

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 pahoehoe, 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 pahoehoe. 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 pahoehoe 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 espandimento 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)

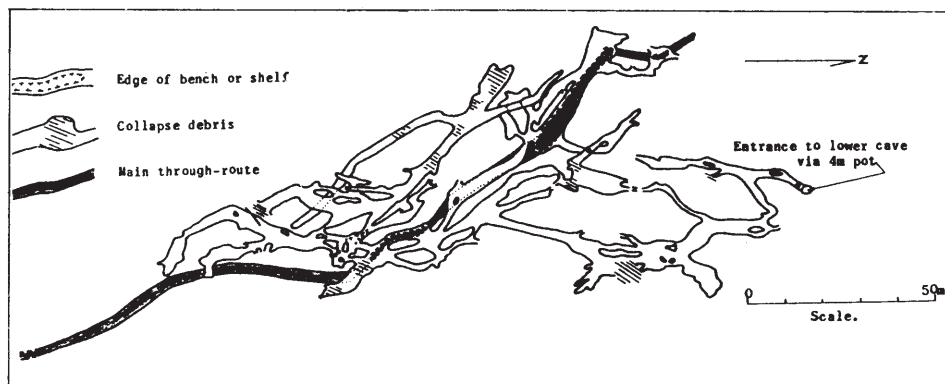
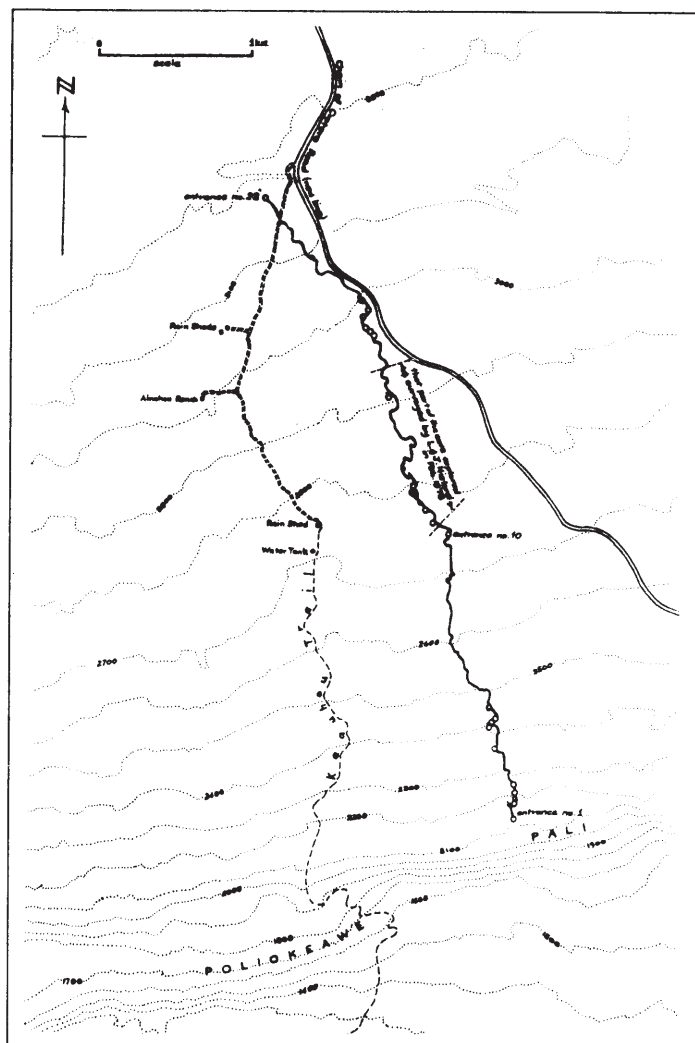


Fig.1b - Tracciato dei trabocchi nella Cueva del Viento, Tenerife.

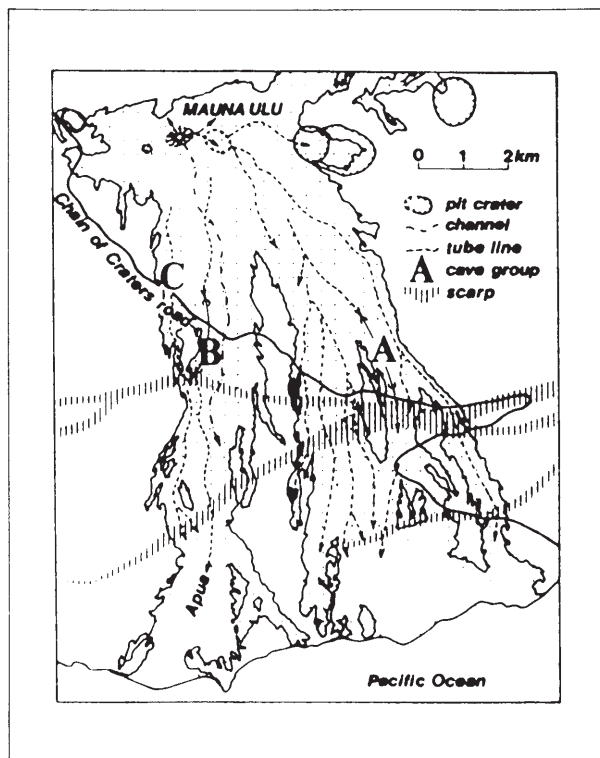


Fig.2 - Mappa del sistema di tubi del Mauna Ulu.

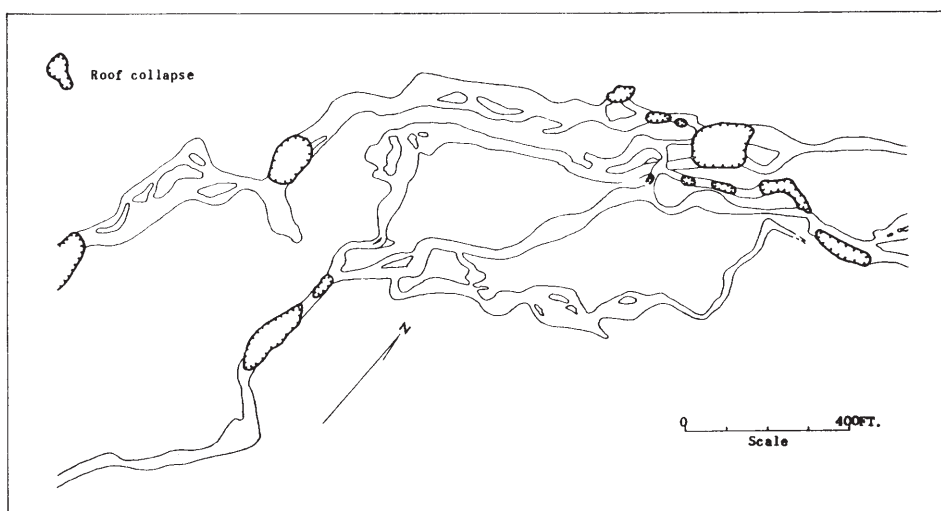
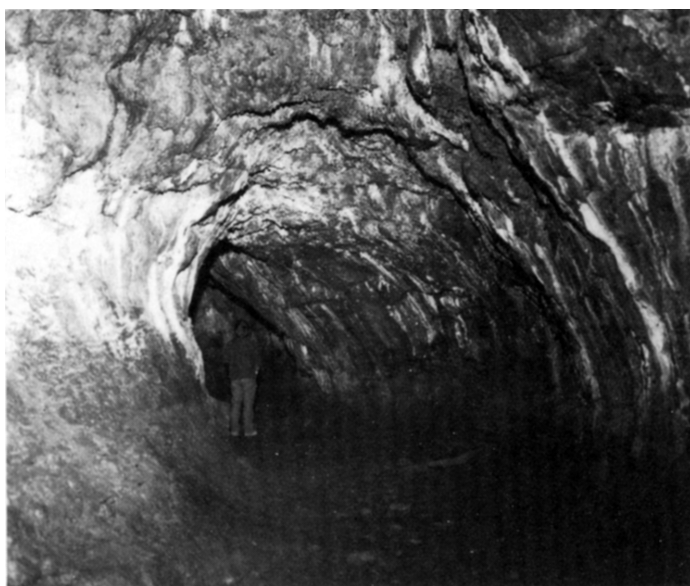
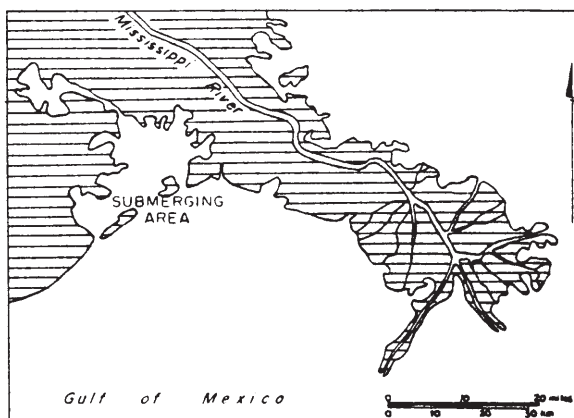


Fig.3 - Esempio di ramificazione in una galleria di scorrimento. Porzione del Labyrinth System, Monumento Nazionale dei Lava Beds, California. Rilevamento di Peck, Soper e Madaffer (Servizio dei Parchi Nazionali), 1963.

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.