

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 ignimbriche 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 ignimbrico, 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 ignimbriferi.

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 é avvenuto in condizioni ambientali eccezionali.

Cosí, 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 é uno strato-vulcano pleistocenico con componente lavica secondaria, i cui prodotti riolitici si trovano a strati discordanti nella sequenza, per lo piú basaltica, dell'"Afar Group" (Mohr, P.A. 1960). Esso si trova all'estremitá settentrionale della Main Ethiopian Rift Valley, circa 100 Km ad est di Addis Abeba. Il Fantalé é 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 é ancora oggi attivo in molte localitá. 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 sommitá é 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 verificó durante il tardo Pleistocene. L'ignimbrite ricopre una grossa porzione dei territori ai piedi del vulcano e, quasi ovunque, costituisce l'unitá litica posta piú 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 é 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'unitá. 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 piú superficiali, la roccia appare piuttosto compatta e ben saldata; tuttavia un esame piú accurato rivela la presenza di almeno tre livelli in cui i frammenti piú pesanti (in maggior parte litici) sono concentrati, interstratificati, con almeno quattro bande composte dalla frazione piú leggera (zolle di pomice e cenere). La transizione dalle bande leggere alle piú pesanti é 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 con 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.

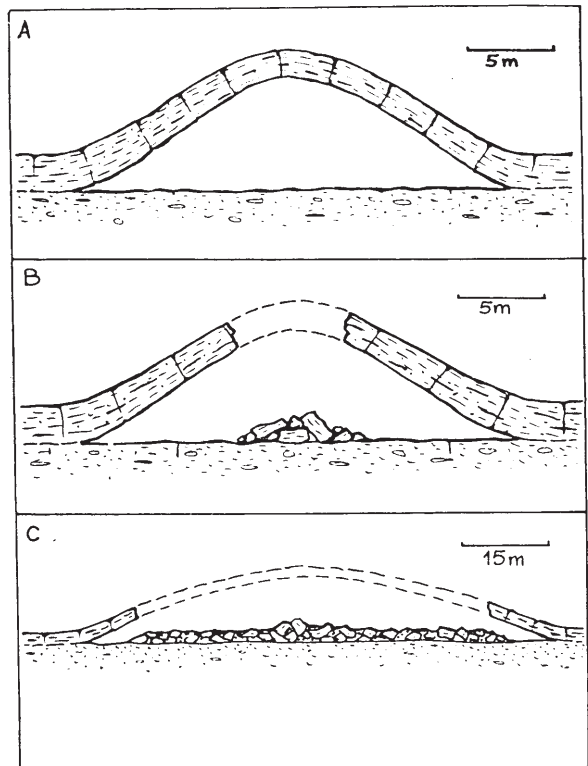


Fig.2 - Sezione trasversale di tre blisters rappresentanti tre differenti stadi di conservazione:
 A - integro (non collassato)
 B - aperto al vertice
 C - crollato (collassato)