, caratterizzata da un'apprezzabile diminuzione del valore di T , si ha la zona dell'irraggiamento. Lo scorrimento della lava é di tipo gravitativo e le lamine del fluido si muovono parallele tra loro, una sull'altra, a velocità differenti; la velocità raggiunge i valori più elevati nella parte mediana del flusso.

Nella sezione **b**, dove si attenua la pendenza della curva perché diminuisce la dispersione di calore per irraggiamento, si ha la zona di transizione o **zona di compensazione termica**. Qui infatti la maggiore dispersione di calore iniziale viene compensata dal continuo afflusso di nuova lava a temperatura più elevata, mentre la crosta che si va formando sopra la massa fluida frena sempre di più la dispersione del calore per irraggiamento. In questa zona gli effetti dello scorrimento gravitativo e di quello a pressione idrostatica si equivalgono, e il movimento della lava avviene presumibilmente secondo il meccanismo ipotizzato da OLLIER e BROWN (1965 - "cilindri di lava virtualmente liquida che scorrono dentro tubi immersi in una massa di lava a strati, virtualmente solida").

La sezione **c**, dove la pendenza della curva é diventata trascurabile e costante, corrisponde alla zona in cui la lava fluisce all'interno del suo tubo, spinta dalla pressione idrostatica (zona di flusso a pressione); qui la dispersione del calore, realizzabile quasi esclusivamente per conduzione, diventa impercettibile, ed il movimento della lava avviene a lamine cilindriche concentriche, secondo l'ipotesi formulata da POLI (1959) e RITTMANN (1977).

Flessione dinamica della curva di raffreddamento

La curva sopra descritta rappresenta tuttavia una situazione ideale, poiché presuppone la distanza D come unico fattore variabile del sistema; nella realtà la situazione é molto più complessa, non soltanto perché la curva ottenuta si riferisce esclusivamente al raffreddamento in un determinato istante i del flusso, ma anche e soprattutto perché essa é complicata da una brusca flessione della temperatura nel punto D_f (Fig.2).

Qui infatti, in corrispondenza del fronte della colata, avviene la continua emissione di **unità di flusso**, sotto la spinta della pressione idrostatica esercitata dal tubo di lava fluida. Ciò provoca un immediato ritorno alle condizioni di scorrimento gravitativo, con conseguente apprezzabile dispersione di calore per irraggiamento.

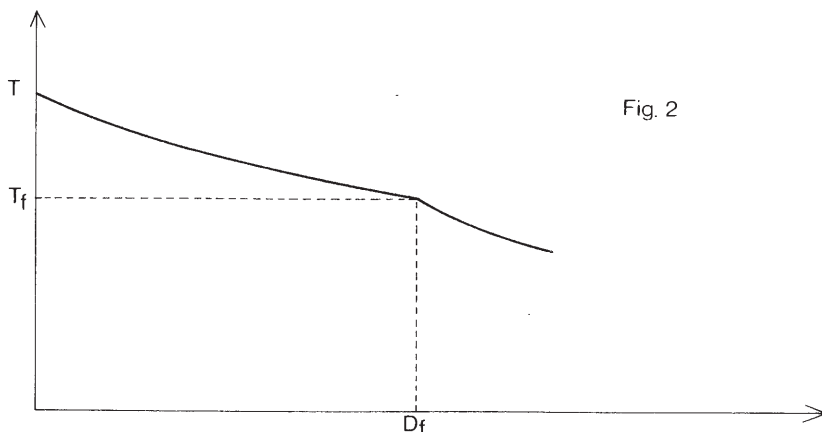


Fig. 2

Inoltre, il passaggio dalle condizioni di scorrimento a pressione a quelle di scorrimento gravitativo, con relativa flessione della curva di raffreddamento, si ripercuote su tutta la curva (Fig.3): da una parte la flessione riscontrata in D_f tende a spostarsi nel senso del valore crescente di D (D_{f+1} , D_{f+2} , ..., D_{f+n}), di pari passo con l'emissione di nuove unità di flusso, con l'avanzamento della colata e l'allungamento del tubo, all'interno del quale la momentanea dispersione di calore sarebbe subito compensata dal continuo afflusso di lava più calda (condizioni di **compensazione termica**); però la flessione della

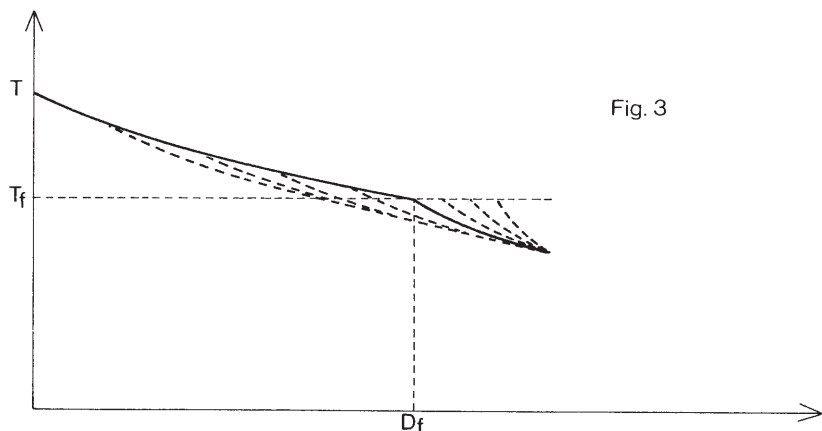


Fig. 3

temperatura si ripercuote anche verso monte, poiché l'emissione di unità di flusso dal fronte della colata provoca un parziale svuotamento all'interno del tubo; anche qui, pertanto, si ha un ritorno allo scorrimento gravitativo, con conseguente dispersione di calore per irraggiamento. Il continuo ripetersi del fenomeno si traduce in pratica in un generale e progressivo abbassamento della temperatura del sistema, la cui curva di raffreddamento tende a raggiungere, nella parte terminale, valori sempre più prossimi alla soglia di immobilizzazione. Questa situazione è ulteriormente accentuata dal fatto che i livelli di scorrimento, all'interno dei tubi, tendono sempre a decrescere, sia per possibili riduzioni della portata, sia in particolare per l'azione erosiva esercitata dal peso, dalla temperatura e dal carico solido del fluido sul suo letto di scorrimento, come si è potuto verificare nella recente eruzione dell'Etna.

In queste condizioni, anche all'interno del tubo, si stabilisce uno scorrimento di tipo gravitativo, e la superficie del flusso tende a raffreddarsi per irraggiamento. Come conseguenza la superficie del flusso tende a ricoprirsi di una crosta solida, con formazione di un nuovo tubo all'interno del precedente, fino al ristabilirsi delle condizioni di scorrimento a pressione idrostatica. Va notato che le reazioni esotermiche tra gas vulcanici e ossigeno atmosferico, che possono verificarsi all'interno dei tubi, sono fenomeni localizzati, e non influiscono sul processo di raffreddamento complessivo, che è invece in stretto rapporto con il tipo di scorrimento e con la compensazione termica.

All'irraggiamento interno va in particolare attribuita la formazione delle lunghe mensole laterali che spesso caratterizzano la morfologia interna delle gallerie reogenetiche, sebbene Wood, nel suo studio sulla Raufarhólshellir (1971), ha interpretato queste mensole come conseguenza della confluenza di due tubi primari sovrapposti in un unico tubo secondario di maggiori dimensioni.

Un'ulteriore riprova che la lava tende a ricoprirsi di una crosta solida ovunque si abbia uno scorrimento di tipo gravitativo, anche all'interno delle gallerie reogenetiche, è data dalla morfologia del pavimento di dette gallerie, che presenta sempre caratteristiche morfologiche molto simili a quelle della superficie esterna di un flusso di lava solidificato. Infatti il pavimento di ogni cavità reogenetica non è altro che la superficie dell'ultima corrente di lava che la percorreva, nel momento in cui la sua temperatura ha raggiunto la soglia di immobilizzazione.

SVUOTAMENTO DELLE GALLERIE REOGENETICHE

Le gallerie di scorrimento sono generate, come è risaputo, dallo svuotamento dei tubi di lava. Tale svuotamento avviene però principalmente per progressivo abbassamento del livello del flusso all'interno del tubo durante la sua attività, piuttosto che per drenaggio del tubo verso valle dopo il cessare dell'alimentazione per arresto dell'attività effusiva. Infatti sarebbe estremamente problematico spiegare con la semplicistica teoria del drenaggio la genesi di lunghe cavità come la Raufarhólshellir (Islanda) o la Ape Cave (Washington, USA) o la Kazumura Cave (Hawaii), specie se si tiene conto che il dislivello tra le due estremità di dette grotte è del tutto irrilevante rispetto al loro sviluppo lineare.

Bisogna invece ritenere, come già ipotizzato da FINCH (1943), che il fluido che scorre all'interno del tubo eserciti una certa azione erosiva a carico del suo letto di scorrimento, determinando in tal modo un abbassamento del livello all'interno del tubo. Ciò è stato anche osservato ad Hawaii da PETERSON e SWANSON (1974), i quali hanno potuto seguire il progressivo abbassamento del livello di scorrimento all'interno dei tubi attivi, senza che parallelamente intervenissero apprezzabili diminuzioni nella portata del flusso medesimo.

L'arresto del movimento del flusso all'interno di un tubo va dunque imputato non al suo svuotamento per drenaggio, ma alle conseguenze della flessione della curva di raffreddamento e del progressivo abbassamento delle due zone di compensazione termica (nella zona iniziale e nella zona del fronte): come si è visto in precedenza, la somma di queste conseguenze provoca il progressivo abbassamento della temperatura di tutto il sistema, fino ad incontrare la soglia di immobilizzazione, al di sotto della quale si ha l'arresto del movimento.

Va tenuto presente che la curva di raffreddamento può toccare la soglia di immobilizzazione ($T \leq 1000^\circ\text{C}$) in un qualunque punto D_n compreso tra D_o e D_f . Questo spiega come spesso si trovino gallerie reogenetiche senza che vi sia traccia di una bocca effusiva nel loro punto iniziale o nelle sue immediate vicinanze.

CONCLUSIONI

In base alle considerazioni sopra riportate si può dunque affermare che il movimento della lava all'interno dei tubi avviene, con moto laminare, secondo l'ipotesi di OLLIER e BROWN in quelle parti della colata interessate da flusso gravitazionale, mentre avviene a lamine cilindriche concentriche, come ipotizzato da POLI (1959) e da RITTMANN (1977), nei tubi in cui il fluido riempie interamente la sua guaina solida, scorrendo a pressione idrostatica. I due tipi di scorrimento tendono però costantemente a sostituirsi l'uno all'altro, poiché ogni emissione di una nuova unità di flusso tende a svuotare parzialmente il tubo pieno, favorendo il passaggio dallo scorrimento a pressione a quello gravitativo, mentre dovunque si ha circolazione gravitativa la superficie del flusso tende a ricoprirsi con una crosta solida che racchiude il

fluido in un nuovo tubo a pressione idrostatica.

Il drenaggio dei tubi avviene durante la fase attiva del flusso, e non quando cessa l'alimentazione. Esso é imputabile al progressivo abbassamento del livello del fluido all'interno dei tubi sia per parziale diminuzione della portata, sia per azione erosiva a carico delle pareti e del letto di scorrimento della lava fluida.

E' comunque chiaro che, essendo numerosi, estremamente variabili e variamente interconnessi tra loro i fattori che intervengono nella formazione di una cavità reogenetica, il numero delle combinazioni e dei morfotipi risultanti é praticamente illimitato. Pertanto ogni singola cavità é unica nel suo genere e, prescindendo da qualsiasi ipotesi di lavoro, i meccanismi genetici specifici possono essere individuati soltanto attraverso un'attenta interpretazione dei dati sperimentali rilevati sul terreno.

RINGRAZIAMENTI

L'Autore desidera ringraziare i Proff. Marcinnó, Pitrone e Sperlinga per i suggerimenti forniti durante l'elaborazione della formula della curva di raffreddamento. E' grato altresí ai Dott.ri Pandolfo e Puglisi per gli utili scambi di idee avuti con loro durante l'elaborazione del lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- FINCH R.H. (1943): Lava Rivers and Their Channels. The Volc. Lett., Hawaii, 480 (1-2).
- GREELEY R. (1971): Observations of actively forming lava tubes and associated structures, Hawaii. Mod. Geol., 2 (207-223).
- GREELEY R., HYDE J.H. (1971): Lava Tubes of The Cave Basalt, Mount St. Helens, Washington. Geol. Soc. of Amer. Bull., Vol. 83 (2397-2418).
- LICITRA G.M. (1977): Le grotte di scorrimento lavico; cenni sulle teorie genetiche. Atti Sett. Spel. Cat., 1975. G.G.C.-CAI/Etna, Catania (249-261).
- LICITRA G.M. (1981): Grotte vulcaniche: le cavità reogenetiche superficiali. Speleoetna, Boll. del G.G.C.-CAI/Etna, Catania, N.2 (20-24).
- LICITRA G.M. (1982/b): Essay on genetic classification of volcanic caves. III Int. Symp. on Volcanospel., Bend, Or., 1982. In corso di stampa.
- NICHOLS R.L. (1936): Flow Units in Basalt. Journ. Geol., 44 (617-630).
- OLLIER C.D., BROWN M.C. (1965): Lava Caves of Victoria. Bull. Volc., 28, Naples (215-229).
- PETERSON D.W., SWANSON D.A. (1974): Observed formation of lava tubes during 1970/71 at Kilauea volcano, Hawaii. Studies in Speleology; W.P.C.S. Trust Ltd., London, vol. 2, part 6 (209-222). Vedi anche: Atti Sem. Gr. Lav., Catania, 1975, pubbl. 1977, G.G.C.-CAI/Etna, Catania.
- POLI E. (1959/b): Genesi e morfologia di alcune grotte dell'Etna. Boll. Soc. Geogr. Ital., Roma, 8, 12 (452-463).
- RITTAMANN A. (1977): Formazione delle grotte vulcaniche. Atti Semin. Gr. Lav., Catania, 1975. G.G.C.-CAI/Etna, Catania (87-100).
- WOOD C. (1971): The nature and origin of Raufarhólshellir. Trans. C.R.G. of GB, 13, 4 (245-256).
- WOOD C. (1977): Factors contributing to the genesis of caves in lava. Semin. Gr. Lav., Catania, 1975. G.G.C.-CAI/Etna, Catania (101-113).

MORFOLOGIA E MECCANISMO DI ESPANDIMENTO DEL CAMPO DI LAVA PAHOEHOE DELLA COLATA ETNEA DEL 1614-1624

R. GREELEY - Dept. of Geology, Arizona State University, Tempe, Arizona, U.S.A.

J.E. GUEST - Astronomical Observatory, London, England

C. WOOD - Yorkshire Dales National Park, Grassington, England

Riassunto

Questa relazione fornisce una sintesi del lungo lavoro di rilevamento geologico sulla colata etnea del 1614/1624. La colata é di lave pahoehoe, un tipo di lava poco frequente sull'Etna, ed é particolarmente notevole in quanto presenta una caratteristica morfologia con grandi strutture cupoliformi (per le quali viene introdotto il termine "Mega-tumuli" - alcuni raggiungono persino 130 m. di altezza), terrazze di lava arcuate (con fronti alti da 20 a 150 m.) e lunghe gallerie laviche.

Nel tentativo di chiarire la storia apparentemente complessa dell'espandimento della colata, é stata selezionata una parte di lava del Passo dei Dammusi nella zona della Grotta dei Lamponi, per uno studio dettagliato. Il rilevamento topografico delle caratteristiche superficiali (della colata) e di tre gallerie laviche completamente indipendenti l'una dall'altra, hanno messo in evidenza che: a) esiste una diretta correlazione genetica tra le gallerie laviche e le terrazze; b) apparentemente le terrazze si sono formate procedendo verso valle. Probabilmente le terrazze hanno tratto origine da grandi laghi di lava pensili, alimentati da bocche secondarie, alimentate a loro volta da tubi di lava.

Nell'ambito della colata, considerata nel suo insieme, le terrazze passano gradualmente a mega-tumuli, e pertanto si ritiene che buona parte dei tumuli si siano formati per evoluzione delle terrazze, in conseguenza del continuo afflusso di lava, con elevata pressione "idrostatica", proveniente dai tubi di lava.

Questo studio mette in evidenza come il rilevamento dettagliato delle gallerie laviche, e delle corrispondenti forme superficiali, può agevolare l'interpretazione di tipi di colate laviche estremamente complessi.

Summary

This paper provides a synopsis of protracted geological fieldwork on the 1614/24 lava flow, Mt. Etna. The lava flow is pahoehoe, a flow style that is unusual on Mt. Etna, and it is especially notable because it possesses a distinctive morphology of large, dome-like structures (for which the term "Maga-tumuli" is introduced - these ranging up to 130 m high), arcuate lava terraces (with fronts 20m-150m high), and extensive lava tube caves.

In an attempt to unravel the apparently complex history of emplacement of the lava flow, a part of the Lava del Passo dei Dammusi, in the region of the Grotta

dei Lamponi, was chosen for detailed study. Mapping of the surface landforms and three quite separate lava tube caves established that:

(i) there is a direct genetic relationship between the lava tubes and the terraces;

(ii) terraces apparently formed progressively downhill.

In all probability the terraces originated as large perched lava ponds, supplied from secondary tube-fed boccas.

In the context of the whole lava flow, terraces grade into Mega-tumuli, and it is therefore suggested that many of the tumuli developed from terraces as a result of a continued supply of lava under considerable "hidrostatic" pressure from the lava tubes.

This study is an illustration of how detailed mapping of lava tube caves and related surface forms can aid the interpretation of highly complex styles of lava flow.

L'eruzione del 1614 partí da numerose bocche lungo la linea di frattura di NE dell'Etna, e produsse nell'arco di un decennio uno dei maggiori campi di lava del vulcano, per estensione e per volume. Lungo il fianco settentrionale del vulcano si formarono tre flussi principali, ciascuno esteso 7 o piú chilometri, che ricoprirono complessivamente una superficie di 21 Km². con spessori che raggiungevano a volte 150-200 m., per un volume stimato di 1.2 Kmc.

La lava é hawaiiite e - cosa insolita per l'Etna - é quasi interamente del tipo pahoehoe; altre insolite caratteristiche sono date da grandi strutture cupoliformi (per le quali, in questo lavoro, é stato coniato il termine di **mega-tumuli**), da estese terrazze di lava, e da lunghe gallerie di scorrimento. Questa varietà di forme, nell'insieme, ha consentito la formazione di un campo di lava dalla morfologia decisamente insolita.

Questo studio esamina le relazioni tra gli aspetti morfologici che concorrono a caratterizzare la colata del 1614-24, considerandoli base di una partenza per l'interpretazione dei meccanismi che regolano l'espandimento effusivo.

Colate terrazzate

Il ramo settentrionale dell'efflusso, noto come Lava del "Passo dei Dammusi", presenta le terrazze piú ben sviluppate: infatti sei grandi terrazze, e numerosi ripiani minori, conferiscono a questa colata un profilo a gradinata.

Il ripiano di ogni terrazza presenta una superficie pahoehoe relativamente pianeggiante, mentre le scarpate anteriori sono composte da lava scoriacea o a lobi. Le gallerie di scorrimento si sviluppano sotto la superficie delle terrazze e solo occasionalmente proseguono lungo le scarpate.

Ci sono anche tumuli che raggiungono diametri di alcune decine di metri: alcuni si presentano cavi, mentre altri, crollati, assumono l'aspetto di caotiche costruzioni.

Un'ipotesi accettabile sui meccanismi di formazione di queste terrazze, già avanzata da Guest e Romano (1975), é che esse abbiano preso origine da grandi laghi di lava pensili.

Mega-tumuli

Quasi tutta la restante parte della colata del 1614-24 - ed in particolare la "Sciara del Follone" ed il ramo centrale - e' disseminato di mega-tumuli. Queste cupole hanno le dimensioni del diametro di base che variano da poche decine di metri fino ad oltre 1 Km., nel caso del monte Collabasso; molte di esse, essendosi sviluppate su un pendio piuttosto ripido, presentano un profilo asimmetrico, e sono esse stesse costellate di piccoli tumuli, lastroni appuntiti e trabocchi.

Ne consegue che i mega-tumuli sono di origine sia "esogena" che "endogena", poich  la pressione della lava ha incurvato progressivamente verso l'alto una superficie di lava gi  solidificata, mentre si manifestavano estrusioni di lava fluida attraverso le fratture che si andavano formando.

Tubi di lava

Si conoscono sei tubi di lava (*), alcuni dei quali dovettero essere delle importanti vie di alimentazione per la lava in movimento nella parte profonda della colata. Due di essi - la Grotta di Aci e la Grotta del Gelo - si trovano oltre i 2000 m. di quota, mentre gli altri quattro, che totalizzano circa 3 chilometri di gallerie, si trovano in una ristretta area della Lava del Passo dei Dammusi.

Interpretazioni

Il rilevamento morfologico e topografico dettagliato della Lava del Passo dei Dammusi ha consentito di stabilire delle relazioni stratigrafiche tra le terrazze e i tubi di lava.

Interpretazioni basate su queste relazioni suggeriscono che queste terrazze possono essersi apparentemente formate procedendo per gradi da monte verso valle, sebbene l'attivit  continuasse ad avere luogo nelle terrazze a quota pi  elevata, una volta formatesi quelle a quota pi  bassa.

Probabilmente all'inizio tali terrazze erano dei grandi laghi di lava pensili: la superficie pianeggiante di ogni terrazza sarebbe la superficie solidificata del lago di lava, mentre la sua scarpata scoriacea non sarebbe altro che la diga arcuata di contenimento.

Ulteriori affioramenti di lava, attraverso la crosta che ricopriva il lago, hanno formato una sequenza di sottili unit  di flusso stratificate, che ristagnavano all'interno del margine della terrazza.

Poich  sembra che le terrazze si siano formate da monte verso valle, le terrazze pi  basse sarebbero state alimentate dalla lava che aggirava le terrazze superiori, o che scorreva sotto di esse: a questo punto iniziava la formazione di una nuova terrazza ad una quota inferiore. In qualche caso sembrerebbe anche che la lava sia traboccata dal margine della terrazza, o sia scaturita da fessure nella scarpata.

(*) l'A. intende "gallerie di scorrimento lavico" (n.d.t.)

La formazione di tumuli e mega-tumuli presuppone un'elevata pressione idrostatica, quale potrebbe essere quella prodotta dal flusso in tubi con notevole pendenza. Dal rilevamento topografico dell'intera colata risulta evidente che vi sono molte strutture la cui morfologia rappresenta una via di mezzo tra quella della terrazza e quella del mega-tumulo. Si ritiene pertanto che molte strutture cupoliformi si siano formate per l'evoluzione di terrazze: il continuo e progressivo rigonfiamento della terrazza, provocato dalla lava proveniente da un tubo a pressione elevata, arcuava verso l'alto il profilo della terrazza, ampliando il fronte della colata a forma di tumulo; con l'ampliamento del fronte, la lava veniva estrusa attraverso le fratture tensionali, fino a rivestire ed occultare la scarpata frontale.

Conclusione

Questo studio fornisce gli elementi per ritenere che il campo di lave dell'eruzione 1614-24 si sia formato come un vasto campo di bocche effimere nel quale la lava fuoriusciva da tante bocche alimentate da tubi, in ogni momento, in vari punti della colata. Tale meccanismo ha conferito alla colata una struttura ed una morfologia estremamente complicate.

BIBLIOGRAFIA

GUEST, J.E. e R. ROMANO, 1975. Geological Mapping of the Etna Nord Sheet. U.K. Research on Mt. Etna, 1974, Royal Society, London, pagg.6-7.

GROTTE LAVICHE E COLATE LAVICHE

CLIFF D. OLLIER - Bureau of Mineral Resources - Canberra - Australia

Riassunto

Esistono due principali tipi di colate laviche che contengono grotte di scorrimento lavico: uno di essi consiste di un canale centrale delimitato da argini, dove le grotte si possono formare per copertura del canale; il secondo tipo presenta una crosta continua, con un flusso sub-crustale che può creare vari effetti topografici, e vari tipi di grotte di scorrimento superficiali (sub-crustali). I due tipi di grotte hanno morfologie differenti.

La natura della colata, ed il tipo di grotta lavica sono correlate a varie proprietà della lava, alla portata ed alla continuità dell'effusione. Questi fattori influiscono anche sulla lunghezza della colata e sulla formazione di lava a strati (layered lava).

La formazione di colate laviche molto lunghe richiede probabilmente un'alimentazione attraverso tubi di lava.

Summary

. There are two main kinds of lava flow that contain lava caves. One consists of a central channel bounded by levees, and caves may be formed by roofing over the central channel. The second kind has a continuous crust, with subcrustal flow that may create various topographic effects and subcrustal lava caves.

The two kinds of caves have different form. The nature of the flow and the type of lava cave are related to various properties of the lava and the rate and continuity of eruption. These factors also control the length of lava flows, and the formation of layered lava.

The formation of very long lava flows probably requires flow through lava tubes.

Introduzione

Fino a non molto tempo fa le grotte laviche erano considerate una semplice curiosità: la loro origine sembrava evidente, non meritevole di studi approfonditi. Oggi la scena è cambiata, e noi siamo assaliti da incertezze riguardo al come si formano le grotte laviche e come sono poste in relazione col più importante problema del meccanismo di un flusso lavico. Generalmente è invalsa la tendenza ad assumere atteggiamenti del tipo "o l'uno o l'altro", nel formulare ipotesi sulla genesi delle gallerie di scorrimento, quando invece è possibile che vari meccanismi differenti possano ugualmente dar luogo alla formazione di grotte. Notevoli passi avanti sono stati fatti nella descrizione della fluido-dinamica di una colata lavica, ma più elaborata è la teoria fisica, più sembra difficile metterla in relazione alla realtà.

Espandimento delle colate laviche

Attualmente vi é un ampio dibattito scientifico sulla natura delle colate, specialmente per quelle molto lunghe. Esaminandone i particolari in una sezione trasversale si può già avere qualche idea su come sia avvenuta la messa in posto della lava, e lo studio delle grotte laviche é parte di questo piú importante problema. La Fig.1 mostra quattro tipi di colate.

a. Alcune colate di notevole spessore sono strutturate in singole unità, e danno origine alla classica sezione con una parte sommitale scoriacea o decisamente colonnare, una "trabeazione" centrale con tracce di colonne incurvate, ed un "colonnato" inferiore ad elementi verticali (Fig.1a). Queste colate hanno spesso uno spessore di parecchi metri, dovuto a ristagno, ma non contengono mai cavità: la lava colonnare ben sviluppata sembra escludere le grotte laviche. Nella tipologia del basalto massiccio ci sono molte varianti: i Deccan Traps dell'India, ad esempio, consistono in colate di basalto omogeneo spesse fino a 115 m e con nette fessurazioni, e colate piú sottili di basalto amigdaloidale non fessurato. I tubi di lava sembrano essere totalmente assenti in ambedue i tipi di colate.

b. Altrove la lava fluisce in ben definiti lobi e digitazioni (Fig.1b). Queste colate possono presentare una grossolana fessurazione in superficie ed un interno compatto; possono essere interamente piene oppure svuotate in modo da presentare un preciso tipo di cavità minori, e sono piú viscosi di quelle del tipo a.

c. Ci sono poi colate suddivise in molti strati, interpretati come lava stratificata (layered lava) o come unità di flusso (Fig.1c), cui sono normalmente associate grandi cavità. La formazione della lava a strati e delle cavità sono due problemi strettamente connessi. Ci sono due tipi di colate a lava stratificata: quelle con canali scoperti (cI) e quelle senza (cII). Queste sono caratterizzate da due tipi di grotte laviche: quelle formate dal ricoprimento del canale seguito dallo svuotamento dello stesso, e quelle originate dal drenaggio della lava al di sotto di una consistente crosta continua. Non c'è dubbio che entrambi i tipi di cavità possono formarsi. Il primo tipo é stato direttamente osservato ed ampiamente filmato e documentato (p.es. Greeley, 1971; Peterson e Swanson, 1974). Il secondo tipo non può essere osservato direttamente durante la sua formazione, ma la scomparsa di correnti di lava al di sotto di una solida crosta, e la comparsa di flussi lavici piú a valle, emergenti al di sotto di solide croste, suggeriscono l'ipotesi di un flusso senza soluzione di continuità, molto probabilmente suddiviso in tubi distinti.

In tempi recenti la teoria del ricoprimento é stata quella dominante e a volte ciò é stato dovuto all'ingiustificato rigetto di ipotesi alternative. Pertanto io metterò in evidenza quegli aspetti che a mio avviso confermano l'ipotesi del drenaggio di condotti di lava subcrostali originariamente pieni. I due meccanismi di formazione delle cavità sono funzione del meccanismo generale del flusso lavico, e sono connessi in particolare ai problemi della genesi della lava a strati e alla messa in posto di colate molto lunghe.

Lava a strati ed unità di flusso

E' facile osservare come le gallerie di scorrimento si trovino in lave a strati. Come si siano formati gli strati é una questione controversa, e talvolta la questione viene confusa col differente capitolo sulla genesi delle cavità di scorrimento.

Nella loro prima relazione Ollier e Brown (1965) avanzarono l'ipotesi che la lava a strati traesse origine da sforzi di taglio all'interno della lava in movimento, poiché alcuni dettagli all'interno dei singoli strati, e i giunti di separazione tra uno strato e l'altro, li rendevano dissimili da superfici di colate laviche successive e sovrapposte. Hatheway (1976) riferisce: "una effettiva differenziazione per stratificazione del flusso é stata osservata da Lutton, Girucky e Hunt (1976), secondo i quali gli strati del flusso presentavano effettivamente le tracce residue di una struttura di flusso cilindrico all'interno di una singola colata dello spessore di 61 m". Altre

indicazioni sono date dal fatto che gli strati sono sottili come quelli generati dai trabocchi dagli argini dei canali di lava, il che sembra una ipotesi molto ragionevole, in presenza di canali di lava. In alternativa gli strati possono rappresentare delle "unità di flusso" come quelle descritte da Nichols, 1936. George Walker (comunicazione personale) ritiene che "gli strati sono sicuramente unità di flusso. Uno dei modi migliori per riconoscere le unità di flusso è quello di individuare un'area di giunti molto fitti, che si trova più o meno nella prima decina di centimetri della parte superiore di ogni singola unità. Dovrei tuttavia dare ulteriori spiegazioni: molte unità di flusso hanno una suddivisione interna, ed altre sconnessioni possono presentarsi in seguito alla coalescenza di cavità vescicolari. Così il numero degli "strati" è superiore al numero delle unità di flusso". Dal momento che gli strati non corrispondono esattamente alle unità di flusso, e sono più numerosi, la denominazione di lava a strati è forse ancora utile come termine meno specifico per scopi di descrizione generale.

La terminologia può forse essere resa più precisa usando i termini **semplice**, **composta** e **multipla** definiti da Walker (1972). Egli postulò che, quando si ha una portata di efflusso elevata, la lava tende ad allontanarsi rapidamente dalla bocca per formare una lunga colata del tipo **semplice** costituita da un'unica unità di flusso, come potrebbe essere il tipo b della Fig.1. Di contro, un efflusso di portata modesta favorisce la formazione di lava **composta**, costituita da molte unità di flusso. Tuttavia "accade a volte che l'intervallo di tempo che separa la sovrapposizione di due unità è così piccolo che non si ha un apprezzabile raffreddamento dello strato inferiore prima che questo venga ricoperto. Pertanto l'intero insieme degli strati di lava si raffredda allora come un tutto unico. Si propone dunque di applicare il termine **multipla** ad una tale struttura. Il carattere multiplo della colata e l'esistenza di componenti equivalenti alle unità di flusso è rivelato dalla distribuzione degli strati o dalle fasce di vescicole che tendono a disporsi parallelamente alle superfici che delimitano i componenti" (Walker, 1972). Questa colata di lava multipla richiama esattamente ciò che in precedenza abbiamo definito lava a strati.

L'originaria ipotesi di Ollier e Brown (1965) sulla separazione interna (shearing) può sembrare troppo semplicistica per spiegare tutte le caratteristiche della lava a strati, ma lo stesso vale per l'ipotesi delle unità di flusso. La lava a strati è un materiale complesso e probabilmente nella sua formazione sono coinvolti diversi meccanismi.

Unità di flusso individuali possono contenere tubi distinti (Fig.2) che, se svuotati, possono dare origine a cavità minori. Questo processo non può essere riportato in scala fino a spiegare le grandi cavità, perché la loro altezza supera lo spessore delle unità di flusso ed inoltre la loro giacitura è in netta discordanza con quella della lava a strati che le racchiude. Probabilmente la più importante osservazione singola che restringe l'ipotesi sulla formazione delle grotte laviche è quella che cavità cilindriche sono tagliate attraverso strati orizzontali (Fig.1 cII).

Lunghe colate e ruolo dei tubi di lava

Walker (1973) ha analizzato i fattori che influenzano la lunghezza delle colate laviche. Egli riteneva che l'effetto della viscosità influenzasse praticamente solo lo spessore di un efflusso lavico, e solo indirettamente ne influenzasse la lunghezza. L'effetto della pendenza del terreno sottostante, sebbene non trascurabile, sarebbe di scarso rilievo rispetto agli altri fattori. Egli concluse che il fattore determinante, riguardo alla lunghezza di una colata, è la portata dell'efflusso, specialmente quella che si realizza nei primissimi giorni di eruzione, e che è superiore alla portata media.

Le conclusioni di Walker sulla relazione fra tipologia e lunghezza delle colate si possono così riassumere:

- elevata portata dell'efflusso: colata lunga: colata semplice: unità di flusso singola;
- bassa portata dell'efflusso: colata corta, composta o multipla: molte unità di flusso.

Malin (1980) ha considerato la lunghezza, il volume e la portata di efflusso di 87 colate hawaiane di epoca storica, e non trovò prove sufficienti per una correlazione diretta tra lunghezza della colata e portata dell'efflusso; una relazione tra lunghezza e volume totale della lava emessa si rivelò statisticamente più indicativa. Egli sottolinea che l'area della sezione trasversale, la portata ed il volume hanno tutti un ruolo fondamentale nel regolare l'espandimento delle colate, ed asserisce che "una spiegazione per le relazioni tra i vari fattori, osservate ad Hawaii, può venire dal fatto che le colate alimentate da tubi, con superficie delle sezioni pressoché costante, avanzassero più di altri tipi di colata a parità di portata e volume".

Alcune colate molto lunghe sono formate da lave a strati, compresa quella di Undara (Queensland) della lunghezza di 160 Km. Nel Queensland ci sono altre sette colate che superano gli 80 Km, composte di lava multipla (Stephenson e Griffin, 1976). Le colate Byaduk (25 Km) e Tyrrendara (30 Km) del Victoria sono lunghe colate multiple che presentano una lieve pendenza e che a volte attraversano depressioni larghe non più di 100 m. Poiché le cavità in queste colate attraversano lave a strati, dobbiamo considerare un unico iter di raffreddamento, e quindi le colate stesse sono da ritenersi multiple. Tali colate, di grande sviluppo ma multiple, non rientrano nella precedente schematizzazione di Walker. Tuttavia Stephenson e Griffin (1976) attribuiscono le lunghe colate basaltiche del Queensland settentrionale all'elevata portata dell'efflusso, corrispondente al modello di Walker. In ogni caso, Atkinson, Griffin e Stephenson (1975) spiegano la grande lunghezza della colata di Undara con "portata di efflusso elevata, favorevole situazione topografica ed efficienza dei tubi lavici".

Come originariamente descritto da Nicholls (1936), le unità di flusso sono piuttosto brevi, semplici propaggini al margine di una colata, e la loro lunghezza non è paragonabile a quella, maggiore, delle colate. Ma "affinché la lava continui ad avanzare, deve esserci almeno un condotto che passi attraverso o sopra le unità di flusso lungo tutto il percorso, dalla bocca fino al fronte della colata" (Ollier, 1975).

La continuità del flusso è stata anche riconosciuta da Wood (1981) nella sua descrizione della formazione delle unità di flusso: "...il fronte avanza mediante la successiva protrusione di piccole lingue o dita. Ogni protrusione ha vita breve, essendo la sua avanzata arrestata dal rapido raffreddamento della sua superficie. Tuttavia prima o poi la crescente pressione interna causa la rottura della propaggine, favorendo la formazione di un'altra lingua da parte del fluido che fuoriesce. Ogni digitazione viene sepolta dalle successive, ma molte delle più vecchie devono conservare qualche flusso assiale, per alimentare quelle successive". Questo concetto di un flusso continuo, o assiale, è fondamentale per la comprensione delle grotte laviche.

Il semplice modello di Walker associa la lava multipla a colate brevi, ma noi vediamo che in realtà alcune colate molto lunghe presentano lava multipla e gallerie. In questo caso interviene nel flusso un differente meccanismo: questo deve includere la differenziazione di condotti di lava più veloce e calda all'interno del corpo principale della colata. Per le colate molto lunghe è quasi essenziale che la lava fluisca dentro un tubo, riducendo la dispersione di calore e consentendo alla lava stessa di mantenersi fluida.

Inoltre sembra che la portata di efflusso possa essere meno importante della durata e ancor di più della continuità della colata. Se un'eruzione cessa per un periodo sufficiente a fare raffreddare la lava, i tubi si bloccheranno. Un'eruzione successiva potrebbe invadere alcuni vecchi tubi, ma essenzialmente la nuova lava scorrerà su quella precedente, aumentandone lo spessore ma non la lunghezza. Se, al contrario, un equivalente volume di lava è stato emesso senza soluzione di continuità, verosimilmente si formerà un'unica colata molto lunga, con un sistema continuo di tubi funzionanti per un periodo più lungo.

Alcune considerazioni fisiche

Molti studiosi hanno suggerito che la morfologia di una colata possa essere correlata alle proprietà reologiche della lava, e forse alla sua composizione chimica. Walker (1971), ad esempio notò che in generale più era basso il contenuto di silice, maggiore risultava il numero di unità di flusso nella

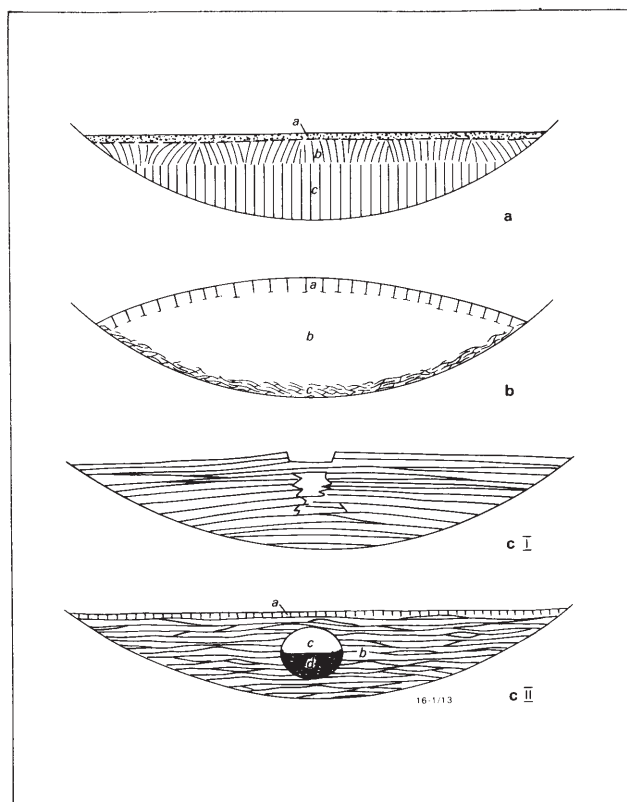


Fig.1 - Quattro tipi di sezione trasversale di colate laviche.

- 1a** - Lava ben fessurata con: "a", zona superiore scoriacea; "b", trabeazione con basalto colonnare ricurvo; "c", colonnato con basalto ad elementi verticali. Tale basalto ben stratificato si é disposto come una massa liquida profonda, successivamente raffreddatasi e separatasi in strati.
- 1b** - Singolo lobo di lava. La sommitá é spesso convessa ed ha una rozza struttura colonnare "a". La parte centrale "b" é massiccia e priva di giunti (di stratificazione). La base dell'unitá di flusso é di lava sbrecciata, spesso di colore rosso "c".
- 1cI** - Lava a strati. Un canale centrale convoglia la lava, che trabocca dai suoi argini per formare molti strati sottili. Il canale può essere ricoperto e svuotato, con formazione di cavitá.
- 1cII** - Lava a strati. La sommitá della colata "a" é di basalto rozzamente colonnare. La lava a strati "b" può strutturarsi in unitá di flusso, ma ci sono diverse possibilitá di separazione tra gli strati, cosí ci sono piú strati che unitá di flusso. Un condotto lavico maggiore, all'interno della lava a strati, ha la sezione trasversale grossolanamente circolare, di diametro molto piú grande rispetto allo spessore di un singolo strato. Il condotto é stato parzialmente svuotato a formare una cavitá "c", ma la parte piú bassa "d" contiene lava non drenata.



Fig.2 - Particolare di una sezione trasversale di lava composta (Sao Miguel, Azzorre). Un'unità di flusso ha una struttura circolare e rappresenta un canale di alimentazione che, se svuotato, avrebbe dato origine ad una cavità.

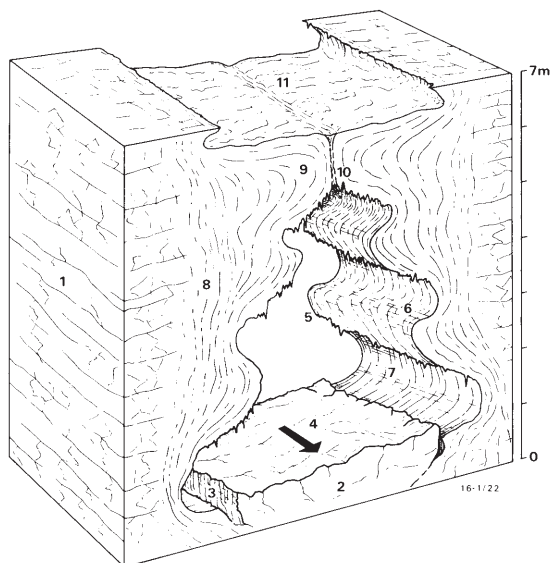


Fig.3 - Grotta associata a canali lavici (Cueva de los Verdes, Isole Canarie).

1: corpo lavico principale; 2: pavimento di lava solidificata; 3: fratture da contrazione; 4: superficie spinosa del pavimento; 5: stalattiti di rifusione; 6: solchi parietali generati da graffiature provocate dal flusso; 7: parete vetrificata e festonata; 8 e 9: cornicioni di spruzzi e trabocchi; 10: giunzione di cornicioni; 11: canale superficiale apparentemente riempito.

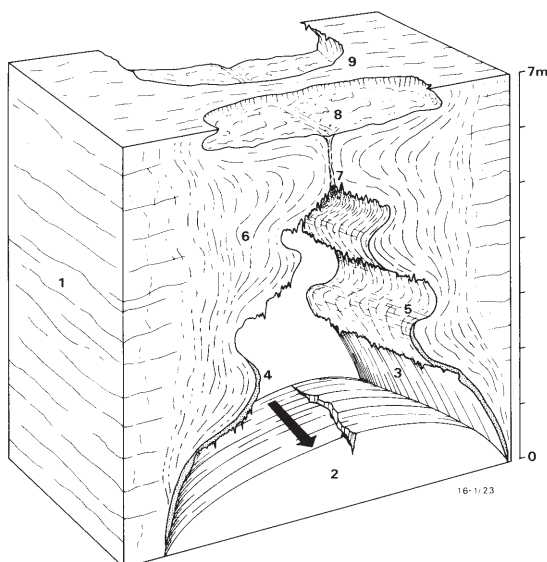
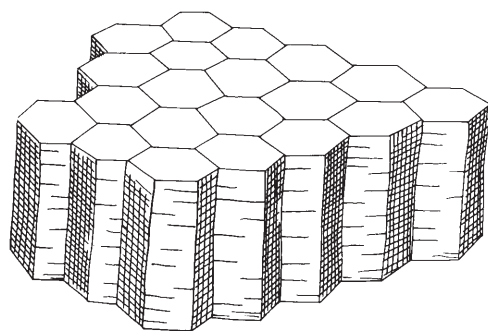
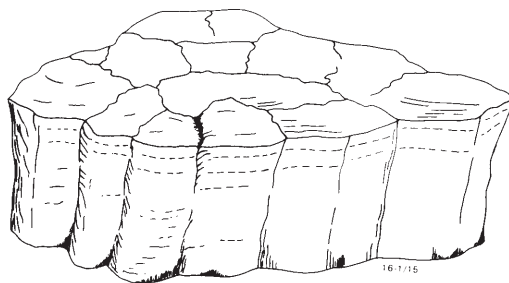


Fig.4 - Cavità associata a canale lavico (Gothic Cave, M.Eccles, Australia).

1: lava a strati; 2: riempimento del tubo con parte superiore convessa; 3: volta concava dalla quale si è separato il riempimento 2; 4: rivestimento; 5: profilo irregolare della cavità superiore; 6: lava a strati ripiegata; 7: linea di congiungimento della lava proveniente dai due lati; 8: pavimento del canale, apparentemente riempito; 9: ponte apparentemente a livello con la circostante zona lavica pianeggiante.

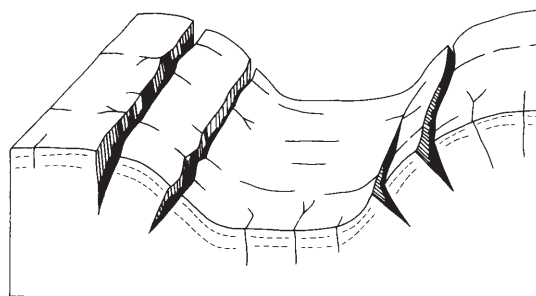
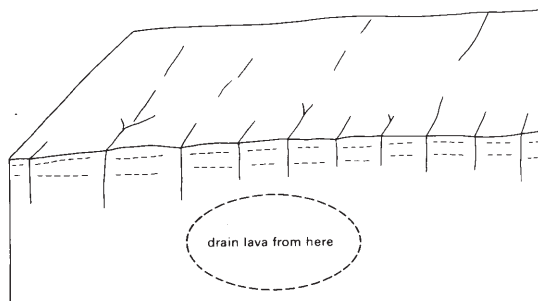


a



b

Fig.5 - Suddivisione colonnare ideale (in alto) e approssimativa (in basso).



16-1/16

Fig.6 - Formazione di un avvallamento di crollo.

colata composta che ne conseguiva. Wadge (1978) sostiene che ciò é dovuto alla maggiore produzione di tensioni in un magma piú siliceo. Ma quali sono i principi reologici coinvolti?

Al di sopra dello stato liquido una fusione di silicati si comporta come un fluido Newtoniano (un fluido semplice in cui lo stato di tensione in ogni punto é proporzionale alla durata della sollecitazione in quel punto), ma sin dalla pubblicazione del classico lavoro di Shaw et al. (1968), la lava é stata generalmente considerata come un corpo plastico alla Bingham (un fluido non Newtoniano che presenta un valore di tensione che deve essere superato prima dell'inizio del movimento).

Hulme (1974), usando una colata di caolino ed acqua dimostró sia teoricamente sia sperimentalmente che i fluidi non newtoniani, in seguito ad accumulo di tensione formano dei corpi stazionari ai margini della colata ed hanno uno spessore caratteristico per ogni valore di pendenza assegnata. Il meccanismo é abbastanza semplice: quando un fluido scorre lungo un piano inclinato, esso presenta una componente laterale della velocità. Per un fluido non newtoniano (di Bingham), quando il movimento periferico diminuisce, si finisce per raggiungere uno stadio in cui gli sforzi di taglio sul margine laterale uguagliano le tensioni di accumulo, e il movimento periferico si arresta.

Se l'ipotesi di Hulme venisse applicata alle colate laviche, potremmo aspettarci della lava stazionaria su ogni lato e della lava in movimento al centro. Il meccanismo é stato confermato in qualche modo da osservazioni di colate sul Monte Etna (Sparks, Pinkerton e Hulme, 1976). "Come Hulme predisse, si formarono due zone periferiche di lava stazionaria incandescente, denominate "argini iniziali", che determinavano l'ampiezza del canale". Gli argini iniziali sono in relazione a colate molto piccole (o unità di flusso), con dimensioni misurabili in centimetri. Gli ulteriori sviluppi portarono alla formazione di livelli di accrescimento (costruiti dall'accumulo di scorie ai lati e sulla sommità degli argini iniziali), argini di brecce (dovuti al franamento dei ripidi fronti della colata) e argini di trabocco (dove le colate ricoprono argini preesistenti).

Si deve tenere presente che la teoria di Hume ha delle limitazioni, riferendosi a colate nelle quali il raffreddamento non gioca alcun ruolo. Tuttavia essa é apparentemente accettata come meccanismo di base da Wilson e Head (1983), i quali spiegarono la morfologia delle colate secondo l'ipotesi del corpo plastico di Bingham con proprietà controllate da due parametri: l'accumulo di energia e la viscosità plastica. Gli Autori apparentemente concordano con Hulme quando scrivono "il complessivo accumulo di energia ci dice che il movimento nella lava può verificarsi solo in un canale centrale delimitato da argini stazionari".

La velocità media del flusso nel canale centrale, u_a , é ricavata dall'equazione di continuità:

$$F = u_a w_c d_c$$

dove F = portata di efflusso

w_c = larghezza del canale

d_c = profondità del canale

In altre parole la portata dell'efflusso equivale alla velocità moltiplicata per l'area della sezione trasversale del canale.

Wilson e Head asseriscono che "é evidente che il flusso dei canali lavici terrestri diminuisce quando il numero adimensionale di Gratz:

$$Gz = Fd_c / kxw_c$$

decresce da un valore inizialmente grande fino a circa 300".

Dove F = volume di lava emessa in un secondo

d_c = massimo spessore dell'argine

k = diffusività termica

x = distanza percorsa dalla bocca

w_c = larghezza del canale centrale

Ciò implica che il flusso persista con regolarità all'interno del canale centrale finché la colata non si esaurisca. Tuttavia, in una parte successiva del loro lavoro, Wilson e Head scrivono "in alcuni casi la superficie superiore di una colata diventa rigida molto prima della parte interna, e il movimento ha luogo in una zona interna (cioè in un tubo termicamente isolato) della colata stessa", anticipando così la più complessa reologia dei tubi lavici. Riguardo la lunghezza della colata, Wadge (1978) scrive "il flusso cesserà quando le croste raffreddate raggiungeranno un certo spessore critico", da cui conclude che

$$\text{distanza di flusso} = \frac{\text{portata dell'efflusso}}{\text{superficie sezione trasversale}} \times \text{tempo per raffreddam.critico}$$

Ma il flusso della lava, in tubi protetti da una crosta, riduce di molto la perdita di calore e prolunga il flusso stesso.

Swanson (1973) fece notare che la lava all'interno dei tubi fluisce in pratica isotermicamente, raffreddandosi nella misura di circa 1 C/Km.

Malin (1980) suggerisce che tali colate alimentate da tubi, se penalizzate solo dal raffreddamento, possono raggiungere lunghezze di 200 Km, il che costituisce un valore ragionevolmente prossimo ai 160 Km della colata di Undara, Queensland.

CAVITÀ E TOPOGRAFIA

Cavitá associate a canali di lava

La Fig.3 illustra una sezione trasversale della Cueva de los Verdes nelle isole Canarie (Bravo, 1964), utilizzata anche come schema per una grotta di Hawaii (Wood, 1981). La Fig.4 é basata su queste, ma é modificata per illustrare la Gothic Cave del Monte Eccles, Australia. La differenza principale consiste nel fatto che, dove si é formato un ricoprimento, alcune superfici al di sopra della grotta sono a livello col terreno circostante, ed in secondo luogo il pavimento della grotta sembra essere la parte superiore del "normale" riempimento di un tubo. Un'altra differenza rispetto alle "normali" grotte laviche subcrostali é la stratificazione parallela ma contorta.

Sembra adesso che la Gothic Cave sia un esempio abbastanza tipico di cavitá associata a canali lavici. Essa é l'unico notevole esempio di questo tipo in Australia, sebbene Joyce (1976) abbia descritto alcune piccole cavitá sul Monte Napier, associate a brevi canali lavici.

Testimonianze superficiali del drenaggio sub-crostante della lava.

La topografia della superficie al di sopra delle colate laviche é normalmente indicativa dei cambiamenti idrostatici del flusso sottostante, generalmente dovuti al drenaggio (svuotamento), ma anche a volte ai movimenti della lava.

Molte colate danno luogo a lave rozzamente colonnari nella parte sommitale (Fig.5) e l'inarcamento di questa "pelle" a blocchi genera diverse caratteristiche differenti

La più semplice é dovuta allo svuotamento di una galleria subcrostale che provoca un collasso allungato, una depressione lineare delimitata lateralmente da blocchi separati in modo evidente (Fig.6).

Alternativamente può esserci un sollevamento lineare con la separazione sulla parte sommitale di blocchi inizialmente uniti (fig.7). Presumibilmente o esisteva un canale subcrostale che é stato ingrandito da un aumento nell'apporto di lava, oppure la cresta é delimitata da due depressioni lineari.

Alcune colate danno l'impressione di un movimento subcrostale della massa di lava come un tutto unico piuttosto che di canali ben definiti. La Fig.8a mostra una caratteristica colata leggermente convessa, con crosta; la parte centrale quindi si incava, formando creste laterali (Figg.8b, 9). Effetti simili possono dare origine ad una cresta terminale (Figg.8c, 8d). L'impressione che spesso si ha sul terreno é che la disposizione finale del filone lavico, quando non viene addotta un'ulteriore quantità di lava, sia caratterizzata da una lenta diffusione e da cedimenti.

Altrove nel Victoria, gli "stony rises" (equivalenti dei malpais in altri paesi) possono essere formati dallo svuotamento di molti canali subcrostali ramificati, lasciando molte piccole aree piatte alla stessa quota (Fig.8e).

In una valle affluente, occupata da una parte della colata di Byaduk, sembrano esservi abbassamenti generalizzati della superficie lavica con sollevamenti localizzati a formare i cosiddetti blister di Wallacedale (Ollier, 1964). Questi presentano varietà di forme (Figg.10, 11) ma mostrano una chiara differenziazione tra la crosta solida e la lava sottostante ancora plastica.

La più chiara indicazione di un esteso flusso subcrostale é fornita da barriere trasversali, come la Grande Barriera del Victoria (Figg.13, 14). Si era formata una crosta, con rozze giunzioni verticali, che era stata poi trascinata dal flusso subcrostale fino a formare una piega trasversale. Il flusso differenziato trascinó il centro più dei lati, cosí la Barriera risulta adesso convessa verso valle. Lungo tutta la cresta corre una frattura profonda 7 m ed una buca profonda 15 m si trova dietro la barriera (Skeats e James, 1937). Poiché la Grande Barriera é lunga 450 m essa é in relazione al notevole flusso di una grande massa sottostante, e non semplicemente allo svuotamento di pochi tubi lavici convenzionali. La situazione suggerisce una suddivisione della lava multipla che sta al disotto.

La posizione della barriera é interessante anche perché essa giace dove un ampio ripiano lavico interseca la colata Byaduk in un punto in cui essa si restringe. Dove il percorso si restringe si avrà un rapido incremento della velocità, grazie all'equazione di continuità, all'aumento dei movimenti differenziati e delle separazioni.

Questa massa di prove suggerisce nel complesso che molte colate erano formate da lava multipla con un unico processo di raffreddamento. Si era formata una crosta che ha caratteristiche giunzioni ed al di sotto di questa la lava calda e liquida é trasportata nei tubi. A volte i tubi lavici sono svuotati e la crosta collassa formando distinte morfologie superficiali di appropriate dimensioni, e capita che l'intera lava subcrostale sembri aver preso forma mediante separazione e scorrimento.

Caratteristiche delle cavità in relazione al flusso subcrostale

Superfici piane al di sopra delle cavità

In molti esempi le grotte si trovano sotto una superficie essenzialmente piatta (Fig.1cII), senza convessità, argini o rocce accatastate. Questa situazione si presenta sia per le colate in ampie incisioni vallive sia sulle pendici dei vulcani. E' notevole che la maggior parte delle gallerie che si sviluppano in seno a colate dal ricoprimento piatto hanno sezioni trasversali circolari o arcuate. La lava a strati associata é parallela alla copertura

piatta, non concentrica con i tubi.

I canali di lava presentano degli argini e i blocchi trasportati che li ricoprono sono piuttosto irregolari: queste caratteristiche rendono piuttosto improbabile il ricoprimento per cavità sottostanti a colate dalla superficie pianeggiante.

Cavità ortogonali ai canali lavici

Sul M. Eccles, (Victoria), esiste un classico canale di lava lungo diversi chilometri. La Tunnel Cave sul M. Eccles sotto molti aspetti é una tipica grotta lavica con una sezione trasversale semi-circolare e una altezza considerevolmente maggiore dello spessore degli strati della lava circostante. L'ingresso di questa galleria (priva di altre uscite) si trova nel canale lavico e canale stesso e cavità formano un angolo quasi retto. La galleria si presenta in discesa allontanandosi dal canale. Non c'è segno di canali di distribuzione al di sopra della cavità. Greeley (1970) ha descritto una cavità simile ma più piccola in California (Fig.15) formatasi all'interno di un'unico flusso. Probabilmente, per una grotta delle dimensioni della Tunnel Cave, interviene un meccanismo più elaborato.

Terminazioni cuneiformi verso valle

Mi riferisco a cavità che terminano dove la volta si abbassa dolcemente fino a congiungersi al pavimento ancora piano. Per l'ipotesi dello svuotamento, la colata ha in principio una pendenza più forte, determinata dalla viscosità iniziale o dalla portata di efflusso. La crosta si forma in questo stadio, con un condotto lavico pieno parallelo alla superficie. Quando il tubo é svuotato la superficie trova una pendenza minore a causa della più bassa viscosità o più probabilmente perché la portata di efflusso si riduce a zero.

Sembra piuttosto difficile che la ricopertura di un canale avvenga con un angolo più pronunciato di quello della superficie della lava.

Saldatura tra volta e pavimento

In molte cavità la volta e il pavimento si collegano così bene che é evidente che la lava che prima riempiva completamente il tubo si é ritirata molto lentamente, formando un pavimento convesso. Questo semplicemente per la teoria dello svuotamento. Partendo da un canale di lava aperto é necessario che si formi la copertura del canale stesso, venga eroso il tetto fino a incurvarlo, e quindi vi sia un parziale drenaggio. Le due ipotesi convergono.

Terminazione a bulbo delle cavità

Alcune grotte terminano con una sala a forma globulare relativamente alta e larga. Qualcuna presenta un pavimento leggermente convesso, altre hanno una struttura ad alveare, con pavimento piano. La morfologia può essere influenzata da variazioni della pressione idrostatica. Nell'estremità a monte, una terminazione globulare é stata originata da pressione da sotto poiché non poteva provenire da dietro.

Per la teoria del ricoprimento le sale possono essere spiegate con un ricoprimento irregolare, ma le terminazioni osservate sembrano troppo regolari. Spiegazioni e interrogativi simili sono dati da terminazioni a bulbo che si trovano all'estremità a valle.

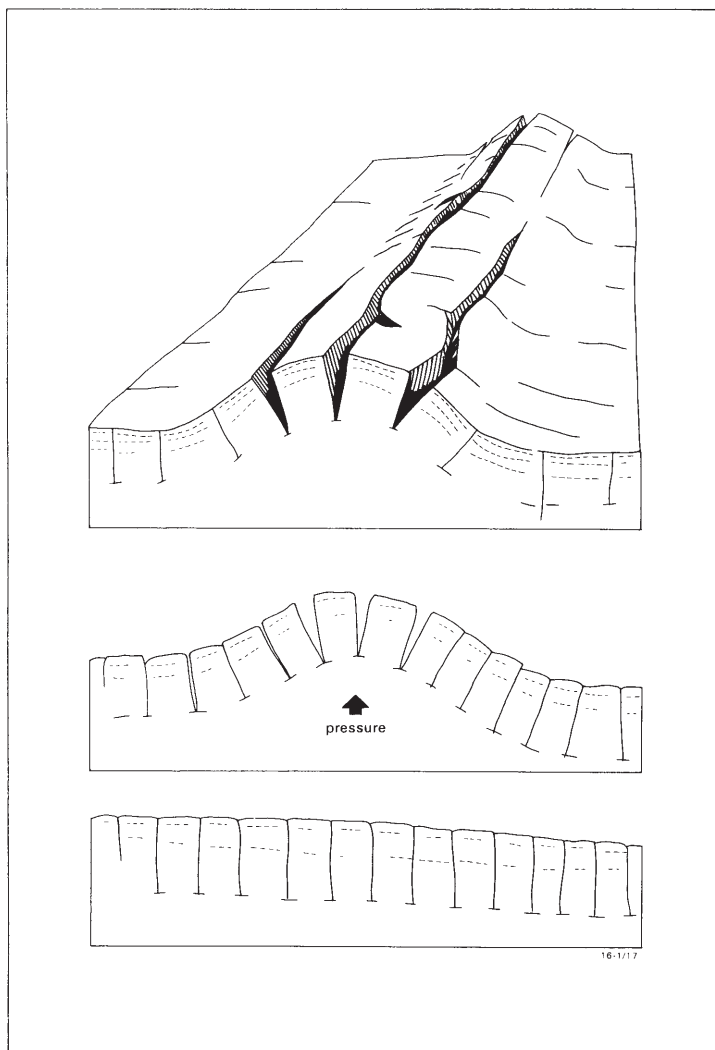


Fig.7 - Formazione di un crinale lungo una crosta lavica.

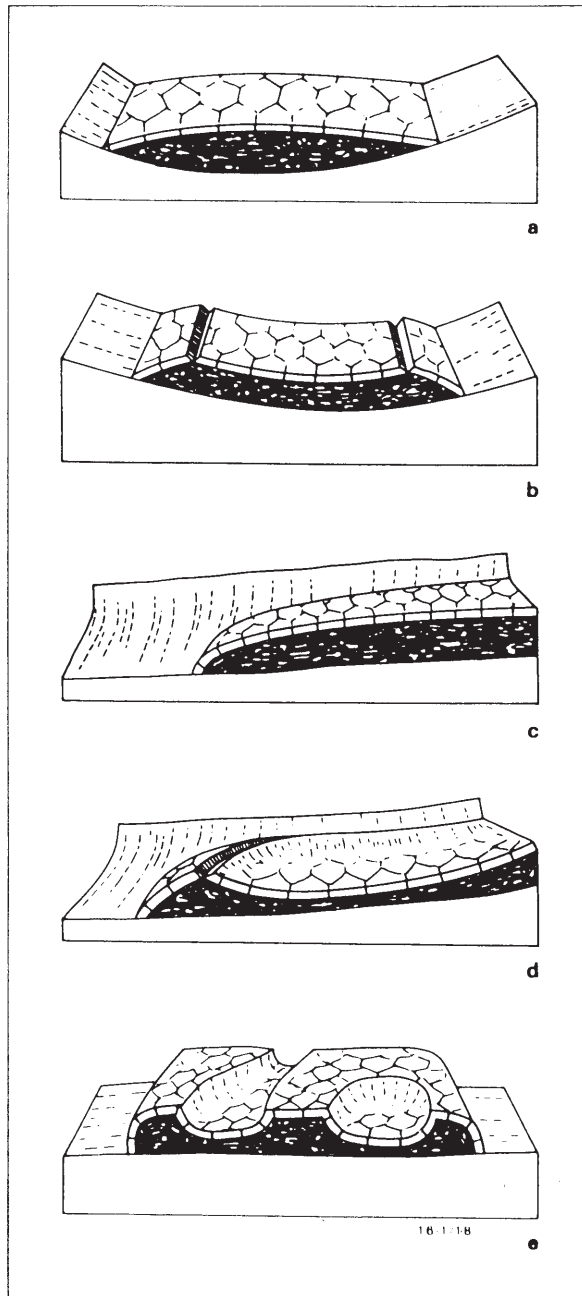


Fig.8 - a. Superficie piana o convessa semplice in una colata valliva.
 b. Creste laterali formate dal cedimento di un flusso semplice, conseguente allo svuotamento subcrostale.
 c. Digitazione sul fronte della colata.
 d. Cresta terminale formata dal cedimento a ridosso della digitazione ed intrusione all'interno della sua estremità.
 e. Emergenze litiche dovuti a collasso di una estesa colata lavica, alcune delle quali rimangono alla quota iniziale.



Fig.9 - Cresta laterale, colata Byaduk.

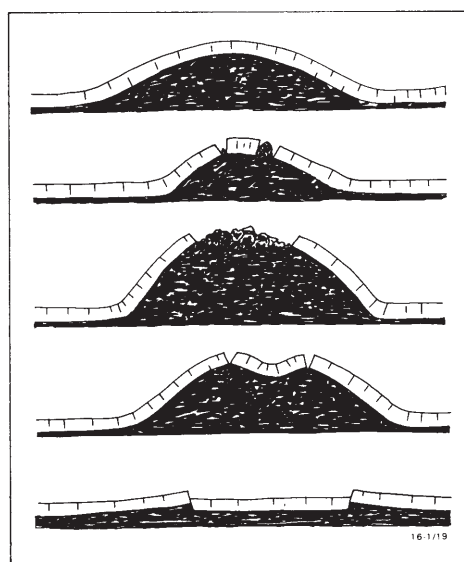


Fig.10 -
Serie di variazioni dei blister lavici a Wallacedale, Victoria. Dall'alto in basso: semplice blister; blister fratturato con esili estrusioni di lava; blister completamente collassato e rigonfiamento centrale di lava vescicolare; blister con sommità incavata ed orli fratturati; lastra circolare di crosta lavica fratturata marginalmente e collassata.



Fig.11 - Crosta superficiale in un blister (Wallacedale).

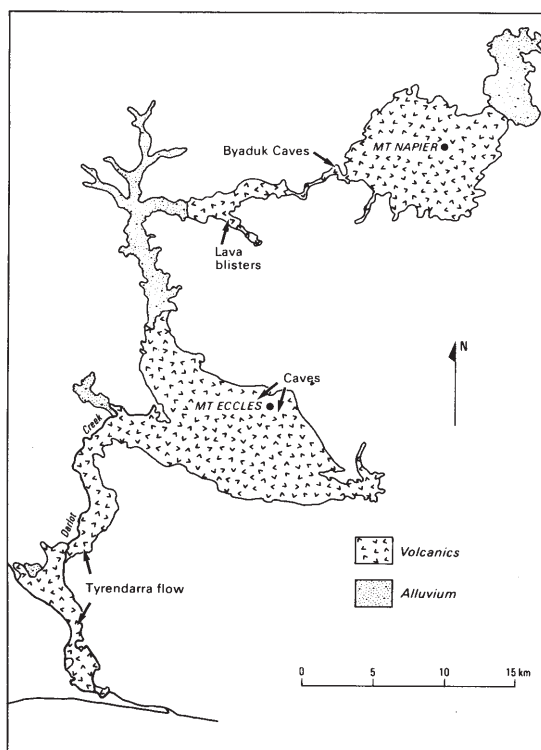


Fig.12 -
Posizione del Monte Eccles
e del Monte Napier.

16-1/20

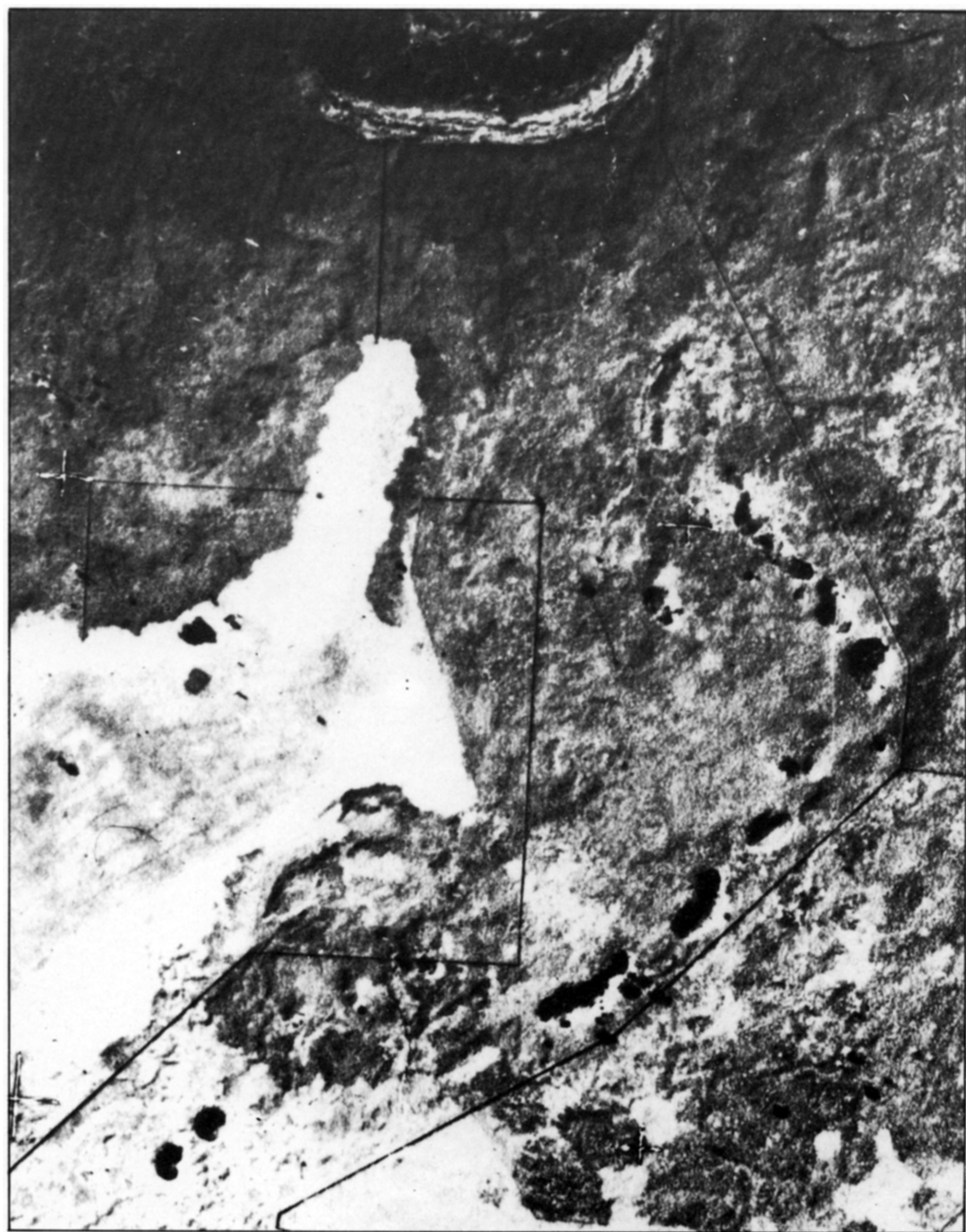


Fig.13 - Foto aerea della Grotta Byaduk e della Grande Barriera.

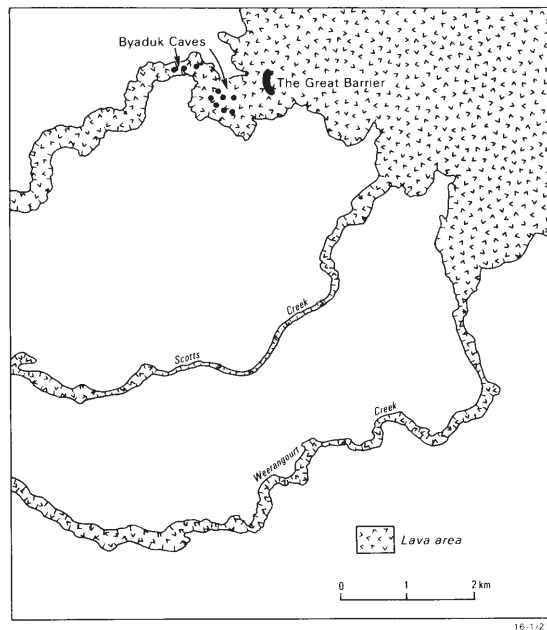


Fig.14 - Carta della parte sudoccidentale del Monte Napier mostrante l'inizio della colata Byaduk, la Grotta Byaduk e la Grande Barriera. Notare le altre lunghe e sottili colate.

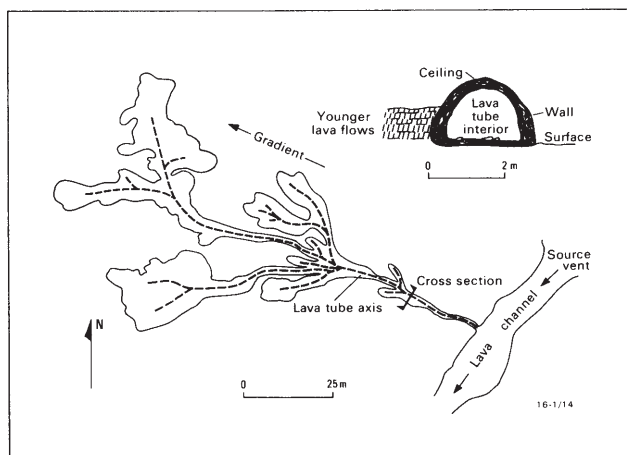


Fig.15 - Schema di un sistema minore di tubi lavici ad angolo retto col canale alimentatore, California (Greeley, 1970).

Cavitá "a salsiccia"

Questo nome é attribuito a quelle cavitá che presentano alternativamente sezioni ampie e strette. Per l'ipotesi dello svuotamento le irregolaritá possono essere attribuite a variazioni nella pressione idrostatica, seguite dal drenaggio. Per l'ipotesi del ricoprimento queste cavitá dovrebbero essere state in origine canali con sezioni alternativamente strette e larghe, che successivamente si sarebbero ricoperti. Un tale flusso sarebbe stato veloce nelle sezioni ristrette e piú lento in quelle larghe. La crosta potrebbe formarsi su quella lava che si muove piú lentamente ed alcuni pezzi potrebbero rimanere intrappolati nelle parti piú strette. Tuttavia le volte delle cavitá sembrano essere perfettamente incurvate, non ammassate disordinatamente, e la forma a salsiccia é presente sia nella sezione longitudinale sia in pianta.

Cavitá deformate

Alcune cavitá, che si presume fossero originariamente circolari o semi-circolari, hanno sezioni trasversali asimmetriche. I tubi potrebbero essere stati recisi quando ancora pieni di lava, oppure (meno probabilmente) dopo che sono stati svuotati. Ciò indicherebbe che la lava circostante, sebbene piú solida di quella contenuta nel tubo, era sufficientemente plastica da venire deformata su larga scala. Nelle vicinanze delle cavitá deformate ci sono tracce di trascinamento sulla superficie della colata, indicanti che la suddivisione era avvenuta effettivamente al di sotto della crosta.

Conclusioni

Due differenti tipi di colate sono comunemente messe in relazione con le gallerie di scorrimento: quelle con un canale centrale e quelle che scorrono al di sotto di una crosta continua. I due tipi di cavitá hanno sia forma che origine differenti.

Molti studi sulla meccanica dei fluidi relativa alle colate laviche sono riferiti al tipo a canale centrale, ma alcuni modelli si avvicinano a quelli a flusso laminare controllato dalla temperatura necessaria a produrre flusso lavico subcrostale e grotte laviche. Il problema della genesi delle grotte laviche é strettamente connesso alla questione della formazione della lava a strati e dell'origine di colate laviche molto lunghe.

Nella formazione delle cavitá laviche subcrostali sembrano essenziali i seguenti parametri:

1. La lava a bassa viscositá é emessa con portate elevate.
2. La colata avanza con molte unitá di flusso, in parte separate da successioni di vescicole, piani di taglio o altre divisioni (lava composta). Quando le unitá di flusso si sovrappongono molto velocemente senza un significativo raffreddamento, l'intera struttura (lava multipla) si comporta come un'unica unitá di raffreddamento. Ciò conduce alla formazione di lava a strati con una crosta distinta. Singole unitá di flusso possono contenere piccoli tubi di flusso concentrato assiale.
3. Per permettere l'erogazione continuata di lava al fronte avanzante, deve svilupparsi qualcosa come un condotto continuo, e lungo certe direttrici, che in un primo momento erano semplici canali di alimentazione all'interno delle unitá di flusso, viene mantenuto un flusso assiale. Probabilmente all'inizio si forma un sistema di flussi intrecciati, ma con ulteriori sviluppi pochi tubi maggiori convogliano la lava, dal momento che ciò procura un sistema termico piú efficiente con minore superficie disperdente.
4. Il filo della corrente di lava é una continua sorgente di calore ed il tubo é allargato dall'erosione termica.
5. Alla fine i tubi sono gradualmente svuotati fino a formare una cavitá. Trascinamenti e collassi possono verificarsi nella parte piú rigida della

crosta della colata.

Anche nelle cavità formate dal ricoprimento dei canali, alcuni dei punti precedenti sono in qualche misura importanti. Nell'essenza questo schema é molto simile ad altre ipotesi sulla formazione delle grotte laviche, incluse quelle di Ollier e Brown (1965), Greeley (1971), Hatheway (1971), Wood (1974), Peterson e Swanson (1974).

I tubi lavici sono probabilmente essenziali per la formazione di colate laviche molto lunghe. Le grotte laviche forniscono visioni dirette, dall'interno, sul meccanismo delle colate, ed é nell'ulteriore elaborazione dei particolari e l'affinamento dei meccanismi che la vulcanospeleologia può aiutare il progresso della scienza.

BIBLIOGRAFIA

- ATKINSON, A., T.J. GRIFFIN and P.J. STEPHENSON, 1975. A major lava tube system from Undara Volcano, North Queensland. Bull. Volcan., 39, 1-28.
- BRAVO, T., 1964. El volcan y el malpais de la Corona. La Cueva de los Verdes y los Jameos. Publ. del Cabildo Insular de Lanzarore, Arrecife, 5-31.
- GREELEY, R., 1970. Geology and morphology of selected lava tubes in the vicinity of Bend, Oregon. NASA Report, 1-51.
- GREELEY, R., 1971a. Observations of actively forming lava tubes and associated structures, Hawaii. Modern Geology, 2, 207-223.
- GREELEY, R., 1971b. Lava tubes and channels in the Lunar Marius Hills. "The Moon", 3, 289-314.
- HARRISON, C.G.A. and C. ROTH, 1976. The dynamics of flowing lavas. in "Volcanoes and Tectonosphere", eds. Hitoshi Aoki and Summu Tizuka. Tokai University Press, Tokyo.
- HATHEWAY, A., 1971. Lava tubes and collapse depressions. Ph.D. thesis, Univ. Arizona.
- HATHEWAY, A.W., 1976. Lava tube formation - the makings of a controversy. Proc. Int. Symposium on Vulcanospeleology and its Extraterrestrial Applications, Seattle, U.S.A., pp. 11-18.
- HATHEWAY, A.W. and A.K. HERRRING, 1970. Bandera lava tubes of New Mexico, and Lunar implications. "Comm. Lunar and Planetary Lab. Uni. Arizona", 8, 299-327.
- HULME, G., 1974. Interpretation of lava flow morphometry. Roy. Astron. Soc. Geophys. J., 39, 361-383.
- JOYCE, E.G., 1976. Lava channels and associated caves in Victoria, Australia. Proc. Int. Symposium on Vulcanospeleology and its extraterrestrial Applications, Seattle, U.S.A., pp.51-57.
- LUTTON, R.J., F.E. GIRUCKY, and R.W. HUNT, 1967. Project Pre-Schooner; geologic and engineering properties investigation. US Army Corps of Engineers, Final Rept. PNE 505F (AD 657-638).
- MALIN, M.C., 1980. Lengths of hawaiian lava flows. Geology, 8, 306-308.
- NICHOLS, R.L., 1936. Flow units in basalt. J. Geol. 44, 617-630.
- OLLIER, C.D., 1964. Tumuli and lava blisters of Victoria, Australia. Nature, 202, 1284-1286.
- OLLIER, C.D., 1977. Lava caves, lava channels and layered lava. Seminario sulle Grotte Laviche, Catania 1975, 149-158.

- OLLIER, C.D. and M.C. BROWN, 1965. Lava caves of Victoria. Bull. Volc., 28, 215-229.
- PETERSON, D.W. and D.A. SWANSON, 1974. Observed formation of lava tubes. Studies in Speleology, 2, 209-222.
- SHAW, H.R., T.L. WRIGHT, D.L. PECK, and R. OKAMURA, 1968. The viscosity of basaltic magma: an analysis of field measurements in Makaopuhi lava Lake, Hawaii. Amer. J. Sci., 266, 225-264.
- SKEATS, E.W. and A.V.G. JAMES, 1937. Basaltic barriers and other surface features of the Newer Basalts of Western Victoria. Proc. Roy. Soc. Victoria, 49, 245-278.
- SPARKS, R.S.J., H. PINKERTON, and G. HULME, 1976. Classification and formation of lava levees on Mount Etna, Sicily. Geology, 4, 269-271.
- STEPHENSON, P.J., and T.J. GRIFFIN, 1976. Some long basaltic lava flows in North Queensland. in Volcanism in Australasia, ed. R.W. Johnson. Elsevier, 41-51.
- SWANSON, D.A., 1973. Pahoehoe flows from the 1969-1971 Mauna Ulu eruption, Kilauea Volcano, Hawaii. Bull. Geol. Soc. Am., 84, 615-26.
- WADGE, G., 1978. Effusion rate and the shape of a lava flow field on Mount Etna. Geology, 6, 503-506.
- WALKER, G.P.L., 1972. Compound and simple lava flows and flood basalts. Bull. Volcan., 35, 579-590.
- WALKER, G.P.L., 1973. Lengths of lava flows. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.274, 107-118.
- WILSON, L., and J.W. HEAD, 1983. A comparison of volcanic eruption processes on Earth, Moon, Mars, Io and Venus. Nature, 302, 663-669.
- WOOD, C., 1974. The genesis and classification of lava tube caves. Trans. British Cave Res. Assn., 1, 15-28.
- WOOD, C., 1981. Caves of glass. Privately published broadsheet.

NOTIZIE STATISTICHE SULL'ERUZIONE ETNEA DEL 1983

R. ROMANO - Istituto Internazionale di Vulcanologia C.N.R., Catania

Riassunto

L'Autore illustra, con l'ausilio di grafici, tabelle comparative e mappe topografiche, alcune caratteristiche dell'eruzione etnea che dal 28 marzo al 6 agosto 1983 ha interessato il versante sud del Vulcano.

L'attività esplosiva attraverso il Cratere Centrale, che ha accompagnato tutta l'eruzione, la bocca di degassazione apertasi a quota 2700 m., la quota della bocca effusiva (2200 m.), la durata (132 giorni), la portata (5-10 mc/sec) ed il quantitativo di lava emesso (ca. 120 milioni di mc), fanno classificare l'eruzione come "eruzione lenta subterminale", in contrapposizione ad eruzioni di tipo parossistico come - in tempi recenti - l'eruzione 1981 che ha avuto una portata media di ben 50 mc/sec.

Le lave emesse in questa eruzione, tefriti fonolitiche, non si discostano da quelle emesse in altre eruzioni recenti, né si sono avute apprezzabili variazioni della composizione chimica delle lave emesse nel corso dell'eruzione.

Per la prima volta nell'83 è stato realizzato un tentativo di deviazione della colata con esplosivi e sono stati innalzati argini per proteggere manufatti ed aree agricole dal flusso lavico; inoltre è stata realizzata e resa funzionante una sala operativa con compiti di protezione civile.

I vari dati rilevati dallo studio di questa eruzione vengono messi a raffronto con analoghi dati disponibili per altre eruzioni recenti e con quelli dell'eruzione del 1669.

Summary

The Author displays some characteristics of the 1983 eruption at Mt. Etna volcano, lasted from March 28 through August 6 on its south side, and shows graphs, comparative plates and survey maps.

The eruption is classified as a "subterminal slow eruption" (in comparison with "paroxysmic eruptions", such as the recent 1981 flow, characterized by an average lava discharge of 50 cbm/sec.), thanks to the explosive activity performed by the Central Crater throughout its entire duration, to its degassing vent at 2700 m. height asl, to the location of its effusive vent (2200 m. asl), to its duration (132 days), to its rate of discharge (5-10 cbm/sec.) and to the total discharge (abt. 120 millions cbm.).

This eruption produced phonolitic tephrites, similar to lava produced during other recent eruptions, and their chemical composition remained substantially unchanged throughout the duration of the effusion.

For the first time in 1983 a flow diversion was performed by means of explosives and levees were built up, to preserve artifacts and agricultural areas from the approaching flow. In addition, a coordination unit operated during the eruption, with civil protection assignments.

The different data supplied by this eruption are then compared with similar available data of other recent eruptions and of the historic one of 1669.

N.d.R.

Non essendo pervenuto agli organizzatori il testo scritto della comunicazione, la stessa non viene inclusa negli Atti; la registrazione della stessa rimane tuttavia a disposizione degli interessati, per l'ascolto, presso la sede del Centro Speleologico Etneo.

SULLA FORMAZIONE DELLE GROTTA LAVICHE

T. OGAWA - Japanese Speleological Society, Tokio, Japan

Riassunto

Quando si forma una grotta lavica, innanzi tutto si formano cavità piatte, una dietro l'altra, sotto l'azione dei gas, ed il fondo della cavità - cioè il pavimento - si muove con la minima resistenza, sprofondando.

Quando osserviamo le striature di lava, che rappresentano la traccia di pavimenti di cavità, possiamo identificare il primo pavimento della cavità stessa. Le cavità sono collegate tra loro, e in tal maniera esse formano enormi gallerie.

Summary

When a lava cave is made, first of all, flat cavities are formed by gas one after another, and the bottom of the cavities, which is the floor, moves on with the least resistance. So the floor itself sinks.

When we survey the lava ledge that leaves traces of cavity floor, we can find the first floor level of cavity. The cavities are connected, and thus they form an enormous cave (Fig.23).

Introduzione

E' stato detto che la grotta del gruppo "C" (lava del 1974) del Mauna Ulu si sia formata per drenaggio della lava fluida. Ma all'interno di essa si osserva una cavità appiattita, collegata alla galleria principale, che durante l'eruzione non poteva essere osservata dall'esterno, né era possibile stabilire se la superficie del suo flusso interno era ferma o in movimento.

Ebbene io ora intendo esporre il mio punto di vista sulla formazione delle gallerie, sulla scorta delle strutture visibili all'interno di tali cavità.

Discussione

Innanzitutto, le cavità all'interno delle colate vengono formate dai gas; successivamente tali cavità si collegano l'una con l'altra, diventando sempre più lunghe.

Quando due cavità si congiungono, il gas passa liberamente dall'una

all'altra. Gli esempi sono forniti dalle seguenti grotte:

- a) Rivestimenti simili a piccole onde segnano le mensole laterali nella Man Jung Kul (Isola di Cheju, Corea - Fig.1) e nella Crystal Cave (California, U.S.A. - Fig.2);
- b) Lunghe file parallele di piccole stalattiti sulla volta della cavità, come nella Handul Kul (Isola di Cheju, Corea - Fig.3) e nella Valentine Cave (California, U.S.A. - Fig.4);
- c) Stalattiti incurvate dal movimento dei gas nella Inusuzumiyama Fuketsu n.1 (M.Fuji, Giappone - Fig.5) e nella Marchin Cave (Hawaii, U.S.A. - Fig.6);
- d) Le stalattiti a forma di grappolo sono dovute all'azione dei gas che hanno disperso particelle di lava allo stato di spray, successivamente depositate l'una sull'altra, a grappolo. Tale fenomeno può essere considerato una riprova del ruolo dei gas nella formazione delle cavità: Motosu Fuketsu, Karumizu Fuketsu (M.Fuji, Giappone);
- e) Le lamine sono incurvate verso l'alto dall'azione dei gas, e talvolta vengono anche spezzate (Fig.7): esse hanno lo stesso aspetto di un " fascio di dicchi" (*). Ice Rink Cave (Washington, U.S.A.), Dynamited Cave (Washington, U.S.A. - Fig.8), Zinza Fuketsu n.1 (M.Fuji, Giappone - Fig.9);
- f) Nelle cavità site a debole profondità si hanno dei vuoti sotto le protuberanze della superficie esterna, che è spinta verso l'alto dal gas; ed all'interno di queste non si trova traccia di flusso sul pavimento. Megane-Ana (Fig.10) e Kamaboko Ana (Fig.11), M.Fuji, Giappone;
- g) Quando, all'interno della cavità, si ha un incremento nella pressione dei gas, questo può raggiungere la superficie esterna, soffiando fuori la lava. La lava costruisce in tal modo i "buchi soffianti", rilievi simili ai coni di scorie (**): Motosu Fuketsu n.1 (Giappone, Fig.12).

In conclusione, la teoria secondo la quale le cavità si formano per drenaggio della colata è errata: anche se ciò avvenisse, nuova lava andrebbe certamente ad occupare lo spazio lasciato libero dal drenaggio, riempiendo la cavità vacante. Si può avere un fenomeno di drenaggio su distanze rilevanti come gli 11,7 chilometri della Kazumura Cave (Hawaii, U.S.A.)? (Fig.13). Nel caso della Kazumura Cave il dislivello tra i due estremi della cavità è di 250 m. Anche nella Man Jang Kul (Corea, 8.928 m.) la differenza di quota sul livello del mare tra i due estremi del suo segmento inferiore (5.164 m.) è di soli 65 m. (Fig.14).

- 1) Nella Button Spring Cave (Oregon, U.S.A. - Fig.15) la superficie esterna è inclinata in direzione opposta a quella della pendenza della grotta.
- 2) Nella Bilemot Kul (Isola di Cheju, Corea) un tubo a sezione rotonda comunica con un tubo sottostante attraverso un "buco soffiante" sito nel pavimento (Fig.16).
- 3) I pozzi della Dynamited Cave (Washington, U.S.A. - Fig.17) si immergono verticalmente.
- 4) Nella Zinza Fuketsu n.1 è possibile individuare il punto d'incontro di due differenti gallerie attraverso l'esame della sezione verticale ricavata dal rilevamento topografico (Fig.18).

(*) Nella stesura originale viene usato il termine "plug", tappo, che il Dictionary of the American Language di Webster definisce anche come: "plug" (termine geologico) = formazione estrusiva formata da una lava che affiora in superficie (cioè qualcosa di simile a un dicco) (n.d.t.).

(**) L'Autore si riferisce agli "hornitos", ripidi conetti di scorie saldate, frequenti nelle eruzioni con lave fluide e già sufficientemente degassate (n.d.t.).



Fig.1 - MAN JANG KUL (Isola di Cheju, Corea): impronte di onde pietrificate.



Fig.2 - CRYSTAL CAVE (California, U.S.A.): dettagli morfologici simili a piccole onde pietrificate.

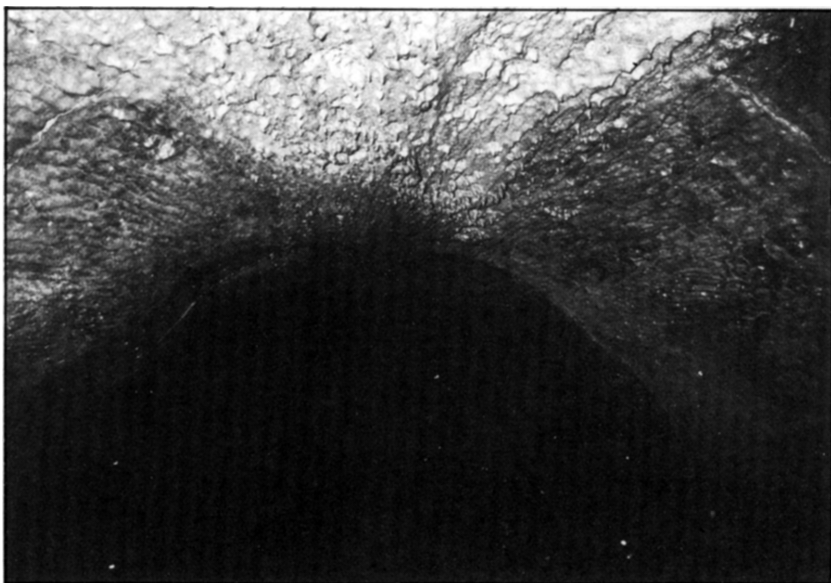


Fig.3 - HANDUL KUL (Isola di Cheju, Corea): fasci di "gocciolatoi" paralleli.



Fig.4 - VALENTINE CAVE (California, U.S.A.): fasci di "gocciolatoi" paralleli.

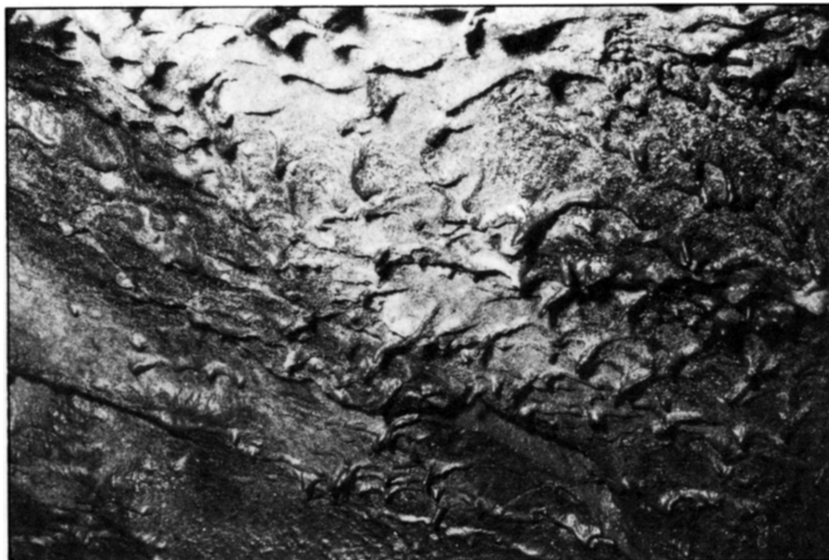


Fig.5 - INUSUZUMIYAMA FUKETSU n.1 (M.Fuji, Giappone): stalattiti incurvate.

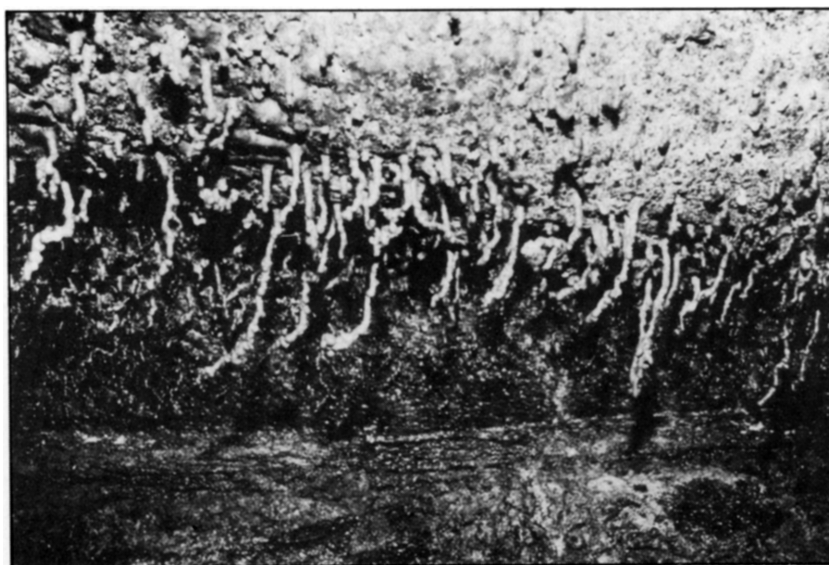


Fig.6 - MARCHIN CAVE (Hawaii, U.S.A.): stalattiti incurvate dai gas.

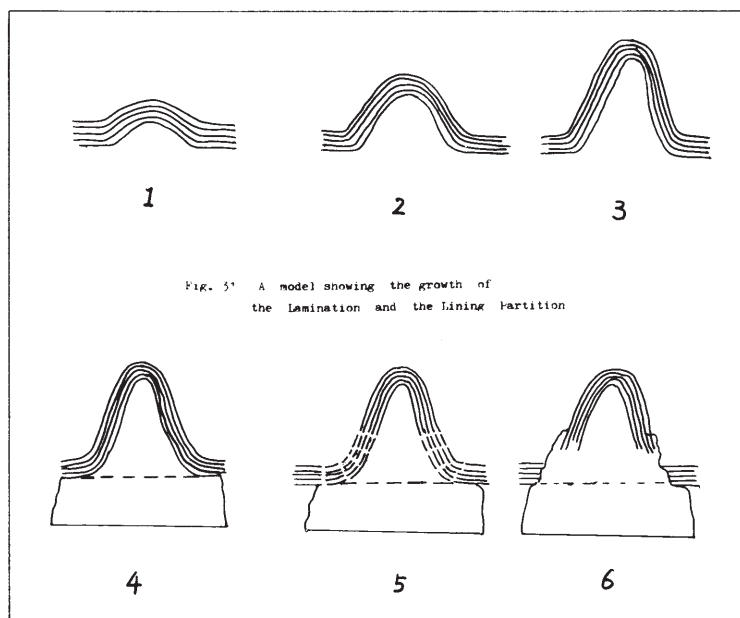


Fig.7 - Le "lamine" sono sollevate dai gas.



Fig.8 - DYNAMITED CAVE (Washington, U.S.A.): l'intrusione (vedi
n.d.t. nel testo)

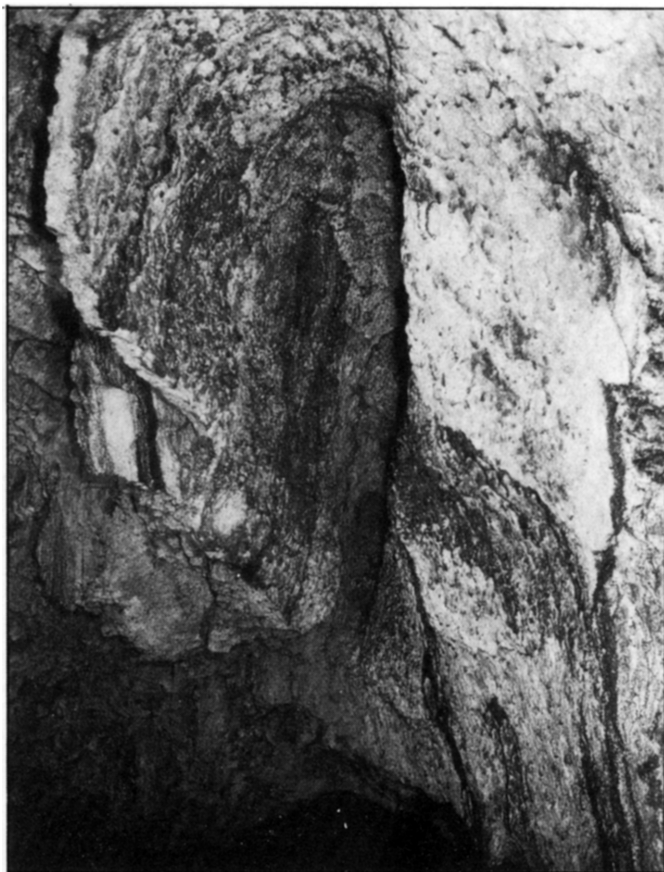


Fig.9 - ZINZA FUKETSU (M.Fuji, Giappone): l'intrusione.

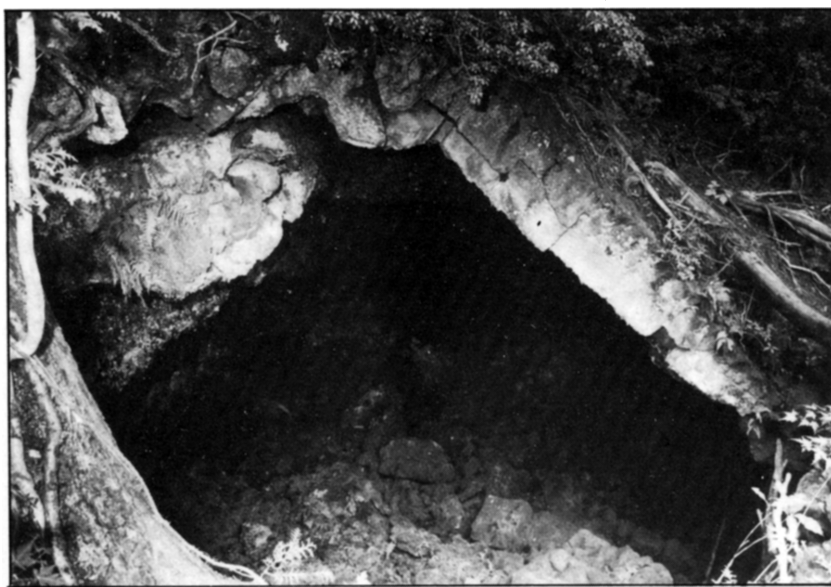


Fig.10 - MEGANE ANA (M.Fuji, Giappone): la volta é incurvata verso l'alto dal gas.



Fig.11 - KAMABOKO ANA (M.Fuji, Giappone): la volta è incurvata verso l'alto dal gas.

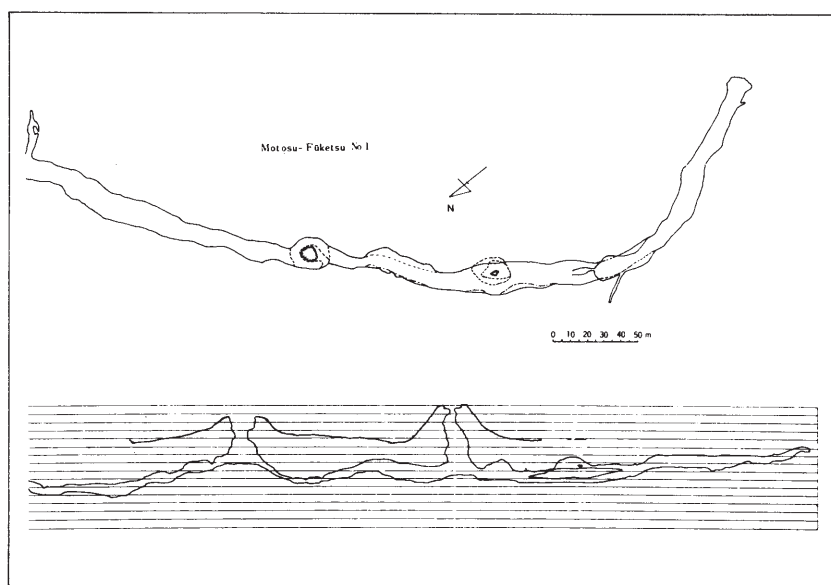


Fig.12 - MOTOSU FUKETSU n.1 (Giappone): i "buchi soffianti" (hornitos).

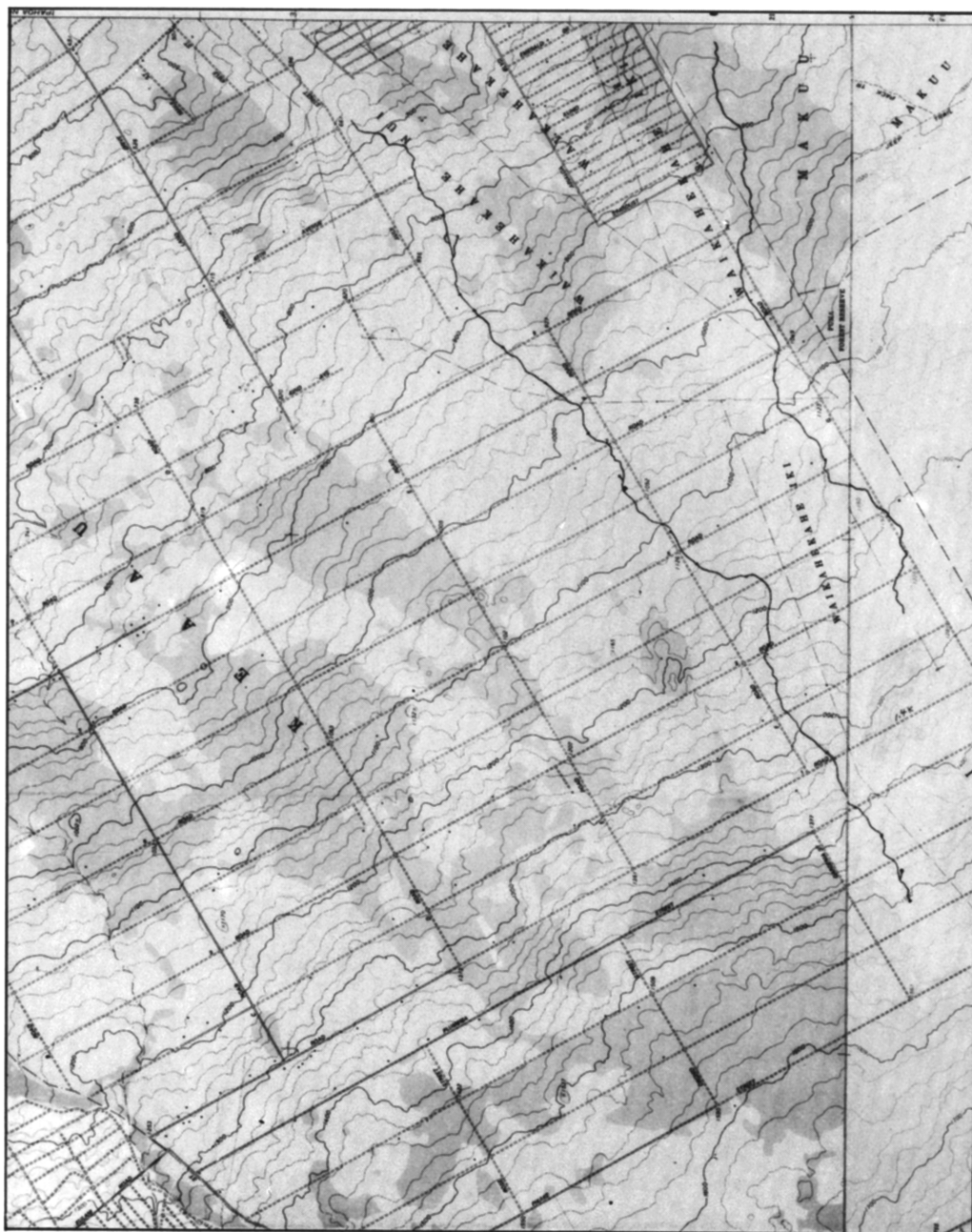


Fig.13 - KAZUMURA CAVE (sopra) e JOHN MARCHIN CAVE (sotto), Hawaii.

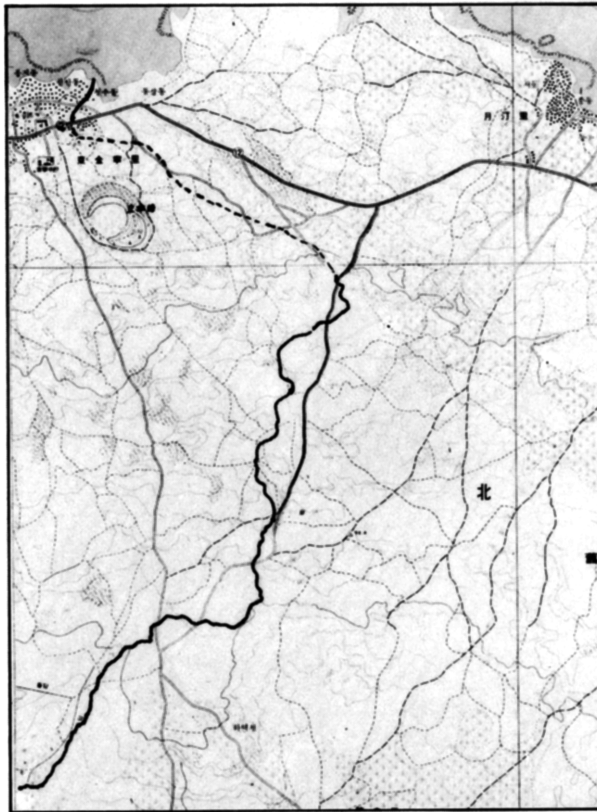


Fig.14 - MAN JANG KUL (Isola di Cheju, Corea).

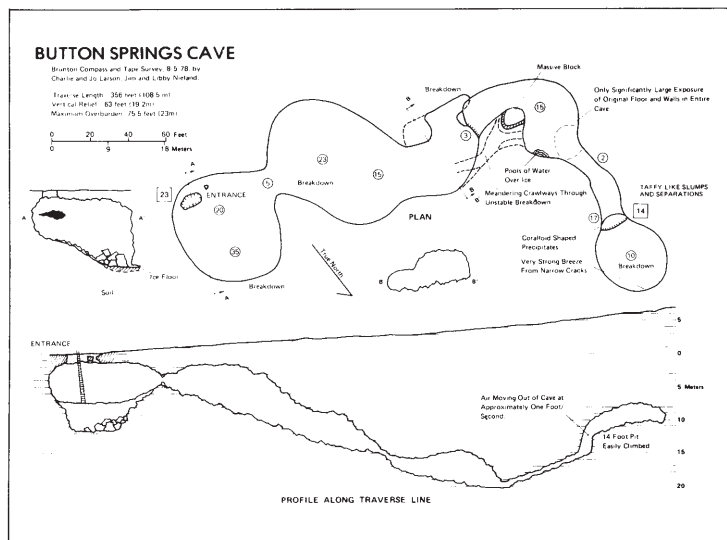


Fig.15 - BUTTON SPRING CAVE (Oregon, U.S.A.); rilevamento topografico di C. e H. Larson e J. e L. Nieland.

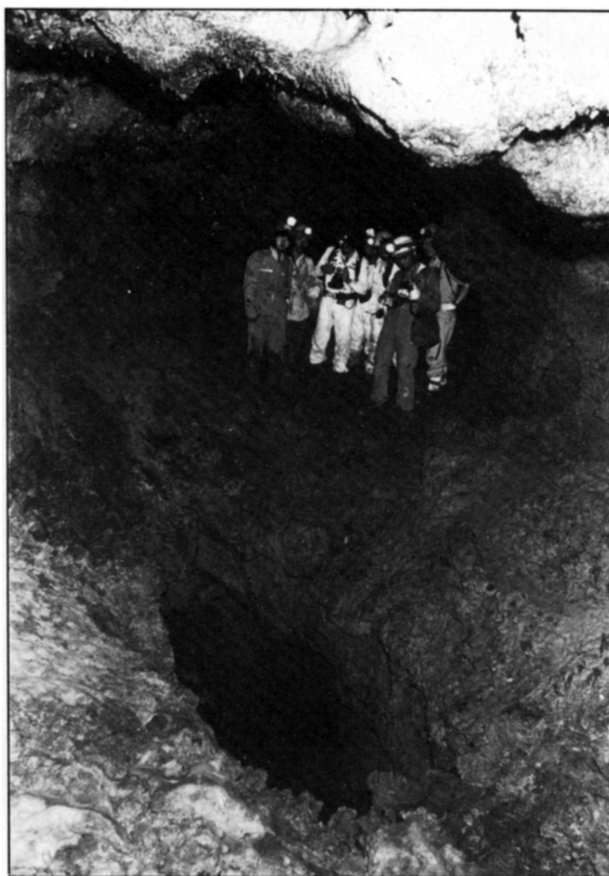


Fig.16 - BILEMOT KUL (Isola di Cheju, Corea): un tubo a spirale a sezione rotondeggiante comunica con un tubo inferiore attraverso un "buco soffiante".

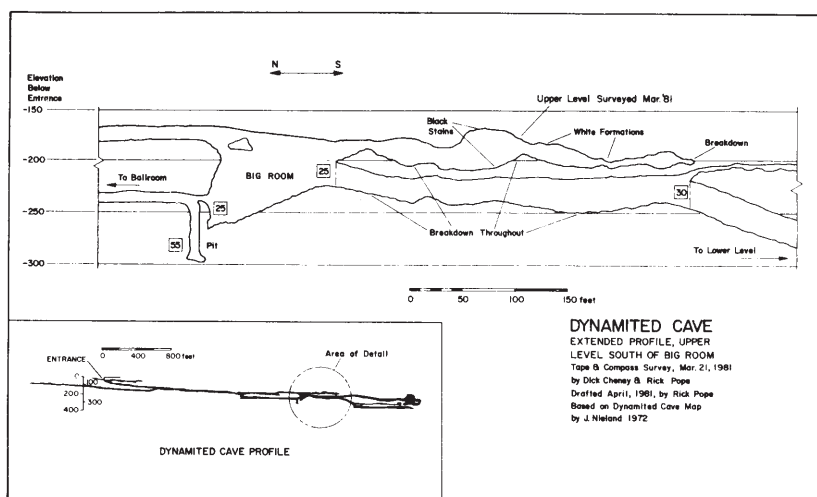


Fig.17 - DYNAMITED CAVE (Washington, U.S.A.); rilevamento topografico di D.Cheney e R.Pope.

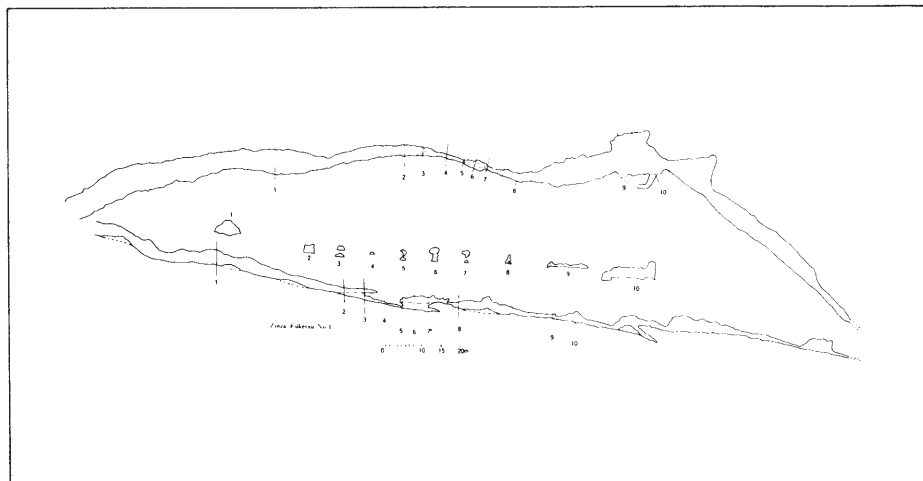


Fig.18 - ZINZA FUKETSU n.1 (M.Fuji, Giappone).



Fig.19 - HAWAII, U.S.A.: piccole cavità racchiuse tra le unità di flusso.

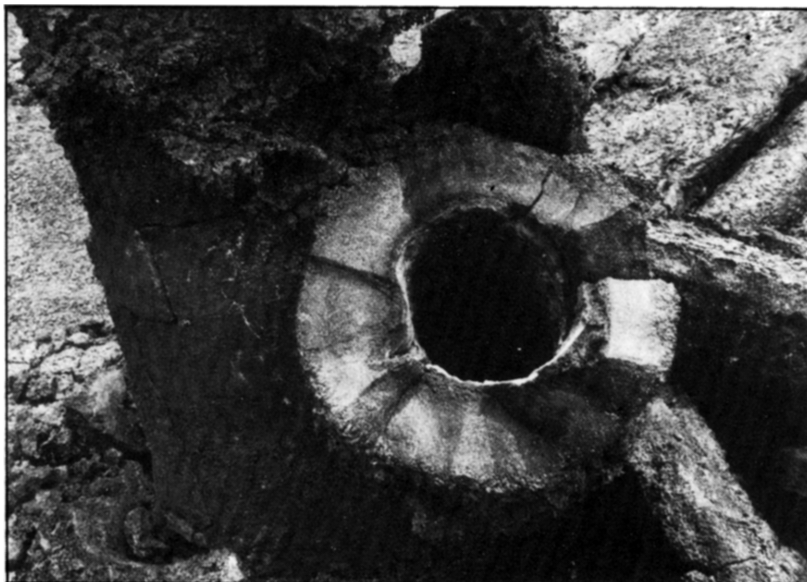


Fig.20 - Impronta d'albero (Hawaii, U.S.A.) nelle lave del 1974; le impronte si formano quando la lava non solidifica rapidamente.

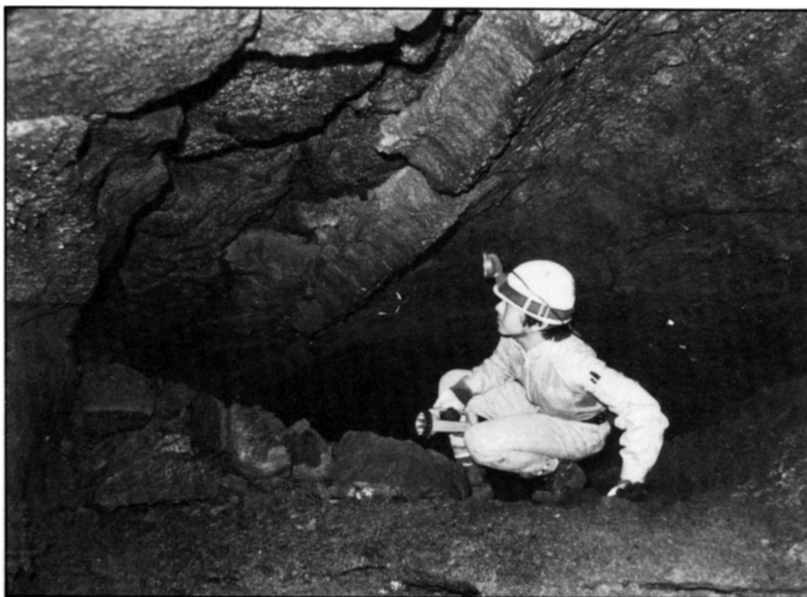


Fig.21 - MITSUIKE ANA (M.Fuji, Giappone): formazione di crosta all'interno della cavità, a contatto coi gas.

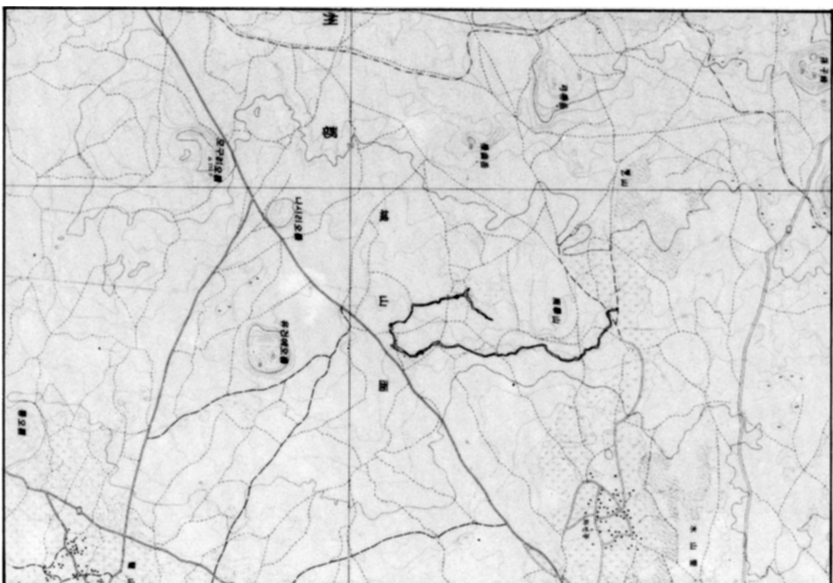


Fig.22 - SUSAN KUL (Isola di Cheju, Corea).

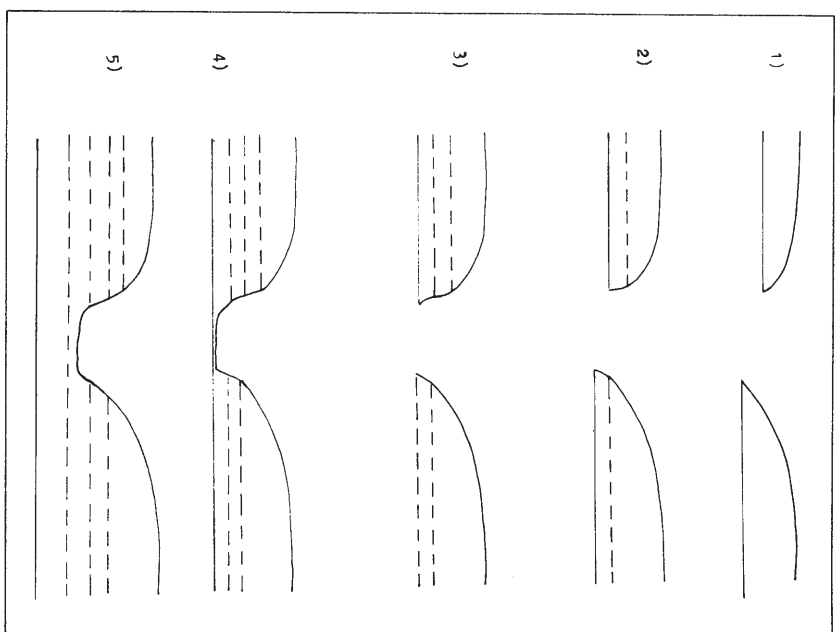


Fig.23 - Schema di connessione di due cavità.

- 5) Le cavità intercalate tra sottili unità di flusso (Hawaii, Giappone - Fig.19) sono formate dai gas.
- 6) Impronta di albero nella lava (Hawaii, lave del 1974 - Fig.20)
- 7) Nella Mitsuike Ana (M.Fuji, Giappone - Fig.21) e nella Valentine Cave (California, U.S.A.) é possibile vedere come la lava si sia solidificata rapidamente a contatto dei gas, formando la crosta.
- 8) La formazione delle "lavacicles" (stalattiti tubolari cave) é ritenuta possibile soltanto grazie ad una rapida solidificazione della superficie, durante il gocciolamento della lava.
- 9) L'orientamento della Susan Kul (Isola di Cheju, Corea) con sviluppo in pianta a "U" orientato N-S-N, e' completamente diverso da quello della colata, che da monte verso valle é orientata E-ENE-ESE.(Fig.22).

LE GROTTES DELL'ETNA: STATO ATTUALE DELLE CONOSCENZE

V. BELLA - Gruppo Grotte C.A.I. Giarre

A. CARIOLA - Gruppo Grotte Catania C.A.I. Sez. dell'Etna, Catania

F. BRUNELLI - Gruppo Grotte Catania C.A.I. Sez. dell'Etna, Catania

B. SCAMMACCA - Gruppo Grotte Catania C.A.I. Sez. dell'Etna, Catania

Riassunto

Le cavità di origine vulcanica suscitano notevole interesse nei diversi campi dell'attività scientifica.

Gli Autori informano sullo stato di aggiornamento del catasto delle grotte vulcaniche etnee a tutto il 1982 e segnalano 37 nuove cavità (da SiCT151 a SiCT187).

Summary

Authors are interested in Sicilian lava caves. In this work they give a report on state of revision of volcanic cave files: 37 additional caves are pointed out (from SiCT151 to SiCT187).

La individuazione e descrizione delle cavità conosciute nel territorio etneo costituisce una necessaria premessa per i numerosi studi che si possono compiere su di esse. Le grotte vulcaniche infatti, oltre a porre interessanti problemi morfologici e speleogenetici, rappresentano biotopi singolarissimi con fauna e flora particolari e sono talora sede di importanti ritrovamenti archeologici. E' quindi opportuno, una volta che sia stata acquisita la conoscenza di una nuova cavità, procedere alla sua individuazione, con l'assegnazione di un numero catastale e un nome, la redazione di un itinerario di accesso e di una descrizione che evidenzii le principali caratteristiche della cavità.

Allo stato attuale sono note sull'Etna 187 cavità, per la maggior parte distribuite sui versanti nord, est e sud del vulcano. Rimane esiguo il numero di grotte note sul versante ovest, peraltro assai meno esplorato.

Un primo contributo alla conoscenza delle cavità dell'Etna è stato pubblicato nel 1975 (BRUNELLI F. e SCAMMACCA B., 1975). In questo lavoro viene presentato l'elenco catastale delle grotte vulcaniche di Sicilia, con notizie storiche, cenni sulla genesi e classificazione delle cavità, e sono contenuti itinerario e descrizione delle prime 25 grotte dell'elenco con relative topografie.

Le informazioni raccolte nel corso degli ultimi sette anni sono contenute in BELLA V., BRUNELLI F., CARIOLA A. e SCAMMACCA B., 1982, dove sono segnalate 37 nuove cavità (da SiCT151 a SiCT187), sono pubblicati itinerario, descrizione e topografie delle grotte dal n.26 al n.50 dell'elenco catastale, e sono contenute ulteriori notizie bibliografiche.

BIBLIOGRAFIA

- BRUNELLI F. e SCAMMACCA B., 1975 - Grotte vulcaniche di Sicilia (notizie catastali) primo contributo. G.G.C.-CAI/Etna, Catania (62+XI).
- BELLA V., BRUNELLI F., CARIOLA A. e SCAMMACCA B., 1982 - Grotte vulcaniche di Sicilia, notizie catastali: secondo contributo (da SiCT26 a SiCT50). "Boll.Acc.Gioenia di Sc.Nat.in Catania", vol.15, (320): 223-292.

IL RUOLO DEI TUBI DI LAVA NELL'ESPANDIMENTO DELLE COLATE LAVICHE: TERRA ED ALTRI PIANETI E SATELLITI

R. GREELEY - Dept. of Geology, Arizona State University, Tempe, Arizona, U.S.A.

Riassunto

L'esplorazione del sistema solare ha reso evidente che il vulcanismo si é manifestato sulla Terra, la Luna, Marte, probabilmente Mercurio, forse Venere, oltre che su molti satelliti dei pianeti esterni. Sui pianeti di tipo terrestre predomina il vulcanismo basaltico, mentre sui satelliti dei pianeti esterni sono state scoperte forme di vulcanismo insolite, quali eruzioni di materiali ricchi di zolfo su Io, una delle lune di Giove, ed eruzioni di "magmi" ricchi d'acqua su alcune lune di Saturno. In questi diversi corpi planetari molte colate di lava sembrano essersi effuse attraverso tubi e canali di lava.

Lo studio dei tubi e canali di lava sulla Terra, e la valutazione del loro ruolo nell'espandimento delle colate laviche, mettono in evidenza che i tubi si sono formati normalmente in lave di composizione basaltica o in lave le cui proprietà reologiche sono paragonabili a quelle del basalto. Inoltre, per la formazione dei tubi, sembra essere determinante lo "stile" delle eruzioni: portate che siano troppo elevate (p.es. inondazioni di lava) o troppo basse, tipicamente, non riescono a formare tubi, mentre eruzioni che danno luogo alla formazione di scudi o plateaux basaltici generalmente comportano colate alimentate da tubi o canali.

L'analisi di tubi e colate di lava mediante il "remote sensing" planetario consente l'identificazione delle possibili zone di affioramento, la determinazione delle direzioni di scorrimento e l'interpretazione generale della storia del vulcanismo nei pianeti in studio.

In questo lavoro viene esaminato il ruolo dei tubi di lava e l'espandimento di colate laviche sulla Terra, e se ne applica l'interpretazione ai corpi extraterrestri.

Summary

Solar System exploration has shown that volcanism has occurred throughout the Solar System. On the terrestrial planets, basaltic volcanism predominates, whereas on the outer planet satellites unusual forms of volcanism have been discovered, including eruptions of sulfur-rich materials on Io, one of the moons of Jupiter, and eruption of water-rich "magmas" on some of the moons of Saturn. Among these various planetary objects, many of the flows appear to have been emplaced through lava tubes and channels.

The study of lava tubes and channels on Earth and assessment of their role in emplacement of lava flows shows that tubes commonly formed in lavas of basaltic composition or in lavas with rheological properties comparable to basalt. Furthermore, the style of eruption appears to be critical for the development of tubes: rates which are either too high (e.g., flood eruptions) or too low typically fail to develop lava tubes, whereas shield-forming, or basaltic plain-forming eruptions commonly involve tube-and channel-fed flows.

Analysis of lava tubes and channels via planetary remote sensing enables identification of possible vent regions, determination of flow directions, and interpretations of general volcanic history for the planets under investigation.

In this paper the role of lava tubes and the emplacement of lava flows will be reviewed for Earth, and interpretations applied to extraterrestrial objects.

1.0 INTRODUZIONE

L'esplorazione del sistema solare ha mostrato che il vulcanismo ha giocato un ruolo fondamentale nell'evoluzione di molti pianeti e satelliti (Murray et al., 1981; Carr, 1983).

Su Terra, Luna, Marte, e possibilmente Mercurio e Venere, le rocce laviche prevalenti sembrano essere basaltiche. Per esempio, sulla Terra sono basaltici gran parte dei fondali marini e importanti aree continentali. Per quanto riguarda la Luna, Head (1976) ritiene che colate basaltiche dei mari coprano più del 17% della sua superficie (Fig.1) e gli studi di Schultz e Spudis (1983) mostrano che ulteriori aree possono essere state interessate da eruzioni di lave basaltiche. La stesura di mappe ad opera di Greeley e Spudis (1981) indica che più del 50% della superficie di Marte è ricoperta da materiali vulcanici di probabile composizione basaltica. Le caratteristiche marziane comprendono vaste pianure, vulcani scudo e domi lavici. Sebbene Mercurio e Venere siano meno ben documentati rispetto alla Luna e Marte, le scure pianure di Mercurio possono essere basaltiche, e i dati raccolti dalla missione sovietica Venera suggeriscono la presenza di lave basaltiche su Venere.

L'esplorazione ha mostrato che il vulcanismo - spesso in forme inconsuete - ha luogo anche nel sistema solare esterno. Per esempio, Io, uno dei satelliti galileiani di Giove, manifesta un vulcanismo nel quale lo zolfo è coinvolto sia nei fenomeni esplosivi (Fig.2) che in quelli effusivi. Le immagini del Voyager mostrano possibili tubi lavici e canali che possono essersi formati nello zolfo o in colate ricche di zolfo (Fig.3). I satelliti di altri pianeti esterni sono per la maggior parte composti da acqua, e l'analisi delle caratteristiche della superficie suggerisce che vi siano stati episodi di eruzioni con magmi ricchi d'acqua.

Sui vari oggetti planetari in cui hanno avuto luogo fenomeni di vulcanismo, molte delle colate sono state messe in posto mediante canali e reti di tubi lavici. Pertanto diventa importante capire la meccanica della formazione dei tubi lavici nei vari ambienti planetari, e l'importanza del loro ruolo nell'evoluzione delle superfici planetarie.

2.0 STILI DI VULCANISMO CON TUBI LAVICI

La conoscenza geologica dei pianeti e dei satelliti è ottenuta primariamente dal "remote sensing", in cui la stesura di mappe fotogeologiche e le analisi geomorfologiche sono condotte con senso critico. Da questi studi è possibile dedurre la storia delle superfici per pianeti e satelliti, includendo l'interpretazione degli stili del vulcanismo e la scoperta di possibili tubi lavici.

La morfologia dei vulcani e delle zone vulcaniche è influenzata da molti fattori. Poiché i basalti sono prevalenti in ogni parte del sistema solare (BVSP, 1981) e poiché essi sembrano essere le lave dominanti nella formazione dei tubi lavici, gran parte di questa disamina riguarderà il vulcanismo basaltico. Nel vulcanismo basaltico si riconoscono almeno tre stili generali: 1) eruzioni tabulari, caratterizzate da grandi portate di efflusso e che danno luogo ad estesi plateau basaltici, del tipo del Columbia River Plateau (Swanson et al., 1975); 2) vulcanismo hawaiano, caratterizzato da portate di efflusso relativamente basse e sporadici episodi di durata prolungata, e che portano alla formazione dei tipici vulcani scudo; 3) vulcanismo di pianura (Greeley, 1982) in cui le bocche centrali, frequentemente allineate, emettono lava con portata intermedia e producono bassi scudi e colate messe in posto mediante maggiori sistemi di tubi lavici (Fig.4). I tubi lavici sono importanti negli ultimi due stili, mentre sono assenti o rari nelle massicce eruzioni tabulari.



Fig.1 - Fotografia, scattata dagli astronauti dell'Apollo 15, della Schroter Valley, un canale lavico lungo oltre 170 Km. condizionato da fenomeni tettonici. Questo ed altri solchi lunari sinuosi furono responsabili del posizionamento di gran parte dei basalti, comprese le unità scure dei mari (NASA photograph AS15-M3-2610).

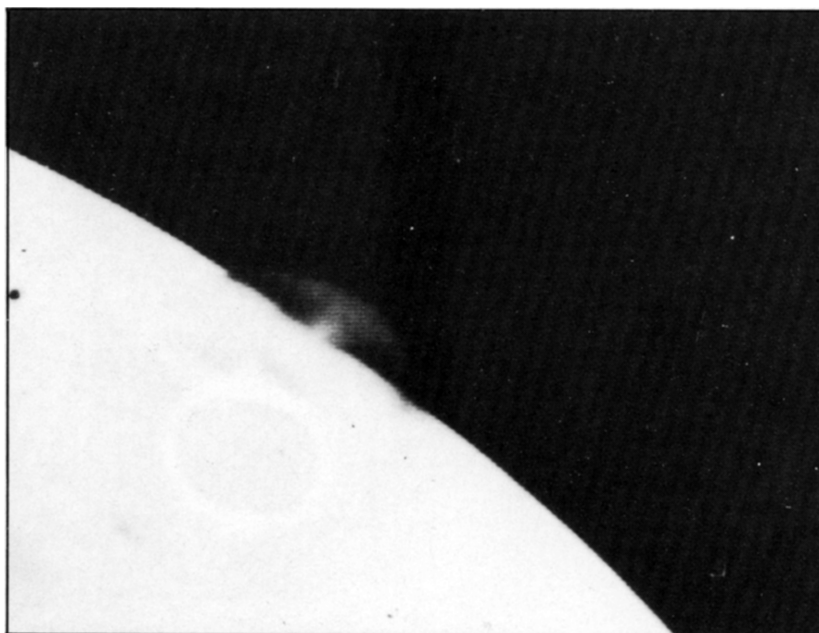


Fig.2 - Immagine del Voyager mostrante l'eruzione di un vulcano attivo su Io, uno dei satelliti galileiani di Giove. Il pennacchio eruttivo si innalza per oltre 100 Km. al di sopra della superficie, ed é ricco di zolfo (NASA image P-21295).

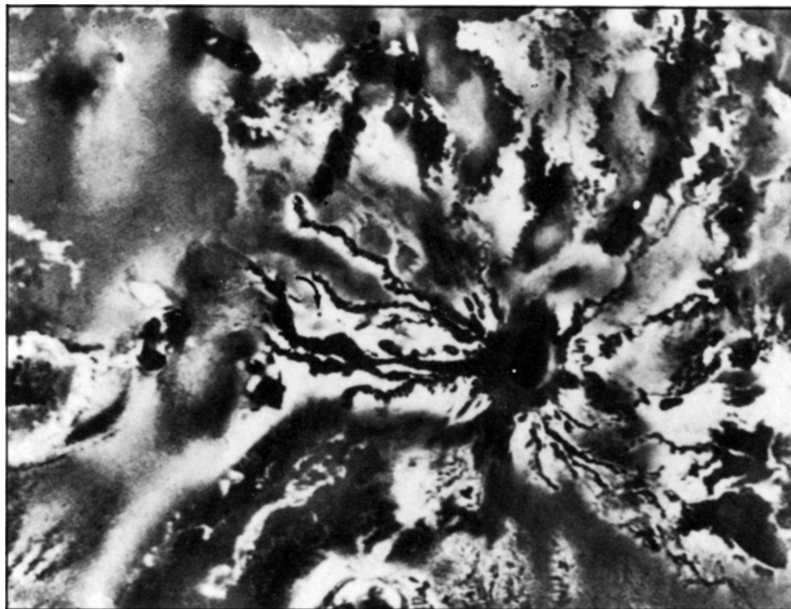


Fig.3 - Immagine dal Voyager del Ra Patera, un vulcano del tipo a scudo del diametro di 600 Km su Io, satellite di Giove; la freccia indica tratti che possono rappresentare tubi lavici parzialmente collassati. Molti studiosi ritengono che queste colate siano costituite da zolfo fuso e che erano attive mentre la navicella Voyager le sorvolava.

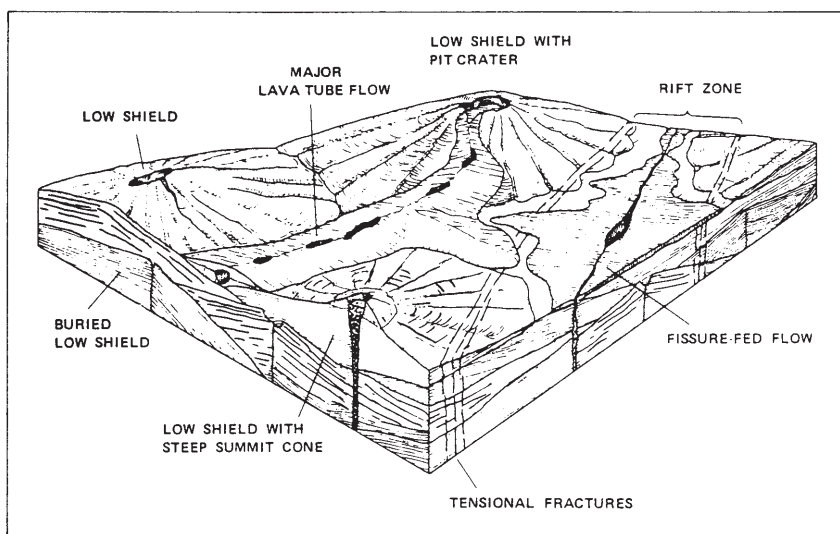


Fig.4 - Diagramma illustrante una tipica regione basaltica pianeggiante e le relazioni tra bassi scudi, principali colate laviche con tubo e colate alimentate da fessure (da Greeley, 1982).

3.0 TUBI LAVICI E RELATIVE COLATE SU PIANETI E SATELLITI

3.1 Terra

La stesura di mappe geologiche delle regioni vulcaniche sulla Terra dimostra l'importanza dei tubi lavici nell'espandimento delle colate laviche. In questo paragrafo vengono descritti tre casi in cui sono stati documentati tubi lavici in relazione alla messa in posto delle colate: 1) Mauna Loa, Hawaii; 2) Snake River Plain, Idaho; 3) Etna, Sicilia.

Il Mauna Loa é il piú grande vulcano scudo esistente sulla Terra. Le colate laviche, i tubi associati e i canali, furono tracciati con analisi statistiche su mappe ricavate da immagini aeree di zone dello scudo con scarsa vegetazione (Greeley et al., 1976). Circa il 15% dello scudo fu riportato su immagini stereoscopiche e in aggiunta il 10% su immagini monoscopiche, rappresentanti zone di frattura ed altre aree della sommitá, i fianchi e le parti distali dello scudo; degli studi sul terreno vennero effettuati per convalidare i risultati del remote sensing. Delle colate analizzate, il 46% presentava canali (53% dell'area complessiva interessata dalle colate), il 5% aveva dei tubi (4% dell'area complessiva) ed il 14% presentava sia tubi che canali (25% dell'area complessiva). Le cifre presentate per i tubi lavici sono ai valori minimi, poiché era possibile identificare soltanto tubi in tutto o in parte collassati. Considerando il campione come rappresentativo dell'intero scudo, allora almeno l'82% della superficie dello scudo stesso é interessata da tubi lavici e canali. Da ciò si trae la conclusione che la conoscenza della geologia dei tubi lavici e dei canali é essenziale per la comprensione della crescita e dell'evoluzione del Mauna Loa, e dei vulcani scudo similari.

Un'analogia indagine fu condotta per la Snake River Plain e si trovó che piú del 40% delle colate comportava la propria sistemazione anche mediante tubi lavici o canali. I tubi lavici nella Snake River Plain si presentano generalmente in due forme: tubi relativamente piccoli, associati a bassi scudi, e grandi sistemi in relazione alla messa in posto di piú massicce unità di flusso. Nella Snake River Plain ed in regioni similari, i tubi lavici sono importanti nell'espandimento di colate laviche nelle zone tra i vulcani scudo piú bassi e nell'aiutare il terreno a mantenere il suo aspetto generalmente pianeggiante (Fig.4).

Molte colate dell'Etna furono messe in posto mediante tubi lavici, ed alcune di queste hanno avuto un effetto significativo nella morfologia dell'edificio vulcanico (Guest et al., 1980). Le analisi sulla colata del 1614-1624 (Romano e Guest, 1979; Guest et al., 1983; Wood, 1977, e in questo Simposio) rafforzano l'idea che i tubi lavici si formino in flussi di durata prolungata. In questa colata si rinvennero numerosi tubi lavici (Grotta dei Lamponi, Grotta del Gelo ed altre) che contribuiscono allo sviluppo di terrazzi e di domi, come M.Collabasso, che caratterizzano il versante settentrionale dell'Etna (Fig.5).

3.2 Luna terrestre

Le colate di lave basaltiche sulla Luna si presentano in due aspetti principali: colate tabulari, che formano gran parte delle estese regioni dei mari, e varie unità di pianure basaltiche. Sebbene durante la fine degli anni '60 e l'inizio degli anni '70 l'origine dei solchi sinuosi lunari fosse un argomento controverso, é adesso generalmente accettato che queste fattezze appartengono a canali lavici e tubi collassati (Guest, 1972; Greeley, 1971a, 1977). Alcuni canali lunari sinuosi si estendono per piú di 100 Km con un'ampiezza che puó essere di diversi Km (Fig.6), e costituirono il mezzo per l'espandimento di centinaia di chilometri cubici di lava. Inoltre, sebbene rare, in diverse zone della Luna sono state identificate piccole colate che danno origine a scudi e relativi tubi.

Numerosi studiosi si sono dedicati alla spiegazione dell'ordine di grandezza dei canali lunari sinuosi di maggiori dimensioni, paragonati agli analoghi terrestri. Oberbeck et al. (1969) notarono che, a causa della ridotta gravità lunare, sulla Luna potevano resistere meglio che sulla Terra. Hulme (1973), Carr

(1974), Head e Wilson (1981), chiamarono in causa le grandi portate di efflusso e la successiva erosione termica per spiegare le grandi dimensioni dei canali lunari e delle bocche effusive associate. Sebbene l'erosione termica e fisica delle lave nei tubi sia stata documentata sulla Terra (Greeley e Hyde, 1972; Peterson e Swanson, 1974), non c'è alcuna spiegazione accettabile per la assenza di grandi tubi lavici e canali associati alle eruzioni tabulari, in aree che sono paragonabili per estensione alle eruzioni lunari, come il Columbia Plateau.

Nonostante l'impossibilità di comprendere molti dettagli del vulcanismo lunare, è chiaro che i tubi lavici hanno avuto un ruolo importante nella formazione della superficie della Luna, specialmente nel riempimento dei mari di crateri da impatto.

3.3 Marte

Le analisi effettuate in diversi studi (Mutch et al., 1976; Carr, 1981) dimostrano che l'attività vulcanica ha dominato su Marte. Dal momento che Marte possiede un'atmosfera, e che un tempo sulla sua superficie vi era acqua allo stato liquido, la geologia marziana è molto più complessa di quella della "asciutta" Luna. Sono state proposte molte ipotesi sull'origine dei canali, compresa quella dell'erosione idrica (Baker, 1982). Tuttavia, alcuni canali, come quelli che si trovano nella regione vulcanica di Elisio, possono essere considerati analoghi a quelli sinuosi della Luna e potrebbe trattarsi di canali e/o tubi lavici collassati (Fig.7).

Su Marte molti vulcani a bocca centrale mostrano canali lavici, tubi collassati e relative strutture di flusso. La Fig.8 illustra una serie di colate e domi che furono posizionati tramite tubi lavici su Alba Patera, un vulcano del diametro di oltre 1600 Km, nell'emisfero Nord di Marte. Alcune di queste colate, alimentate da tubi, possono spingersi a più di 340 Km dal loro inizio, ma sono larghe soltanto 8 Km circa; chiaramente la messa in posto di tali colate lunghe e strette era in funzione delle proprietà isolanti dei tubi lavici percorsi dal flusso. La Fig.9 mostra delle terrazze sui fianchi del Monte Olimpo, uno dei grandi vulcani scudo di Marte. Le immagini ad alta risoluzione mostrano che molte di queste colate furono messe in posto mediante tubi lavici. Le colate e i terrazzamenti associati possono essere considerati analoghi alle colate alimentate da tubi e ai terrazzamenti dell'eruzione del 1614-24 sull'Etna.

Marte mostra estese regioni pianeggianti, specialmente nell'emisfero settentrionale. Sebbene molte di queste pianure siano vulcaniche, vi sono stati identificati relativamente pochi tubi lavici. Ciò può essere dovuto o ad insufficiente risoluzione delle immagini o ad uno stile di vulcanismo che è incompatibile con la formazione di tubi lavici, come le lave tabulari.

In conclusione, i tubi lavici furono uno strumento dello sviluppo di molti dei vulcani centrali su Marte, e possono aver avuto un ruolo importante nell'espandimento di alcune colate più estese, come nella regione di Elisio.

3.4 Mercurio e Venere

Per Mercurio e Venere sono disponibili pochissime informazioni rispetto alla Luna e Marte. Solo la metà circa della superficie di Mercurio è stata fotografata, per giunta a bassa risoluzione, e meno dell'1% è stata esaminata ad una risoluzione che permettesse la ricerca di canali o tubi collassati. Sebbene molte delle lisce e scure pianure sono considerate vulcaniche (Strom, 1979), finora soltanto una struttura (Fig.10) è stata identificata come un possibile tubo lavico collassato (Spudis, comunicazione personale).

Ancor meno si sa di Venere, rispetto a Mercurio. A causa delle dense nubi che ricoprono il pianeta, per osservare la sua superficie non si possono utilizzare sistemi ad immagine ottica. I sistemi ad immagine radar - che sono capaci di penetrare le nubi - fin qui utilizzati nell'esplorazione di Venere, hanno fornito immagini con risoluzione spaziale di solo 4 Km circa, troppo grossolana per il riconoscimento di tubi e canali lavici. Tuttavia i dati della missione



Fig.5 - Foto aerea della colata del 1614-24 sul versante settentrionale dell'Etna, illustrante i caratteristici terrazzamenti e i domi; durante il decennale periodo di attività, gran parte della colata fu messa in posto mediante tubi lavici.

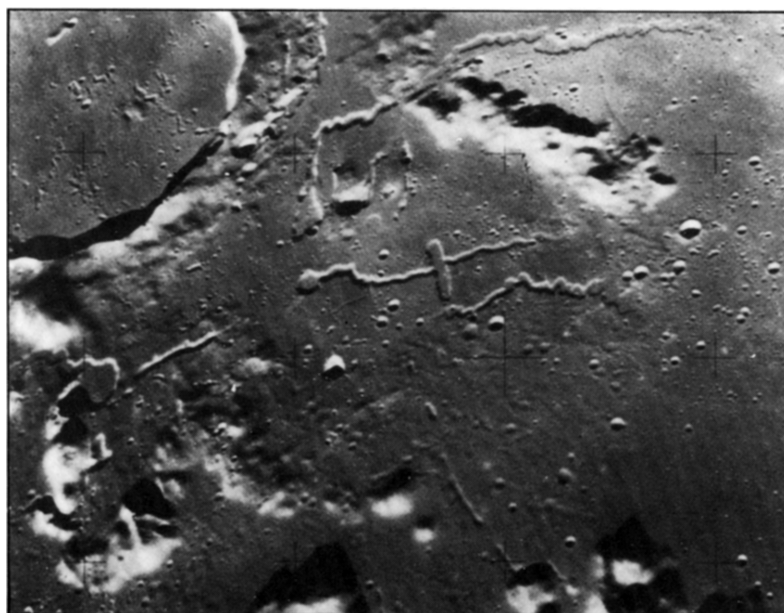


Fig.6 - Veduta dei canali sinuosi - considerati tubi collassati e canali lavici - vicino al cratere Prinz, sulla Luna:



Fig.7 - Immagine dal Viking Orbiter di possibili canali lavici nella regione del Mt.Elisio su Marte. Il vulcano Elisio é visibile sulla destra; l'area illustrata ha una larghezza di 650 Km (da U.S. Geological Survey mosaic MC-15-NW).



Fig.8 - Colate laviche, tubi (vedi frecce) e domi su Alba Patera, Marte, ripresi dal Viking Orbiter. Le dimensioni reali del mosaico sono di 100x120 Km (NASA images VO 7B22-27).

Venere includono immagini della superficie ed informazioni sulla composizione delle rocce che suggeriscono l'esistenza di un vulcanismo basaltico (Surkov, 1983; Moroz, 1983; Garvin et al., 1983). Così esiste la possibilità che su Venere si siano formati tubi lavici, ma la loro scoperta deve attendere missioni future che trasportino sistemi radar in grado di fornire immagini ad alta risoluzione.

3.5 Satelliti dei pianeti esterni

Le missioni spaziali Voyager 1 e 2 verso Giove e Saturno, effettuate tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80, riportarono più di 60.000 utili immagini di questi pianeti giganti e dei loro satelliti (Morrison e Samz, 1980; Morrison, 1982). Lo studio geologico mostra che molti dei satelliti sono stati modificati da processi vulcanici.

La Fig.3 è un'immagine ad alta risoluzione di colate su Io, il satellite galileiano più interno di Giove. E' sorta una controversia circa la natura di queste ed altre caratteristiche vulcaniche di Io, con modelli che vanno dall'ipotesi di colate puramente sulfuree (indicate dai dati spettrali) a quella di colate silicee. E' stato suggerito che le insolite proprietà reologiche dello zolfo liquido (che ha il minimo della viscosità a 160°C e il massimo a 200 °C) potrebbero essere riscontrate in diverse caratteristiche morfologiche. Esperimenti di laboratorio e modelli teorici mostrano che le eruzioni di zolfo possono formare domi nella fase iniziale (dovuti alla forte viscosità ad alte temperature), che al raffreddamento a 160°C subiscono una transizione laterale verso colate relativamente sottili ed estese. Sebbene non sia noto se in colate sulfuree o ricche di zolfo si formino tubi lavici, la Fig.3 mostra un canale di flusso su Io, che può essere stato attivo all'epoca in cui fu scattata la fotografia, e che sembra avere formato una volta su diversi segmenti.

La Fig.11 mostra Enceladus, uno dei satelliti di Saturno ricchi di ghiaccio. Nonostante la bassa risoluzione dell'immagine, le analisi delle superfici di questo e di altri satelliti ricchi di ghiaccio, sia di Giove che di Saturno, rivelano che si sono avuti ripetutamente processi vulcanici che ne hanno modificato le superfici. Poiché questi oggetti sono considerati composti principalmente da acqua e ghiaccio più alcuni materiali silicei, le eruzioni probabilmente includevano magmi di acqua liquida e fango. Se tubi e canali possano formarsi in questi materiali, per adesso, è argomento di pura speculazione. La missione Galileo, programmata per orbitare attorno a Giove alla fine degli anni '80, riprenderà immagini ad alta risoluzione di Europa e Ganimede, due satelliti ricchi di ghiaccio dove è possibile che esistono tali tubi/canali.

4.0 Riepilogo e conclusioni

Gli studi delle superfici planetarie dimostrano che molte colate vengono messe in posto mediante tubi lavici e canali. L'identificazione di queste ed altre caratteristiche del flusso è importante nell'interpretazione della storia vulcanica e della evoluzione superficiale degli oggetti planetari sotto osservazione.

La formazione di tubi lavici è un fenomeno complesso, dipendente dalle proprietà chimiche e fisiche delle colate, dalla portata dell'efflusso, dall'andamento topografico originario del terreno e da altri fattori. La distinzione tra tubi e canali lavici è qualcosa di arbitrario - un canale lavico racchiude colate ristrette senza una crosta superficiale o una volta, mentre un tubo lavico racchiude un flusso ristretto al di sotto di una volta. Ambedue i sistemi sono condotti efficienti per l'alimentazione del fronte delle colate laviche; la dispersione di calore è molto bassa all'interno dei tubi, aumentando così l'importanza del loro ruolo nell'espandimento di colate su grandi distanze.

La conoscenza dei parametri che regolano la formazione e la morfologia dei tubi lavici e dei canali permetterà, in ultima analisi, una migliore interpretazione delle superfici planetarie. Mentre questa conoscenza è lontana

dall'essere completa, le osservazioni di tubi lavici e canali in formazione (Greeley, 1971b, 1972), gli studi sui tubi raffreddati e le considerazioni teoriche sull'attività dei tubi lavici, permettono di mettere insieme informazioni sufficienti al fine di effettuare alcune generalizzazioni sulla geologia di queste formazioni (Greeley, 1975):

Presenza di tubi lavici: é indicativa di lava basaltica o di colate aventi proprietà reologiche simili al basalto; la portata dell'efflusso era probabilmente media o alta (paragonabile alle portate hawaiane); portate estremamente alte (eruzioni tabulari) non sembrano dare luogo alla formazione di tubi.

Zone effusive: i tubi lavici possono indicare le zone effusive dell'eruzione; tuttavia, poiché tubi e canali possono svilupparsi all'interno di colate a grandi distanze dalle bocche, essi non possono evidenziare con certezza le zone di efflusso del magma.

Meccanismi di trasporto e relazioni stratigrafiche: dal momento che essi sono buoni isolanti e possono formare estese reti di canali, i tubi lavici e i canali funzionano effettivamente come collettori che convogliano la lava dalle bocche al fronte della colata; dunque il rilevamento della loro distribuzione e del loro orientamento fornisce informazioni dettagliate per la stesura di mappe geologiche di colate laviche e unità di flusso.

Erosione all'interno di tubi lavici e canali: l'erosione termica e fisica delle rocce preesistenti, ad opera della lava all'interno dei tubi, é stata osservata in numerosi tubi lavici e dedotta dall'osservazione di colate attive.

Caratteristiche della superficie in relazione ai tubi lavici: una certa varietà di caratteristiche superficiali, fra cui crateri di collasso, tumuli, laghetti pensili di lava, laghi di lava ed altro, é spesso associata ai tubi lavici.

Ringraziamenti

Le ricerche sui tubi lavici per i confronti planetari hanno avuto il supporto del Programma di Geologia Planetaria, NASA, Washington, D.C. Sono grato a G.M.Licitra e agli altri organizzatori del IV Simposio Internazionale di Vulcanospeleologia per l'opportunità datami di presentare questo lavoro.

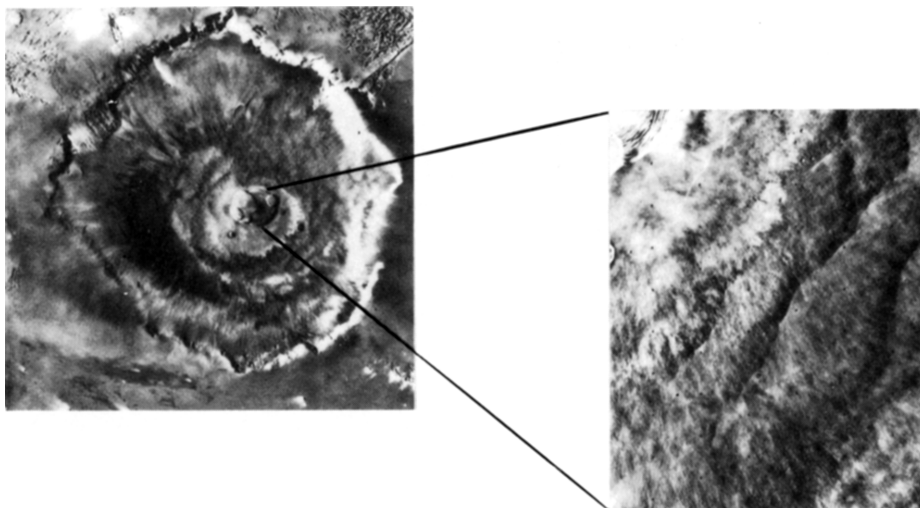


Fig.9

L'immagine di Marte dal Viking Orbiter mostra il Monte Olimpo, un vulcano scudo di oltre 650 Km di diametro (Fotogramma 646A28); il dettaglio é un'immagine ad alta risoluzione (46B32) del fianco meridionale, illustrante i terrazzamenti, costruiti da colate alimentate da tubi che partivano dalle vicinanze della sommitá (la caldera é visibile nell'angolo superiore).

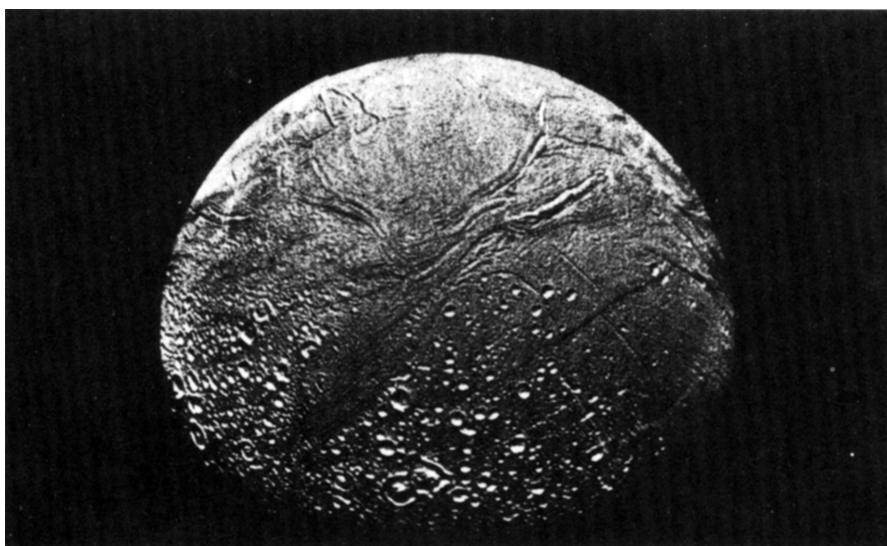


Fig.11

Immagine di Encelado dal Voyager 2; le analisi delle caratteristiche superficiali di questo satellite di Saturno, del diametro di 500 Km, mostrano le tracce di ripetute inondazioni avvenute per emissione di acqua allo stato liquido dall'interno (Fotogramma 260-1341)

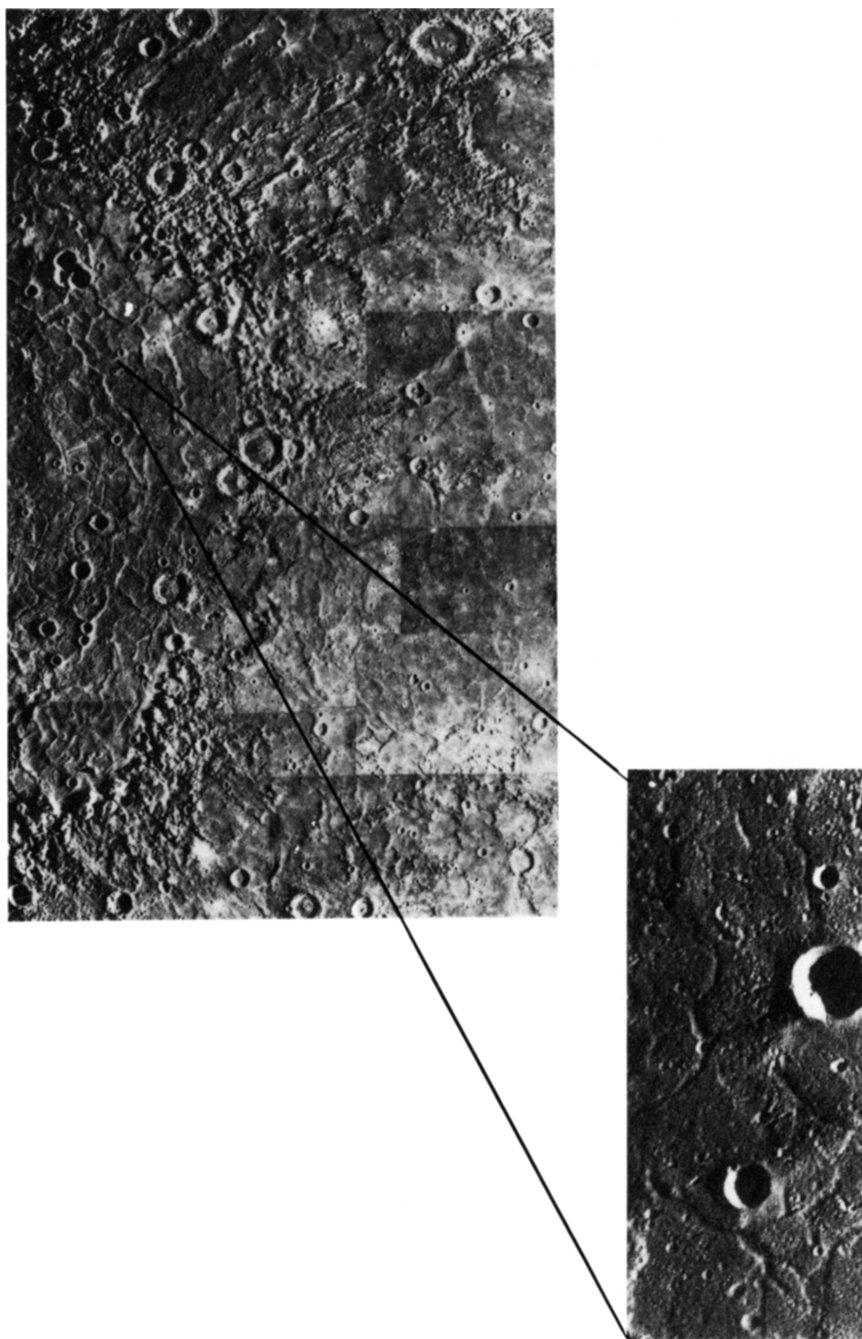


Fig.10 - Mosaico di 10 immagini del Mariner (NASA photograph 74-H-566), mostrante il terzo orientale del Caloris Basin su Mercurio (2000 Km); il territorio a bassa densità di crateri é considerato costituito da colate di lave basaltiche; il particolare illustra un fotogramma ad alta risoluzione ed un possibile canale/tubo collassato associato alla colata (fotogramma FDS 0528996).

BIBLIOGRAFIA

- BAKER, V.R., 1982. The Channels of Mars. University of Texas Press, Austin, 198 pp.
- BVSP (Basaltic Volcanism Study Project), 1981. Basaltic Volcanism on the Terrestrial Planets. Pergamon Press, New York, 1286 pp.
- CARR, M.H., 1974. The role of lava erosion in the formation of lunar rilles and martian channels. *Icarus* 22, 1-23.
- CARR, M.H., 1981. The Surface of Mars. Yale University Press, New Haven, 232 pp.
- CARR, M.H., 1983. The geology of the terrestrial planets. *Reviews of Geophysics and Space Physics* 21, 160-172.
- GARVIN, J.B., J.W.HEAD, M.T.ZUBER, and P.HELFFENSTEIN, 1983. Venus: The nature of the surface from Venera panoramas. Submitted to *Jour. Geophys. Res.*
- GREELEY, R., 1971a. Lunar Hadley Rille: Considerations of its origin. *Science* 172, 722-725.
- GREELEY, R., 1971b. Observations of actively forming lava tubes and associated structures, Hawaii. *Modern Geology* 2, 207-223.
- GREELEY, R., 1972. Additional observations of actively forming lava tubes and associated structures, Hawaii. *Modern Geology* 3, 157-160.
- GREELEY, R., 1975. The significance of lava tubes and channels in comparative planetology. *Conf. on Origins of Mare Basalts, Lunar Sci. Inst., Houston*, 53-55.
- GREELEY, R., 1977. Lava tubes on other planets. *Atti del Seminario sulle Grotte Laviche, G.G.C.-CAI/Etna Catania*, 27-28 August 1975, 181-191.
- GREELEY, R., 1982. The Snake River Plain, Idaho: Representative of a new category of volcanism. *Jour. Geophys. Res.* 87, 2705-2712.
- GREELEY, R. and J.H.HYDE, 1972. Lava tubes of the Cave Basalt, Mount St. Helens, Washington. *Geol. Soc. Am. Bull.* 83, 2397-2418.
- GREELEY, R., C.WILBUR, and D.STROM, 1976. Frequency distribution of lava tubes and channels on Mauna Loa Volcano, Hawaii. *Geol. Soc. Am. Abstr. with Prog.* 8, 892.
- GREELEY, R. and P.D. SPUDIS, 1981. Volcanism on Mars. *Rev. Geophys. and Space Physics* 19, 13-41.
- GUEST, J.E., 1972. Caves on the Moon and Mars? *Studies in Speleology* 2, Part 5, 161-175.
- GUEST, J.E., J.R.UNDERWOOD and R.GREELEY, 1980. Role of lava in flows from the Observatory Vent, 1971 Eruption on Mount Etna. *Geol. Mag.* 117, 601-606.
- GUEST, J.E., R.GREELEY, and C.WOOD, 1983. Geology of the 1614-24 lava flow, Mount Etna. (manuscript).
- HEAD, J.W., 1976. Lunar volcanism in space and time. *Rev. Geophys. and Space Physics* 14, 265-300.
- HEAD, J.W. and L.WILSON, 1981. Lunar sinuous rille formation by thermal erosion: eruption conditions, rates and durations. *Lunar and Planet. Sci.* 12, 427-429.
- HULME, G., 1973. Turbulent lava flow and the formation of lunar sinuous rilles. *Mod. Geol.* 4, 107-117.
- MOROZ, V.I., 1983. Summary of preliminary results of the Venera 13 and Venera 14 missions. In D.M. Hunten, L.Colin, T.M.Donahue, and V.I.Moroz, eds., *Venus*, University of Arizona Press, 45-68.

- MORRISON, D., 1982. Voyages to Saturn. NASA SP-451, 225 pp.
- MORRISON, D., and J.SAMZ, 1980. Voyage to Jupiter. NASA SP-439, 199 pp.
- MURRAY, B.C., M.C. MALIN, and R. GREELEY, 1981. Earthlike Planets: Surfaces of Mercury, Venus, Earth, Moon, and Mars. W.H. Freeman and Co., San Francisco, 387 pp.
- MUTCH, T.A., R.E. ARVIDSON, J.W. HEAD, K.L. JONES, and R.S. SAUNDERS, 1976. The Geology of Mars. Princeton University Press, 400 pp.
- OBERBECK, V.R., W.L. QUAIDE, and R.GREELEY, 1969. On the origin of lunar sinuous rilles. Modern Geology 1, 75-80.
- PETERSON, D.W., and D.A. SWANSON, 1974. Observed formation of lava tubes during 1970-71 at Kilauea Volcano, Hawaii. Studies in Speleology 2, Part 6, 209-222.
- ROMANO, R. and J.E. GUEST, 1979. Volcanic geology of the summit and northern flank of Mount Etna, Sicily. Boll. Soc. Geol. It. 98, 189-215.
- SCHULTZ, P.H. and P.D. SPUDIS, 1983. Beginning end of lunar mare volcanism. Nature 302, 233-236.
- STROM, R.G., 1979. Mercury: A post-Mariner 10 assessment. Space Science Reviews 24, 3-70.
- SURKOV, YU.A., 1983. Studies of Venus rocks by Veneras 8, 9, and 10. In D.M. Hunten, L.Colin, T.M. Donahue, and V.I. Moroz. eds., Venus, University of Arizona Press, 154-158.
- SWANSON, D.A., T.L. WRIGHT, and R.T. HELTZ, 1975. Linear vent systems and estimated rates of magma production and eruption for the Yakima Basalt on the Columbia Plateau. Amer. J. Sci. 275, 877-905.
- WOOD, C., 1977. Morphogenetic study of the 1614-24 lava flow and its lava tubes. In "United Kingdom Research on Mount Etna 1975-1976", The Royal Society, 25-27.

LE GROTTES DI SCORRIMENTO LAVICO DELL'ETNA (VERSANTE SUD) E LE CARATTERISTICHE PETROLOGICHE DELLE COLATE. NOTA PRELIMINARE

S. CUCUZZA SILVESTRI - Istituto di Scienze della Terra, Università di Catania

A. MARINO - Gruppo Grotte Catania C.A.I. Sez. dell'Etna, Catania

Riassunto

Nella presente nota preliminare vengono riferiti i primi risultati di una più vasta ricerca riguardante le relazioni che possono essere evidenziate tra la presenza di grotte di "scorrimento lavico" nelle colate dell'Etna e le caratteristiche petrologiche delle colate stesse, allo scopo di individuare eventuali parametri in base ai quali si possa ricavare qualche indicazione significativa sulla probabile presenza di cavità anche in colate non ancora compiutamente esplorate e, naturalmente, apportare qualche contributo al problema sui fattori speleogenetici.

Il settore preso in esame appartiene al versante sud del vulcano ed è compreso nelle seguenti tavolette I.G.M.: M.Etna Sud, Adrano, Belpasso, Acireale, Paternò, Mascalucia, Catania. Le indicazioni riguardanti le grotte derivano dalle pubblicazioni di BRUNELLI e SCAMMACCA (1975) e di BELLA, BRUNELLI, CARIOLA e SCAMMACCA (1983). I dati geologici sono in parte ricavati dalla recente Carta Geologica del M.Etna (C.N.R. 1979) e in parte da ricerche originali degli autori, così come quelli petrologici.

Circa la distribuzione spaziale delle cavità considerate (circa 80) risulta che non si hanno particolari addensamenti, anche se in qualche zona ne sono state rilevate in maggior numero o perché vi affiorano lave relativamente recenti o perché si tratta di aree più accessibili e quindi da tempo più conosciute. Naturalmente, in prima analisi, questa diversificazione non può essere messa in relazione alle caratteristiche proprie delle colate.

Dai primi dati elaborati risulterebbe che il maggior numero di grotte si sarebbe formato in lave di tipo hawitico più o meno tefritiche-fonolitiche (come gran parte delle colate degli ultimi secoli), specialmente in sottotipi ad alta porfiricità plagioclasica; discretamente frequenti sarebbero anche le grotte in lave "alcali-basaltiche", sempre con una leggera prevalenza in tipi porfirici plagioclasici. E' ovvio che tali dati geochimico-petrologici vanno correlati con quelli più spiccatamente fisici (temperatura, viscosità, ecc.) per completare sufficientemente il quadro dei parametri eventualmente utilizzabili allo scopo prefisso dall'attuale ricerca.

Summary

In this preliminary note the Authors report the first results of a wider research on the interconnections, which can become evident, between the presence of lava tube caves in Mt.Etna's lava flows and the petrological features of the flows themselves. The aim is to ascertain possible parameters providing a significant information on possible presence of caves even in not-investigated lava flows, and some contribution to the knowledge of genetic problems as well.

The examined area lies on the southern slope of Mt.Etna, and is included in the following I.G.M. plates: Mt.Etna Sud, Adrano, Belpasso, Acireale, Paternò, Mascalucia and Catania. The informations concerning the caves come from the volumes by BRUNELLI and SCAMMACCA (1975) and BELLA, BRUNELLI, CARIOLA and SCAMMACCA (1983). The geological data result partially from the last Geological

Map of Mt. Etna (C.N.R. 1979) and partially from original researches carried out by the Authors. Same sources originated the petrological data.

The examined caves (about 80) do not occur with particular crowding in the concerned area, though they are more numerous in some zones either because the outcropping lava is comparatively recent, or because the area is more accessible and therefore it is better known than another. Obviously, at the moment, this differentiations cannot be connected to caves' own features.

It comes out from the first elaborated data that the majority of caves formed in hawaiitic lavas more or less of tephritic-phonolytic type (as the most of lava flows in the last centuries), mainly in sub-types with a high percentage of plagioclase phenocrysts. Also caves in "alkalic-basaltic" lavas are moderately frequent, yet with a slight predominance of types as above. Anyhow the resulting geochemical and petrological data must be connected with the merely physical ones (temperature, viscosity, etc.). This completes the picture of possibly suitable parameters for the fulfilment of the present research.

N.d.R.

Non essendo pervenuto agli organizzatori il testo scritto della comunicazione, la stessa non viene inclusa negli Atti; la registrazione della stessa rimane tuttavia a disposizione degli interessati, per l'ascolto, presso la sede del Centro Speleologico Etneo.



Via Cagliari, 15 - 95127 CATANIA