

OSSERVAZIONI GEOMORFOLOGICHE SULLE CALDERE DELLA REGIONE VULCANICA DI AGERE HIYWET (AMBO-ETIOPIA)*

A. Pitzalis

Dip.to di Scienze della Terra, Università di Cagliari, Cagliari

ABSTRACT - *Geomorphological observations on the calderas of the Agere Hiywet volcanic region (Ambo-Ethiopia)* - Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences, 9(1), 1996, 393-398 - The morphostructural systems of the Haro Plain and Wenchi Lake calderas are studied from a geomorphological point of view to identify their genetic and evolutionary model. This system is the result of a series of tecto-magmatic events, which started in the upper Pliocene and culminated in the Holocene. These events initially gave rise to the Haro Plain caldera and later on to the Wenchi Lake caldera, passing through a series of morpho-evolutional stages which produced the present morphological landscape. The morphological structure of the Wenchi Lake caldera can be considered as a chaotic collapse structure, according to very recent theories on the genesis and development of calderas.

Parole chiave: Morfostrutture, caldera, vulcanismo plio-pleistocenico, Etiopia centrale
Key words: Morphostructures, caldera, Plio-pleistocenec volcanicism, Central Ethiopia

1. INTRODUZIONE

Agere Hiywet (Ambo) è un piccolo centro abitato situato a circa 200 km ad Ovest della capitale Addis Abeba (Etiopia). Esso si colloca in un'area dell'altopiano etiopico caratterizzata dalla presenza di numerose strutture calderiche e depressioni vulcano-tettoniche distribuite in un territorio di circa 3.000 km².

Nel presente lavoro si fa riferimento ad alcune di queste caldere: quella del Lago Wenchi, in cui si sviluppano due depressioni pressoché concentriche e di età differente; quella denominata Haro Plain, adiacente alla precedente e strettamente connessa ad essa dal punto di vista genetico ed evolutivo, ed infine quella più piccola di Wejira.

Alla luce del contesto tettonico e vulcanico sono state analizzate le caratteristiche morfologiche delle suddette depressioni al fine di ricostruirne la genesi e l'evoluzione.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

La zona oggetto di questo studio si trova nell'Etiopia centrale, nella regione dello Shoa, tra 9°00' e 8°40' di latitudine Nord, e 37°45' e 38°05' di longitudine Est Greenwich.

L'ossatura del territorio è costituita dai basalti appartenenti al ciclo magmatico delle *Trap Series*, ovvero alle vulcaniti che, in Etiopia e nel corno d'Africa in generale, hanno accompagnato i sollevamenti eocenici. Sopra i basalti giacciono vulcaniti acide di composizione

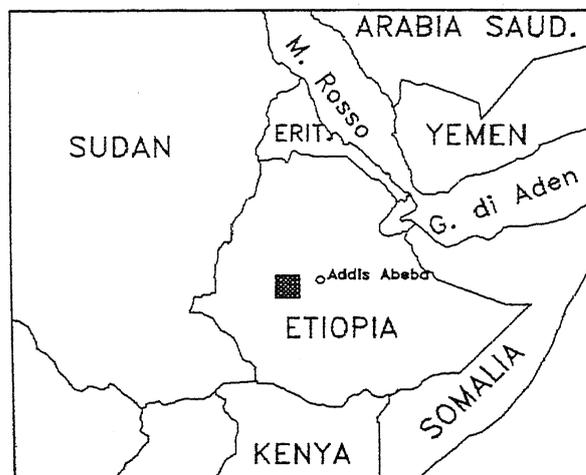


Fig. 1 - Inquadramento geografico della regione di Ambo.
Geographical setting of the Ambo region

trachitica, appartenenti al ciclo magmatico *post-rift* delle *Aden Volcanic Series* (Mohr, 1961). Le attività vulcaniche più recenti, attribuibili al Pleistocene (Smeds, 1964), ma alcune anche a tempi storici, sono responsabili della messa in posto di ingenti quantità di materiale piroclastico. I centri di emissione sono riconoscibili principalmente nella caldera del Lago Wenchi e in quella di Wejira nonché in alcuni piccoli centri di emissione posti lungo la congiungente le due strutture.

Dal punto di vista strutturale lo studio delle foto aeree e dell'immagine dal satellite ha messo in evidenza la pre-

* Lavoro eseguito nell'ambito della collaborazione scientifica tra il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Cagliari e l'Università di Addis Abeba; contributo MURST 40%; Responsabile A. Ulzega.

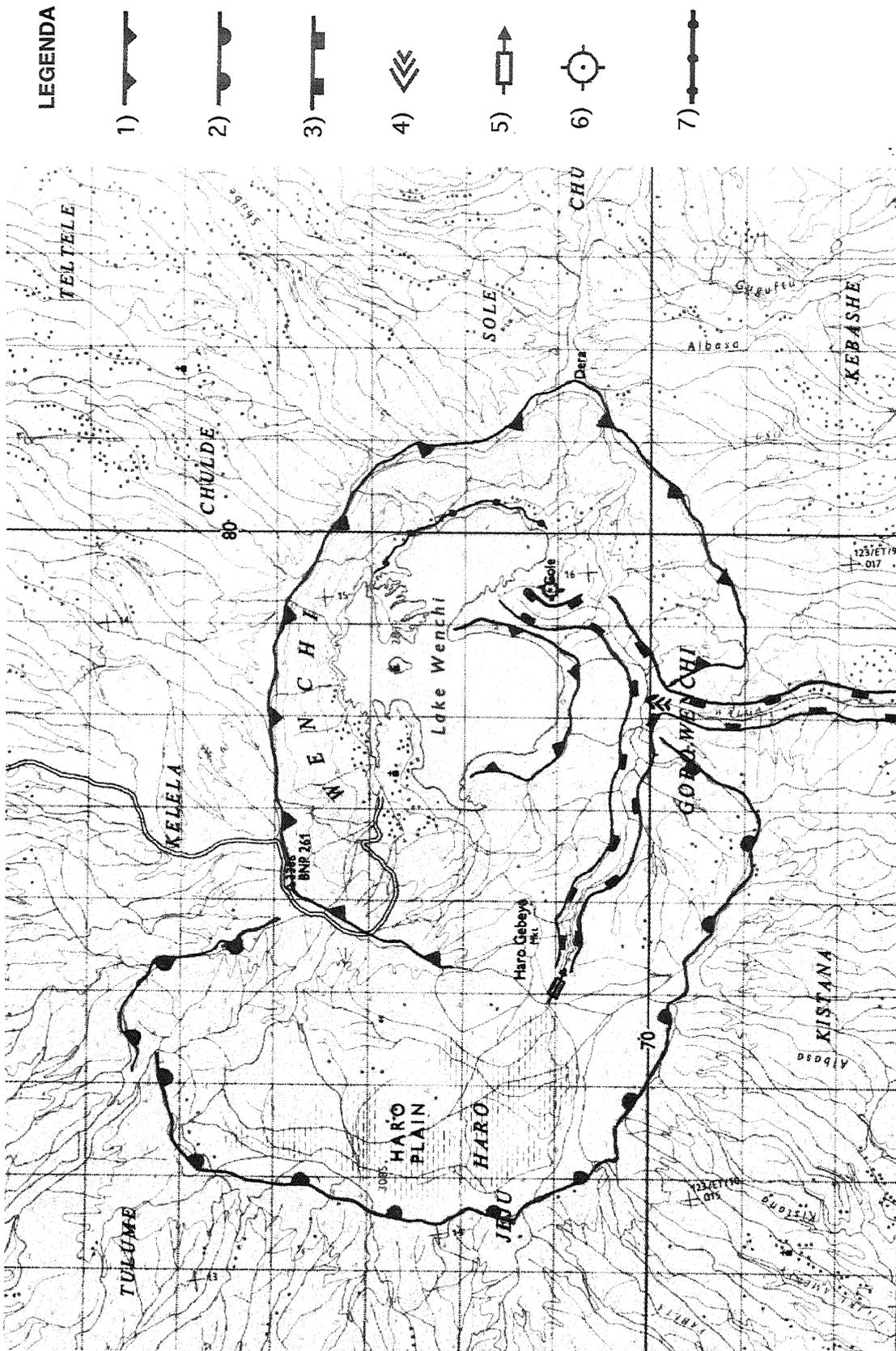


Fig. 2 - Principali elementi morfologici del sistema Haro Plain-Lago Wenchi. Legenda: 1) orlo di caldera; 2) orlo di caldera parzialmente eroso; 3) orlo di scarpata di erosione fluviale; 4) cattura fluviale; 5) cascata; 6) guglia vulcanica; 7) linea di riva sollevata.
 Main morphologic elements of the Haro Plain-Wenchi Lake system. Legend: 1) caldera rim; 2) partially eroded caldera rim; 3) edge of fluvio-erosional escarpments; 4) river capture; 5) cascade; 6) volcanic plug; 7) uplifted shoreline.

senza di tre lineamenti tettonici principali. Il più importante è quello correlabile con la faglia di Ambo, nel settore settentrionale del territorio. Esso si sviluppa in direzione Est-Ovest ed è quindi riconducibile alle lineazioni tettoniche del Golfo di Aden. Questo sistema tettonico è stato ampiamente dislocato da motivi strutturali più recenti, in particolare quello con direzione NW-SE, correlabile con le lineazioni del Mar Rosso, e quello con direzione NE-SW, riconducibile alle lineazioni tettoniche del *rift* etiope.

3. LA CALDERA DEL LAGO WENCHI: MORFOLOGIA, GENESI ED EVOLUZIONE

Il Lago Wenchi (2.950 m s.l.m.) è un esempio spettacolare di lago di caldera. Questo fa parte di un sistema morfostrutturale la cui storia genetica ed evolutiva è caratterizzata dal susseguirsi di numerosi eventi tettonici magmatici che ne hanno determinato l'attuale configurazione morfologica.

Di tale sistema fa parte anche l'Haro Plain, distante meno di tre chilometri dal Lago Wenchi, che rappresenta il fondo di un lago calderico prosciugato. Della caldera sono oggi visibili i bordi in uno stadio di erosione avanzata.

Nel sistema del Wenchi si possono riconoscere due caldere, una esterna, più antica, larga 6 km in direzione E-W e 5 km in direzione N-S, ed un'altra interna alla prima, di recente formazione, a forma di mezza luna con la concavità rivolta verso Nord, che dista circa 3 km dall'orlo settentrionale della caldera esterna.

Il *rim* della caldera interna (3.000 m s.l.m) si presenta estremamente acuto e tutto l'aspetto d'insieme mostra un'evidente freschezza morfologica. Quello della caldera esterna è, invece, più arrotondato; la superficie di raccordo tra un versante e l'altro è mediamente di 3 metri e si colloca a 3.300÷3.400 metri s.l.m. I versanti, costituiti da materiale piroclastico, sono intensamente incisi da profondi solchi di ruscellamento. Un'importante caratteristica morfologica del versante settentrionale della caldera esterna è la presenza di un potente banco ignimbrico che da luogo ad una netta cornice dislocata a differenti livelli da fenomeni di subsidenza, ed è da attribuire ad un'attività magmatica pre-calderica.

Il Lago Wenchi presenta due distinti bacini. Quello più orientale è caratterizzato da rive basse e molto frastagliate, ed una profondità massima di 50 metri.

Il bacino occidentale è al contrario molto profondo. Smeds (1964), considerando l'angolo d'immersione dei versanti della caldera interna, e ipotizzando costante tale inclinazione, stima la profondità di questo bacino in 400 metri; la profondità complessiva della caldera è quindi di circa 900 metri.

Immediatamente a Sud della caldera interna è presente una collina di forma triangolare denominata Gole. Dovrebbe trattarsi di una guglia vulcanica impostata in concomitanza con la formazione della caldera interna.

Tra questa collina e la caldera parte l'emissario del lago; l'acqua attraversa una stretta gola che a sua volta si ricollega ad un profondo *canyon* fluviale, disposto in direzione Est-Ovest, proveniente dall'Haro Plain.

Il *canyon*, denominato *Haro river*, che nel punto più profondo raggiunge i 400 m di profondità e 1,5 km di larghezza, è impostato probabilmente su una faglia ed è compreso tra il bordo della caldera interna e quello meridionale della caldera esterna. La parte più meridionale di quest'ultima è interrotta bruscamente nel suo settore centrale. Qui agisce intensamente l'erosione di un altro importante corso d'acqua che defluisce verso Sud. Questo si collega con il *canyon*, operando una cattura fluviale per arretramento di testata.

È probabile che l'acqua proveniente dall'Haro Plain un tempo confluiva nel Lago Wenchi e che il prosciugamento del paleolago sopraccitato sia da mettere in relazione con l'avvenuto collegamento tra i due sistemi.

La caldera dell'Haro Plain ha una forma allungata in direzione N-S, e la distanza tra i due punti estremi è di circa 5 km. Il bordo calderico è rappresentato da una successione di colline di altezza variabile dai 100 ai 200 metri, che contornano una vasta superficie piana dolcemente degradante verso Sud-Est. Questa è per la maggior parte ricoperta dal materiale di smantellamento dei bordi calderici a costituire una piana alluviale. L'incisione fluviale, in progressivo arretramento, osservabile nel settore orientale della piana e che probabilmente rappresenta l'emissario del paleolago, mette in evidenza un affioramento di depositi lacustri potenti fino a qualche metro. Questi sedimenti, inglobanti rami di albero fossilizzati, testimoniano dunque un paleolago calderico, la cui presenza deve avere anticipato la formazione della caldera del Lago Wenchi, e la cui scomparsa è probabilmente da mettere in relazione col medesimo evento.

I due sistemi, Haro Plain e Wenchi, sono quindi strettamente legati tra loro sia dal punto di vista genetico che evolutivo.

È probabile che prima degli eventi esplosivi esistessero almeno due centri di emissione, non necessariamente coevi, uno situato dove oggi troviamo l'Haro Plain, l'altro nell'attuale Lago Wenchi. Quando si formò la caldera dell'Haro Plain probabilmente il sistema del Lago Wenchi non esisteva ancora. Considerando lo schema vulcano-tettonico proposto da Budel (1954), la formazione della caldera dell'Haro Plain potrebbe essere collocata al passaggio tra il Pliocene e il Pleistocene. Sempre a questo momento apparirebbero le manifestazioni ignimbriche attualmente osservabili nel versante interno della caldera del Lago Wenchi (Smeds, 1964). Il confronto tra i differenti stadi morfoevolutivi delle caldere dell'Haro Plain e del Lago Wenchi porta ad ipotizzare che l'evento esplosivo responsabile della formazione della caldera esterna del Lago Wenchi può essere attribuito al Pleistocene medio. Prima e durante il collasso di una ipotizzabile struttura vulcanica, vennero eruttati ingenti quantità di materiale piroclastico che raggiunsero le porte del paese di Ambo, a 19 chilometri di distanza dal centro



Fig. 2 - Principali elementi morfologici del sistema Haro Plain-Lago Wenchi: 1) orlo di caldera; 2) orlo di caldera parzialmente eroso; 3) orlo di scarpata di erosione fluviale; 4) cattura fluviale; 5) cascata; 6) guglia vulcanica; 7) linea di riva sollevata.

Main morphological elements in the Haro Plain-Wenchi Lake system: 1) caldera rim; 2) partially eroded caldera rim; 3) edge of fluvial erosion escarpments; 4) fluvial capture; 5) cascade; 6) volcanic plug; 7) uplifted shoreline.

d'emissione. Durante il collasso si produssero grandi fratture, più o meno concentriche, una delle quali è quella su cui si è impostato il *canyon* fluviale dell'*Haro river*.

Sempre al Pleistocene medio può essere attribuito l'inizio dei processi erosivi e in particolare lo smembramento del bordo calderico meridionale ad opera dei corsi d'acqua.

All'interno della depressione così creata si venne a formare un lago che comunque doveva assumere una configurazione differente da quella attuale.

Dopo questa serie di avvenimenti si ebbe l'ultimo e ben più recente momento esplosivo, ovvero quello che generò la caldera interna e che ha dato l'attuale configurazione al Lago Wenchi. Questo nuovo evento riguardò soltanto il settore orientale del lago. Esso produsse il collasso di una parte del fondo del lago, che attualmente rappresenta il punto più profondo, e l'estruzione della guglia vulcanica di Gole. Il paleoWenchi doveva quindi estendersi più a Est di quanto non sia oggi, come testimoniano le linee di riva sollevate ben evidenti dalle foto aeree, che si trovano nella zona a Sud di Gole. Quindi, nel momento della formazione della caldera interna, ci fu un travaso d'acqua dal settore orientale a quello occidentale del lago.

La testimonianza di un sollevamento del livello del Lago Wenchi, verificatosi 3.400 anni B.P., dovuto secondo Smeds (op. cit.) ad eventi di natura tettonica, conferma l'importanza e la presenza di movimenti tettonici minori che possono tutt'oggi verificarsi.

4. GENESI DI UNA CALDERA

Lo studio del sistema Haro Plain-Wenchi ha portato ad esaminare la problematica della genesi di una caldera. Il termine caldera, come noto, viene utilizzato per indicare grandi depressioni vulcaniche, di forma solitamente circolare o ellittica, con diametro di norma superiore a 2-3 km, che occasionalmente possono raggiungere i 20 km (Ollier, 1990).

I meccanismi chiamati in causa per spiegare la genesi delle caldere sono sostanzialmente due. Il primo è un meccanismo fisico, dipendente dalla gravità, ovvero legato a collasso di un apparato vulcanico conseguente all'abbassamento del livello del magma nel condotto (Cicacci *et al.*, 1986; Marini, 1986) o, per quanto riguarda le caldere di grandi dimensioni, a sprofondamento di una massa più o meno cilindrica lungo fratture verticali che rappresentano la via di uscita preferenziale per grandi quantità di magma (Nappi *et al.*, 1991). L'altro meccanismo è legato ad intense attività esplosive capaci di disintegrare un apparato vulcanico, una parte del quale può collassare all'interno della depressione così formata ed un'altra piccola percentuale viene sparsa nei dintorni della caldera (Anguita *et al.*, 1991). I due meccanismi possono comunque concorrere congiuntamente (Buonasorte *et al.*, 1991).

Recenti studi in proposito hanno messo in evidenza, attraverso ricerche di carattere termodinamico, come occorra fare una distinzione tra caldere di grandi e piccole dimensioni. Scandone (1990) ritiene che la quantità di energia massima che si può sviluppare durante un'eruzione esplosiva, e quindi la massima quantità di energia

meccanica realmente disponibile a compiere lavoro, è sufficiente soltanto per giustificare la formazione di caldere di piccole dimensioni. Di conseguenza i meccanismi responsabili della formazione delle caldere di grandi dimensioni sarebbero altri, presumibilmente collassi.

Anche Yokoyama (1990), partendo da ricerche di carattere geofisico, pone un limite netto tra le due differenti strutture. Lo studio delle anomalie gravimetriche di Bouguer ha portato alla conoscenza della struttura interna di alcune caldere. Bassi valori di anomalie gravimetriche, dovute a riempimento di materiale piroclastico siliceo e frammenti litici di un antico edificio vulcanico, portano alla conclusione che la configurazione del fondo calderico sia a forma d'imbuto con stretto angolo. Questo è stato confermato anche da altri metodi geofisici. Una struttura di questo tipo è difficilmente spiegabile con semplici fenomeni di collasso. Quindi per questo genere di caldere la soluzione alternativa può essere un modello esplosivo che presuma l'estruzione di grandi quantità di materiale piroclastico. Alti valori di anomalie gravimetriche, al contrario, suggeriscono che il fondo calderico sia più o meno piatto, e ciò porta a ipotizzare un meccanismo genetico legato a fenomeni di subsidenza.

Nelle caldere cosiddette d'esplosione sono altresì possibili e anche frequenti fenomeni di collasso, per cui per questo tipo di caldere è stato coniato il termine di caldere di collasso caotico (Scandone, 1990).

Alla luce di quanto esposto è possibile classificare la struttura calderica del Lago Wenchi come una caldera di collasso caotico, anche se non si hanno ancora dati geofisici che confermino tale ipotesi. La mancanza di grandi quantità di frammenti litici all'interno dei depositi piroclastici contornanti la struttura, di per sé non esclude la possibilità di una disintegrazione di un ipotetico apparato vulcanico. L'edificio vulcanico potrebbe in effetti essere collassato all'interno della depressione formata in seguito all'esplosione. Fenomeni di collasso o subsidenza sono sicuramente avvenuti a più riprese, come testimoniato dal citato bancone ignimbritico dislocato a diverse altezze, ma questi rappresentano, con molta probabilità, momenti di assestamento legati all'intensa fratturazione provocata dagli eventi esplosivi.

5. CONCLUSIONI

Lo studio delle caratteristiche morfologiche, integrato dalle conoscenze vulcano-tettoniche e geologiche del territorio, ha consentito di ricostruire le varie fasi evolutive del sistema morfostrutturale della caldera del Lago Wenchi fino al raggiungimento della configurazione attuale.

Le varie fasi di formazione delle caldere del Lago Wenchi e dell'Haro Plain possono essere così riassunte:

1) Presenza di due ipotetici centri d'emissione localizzabili uno nell'attuale Haro Plain, l'altro nel punto oggi occupato dalla caldera del Lago Wenchi (Pliocene).

2) Genesi della caldera dell'Haro Plain in seguito ad eventi esplosivi seguiti da collasso lungo la direttrice NNW-SSE. Conseguente formazione di un lago calderico attualmente prosciugato. Messa in posto di potenti coltri ignimbritiche (Plio-Pleistocene).

3) Formazione della caldera esterna del Wenchi e

sviluppo del relativo lago calderico. Probabile collegamento, tramite l'*Haro river*, tra Haro Plain e paleolago Wenchi e conseguente svuotamento del bacino lacustre dell'Haro. Inizio del processo di smembramento del bordo calderico meridionale del Wenchi (Pleistocene medio).

4) Formazione della caldera interna per probabile subsidenza indotta da eventi esplosivi. Sviluppo del bacino occidentale dell'attuale Lago Wenchi e conseguente travaso d'acqua dal settore orientale a quello occidentale del lago stesso (Pleistocene superiore-Attuale).

5) Variazione improvvisa del livello di base del lago, (3.400 anni B.P.).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Anguita F., García Cacho L., Colombo F., González Camacho A. & Vieira R., 1991 - *Roque Nublo caldera: a new stratocone caldera in Gran Canaria, Canary Islands*. J. Volcan. & Geoth. Res., **47**, 45-63.
- Budel J., 1954 - *Klima-morphologische Arbeiten in Athiopien im Fruhjahr 1953*. Erdkunde, **8**, 252.
- Buonasorte G., Ciccacci S., De Rita D., Fredi P. & Lupia Palmieri E., 1991 - *Some relations between morphological characteristics and geological structure in the Vulsini Volcanic Complex (Northern Latium, Italy)*. Z. Geomorph. N. F., Suppl., **82**, 59-71.
- Ciccacci, S., De Rita D. & Fredi P., 1986 - *Studio geomorfologico delle depressioni vulcaniche di Sacrofano e Baccano nei Monti Sabatini (Lazio)*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 833-845
- Marini, A. & Nappi G., 1986 - *Origin and evolution of the Montefiascone caldera (Vulsini volcano)*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 657-665.
- Mohr P., 1961 - *The Geology of Ethiopia*. Central Printing Press, Addis Abeba.
- Nappi G., Renzulli A. & Santi P., 1991 - Evidence of incremental growth in the Vusinian calderas (central Italy). J. Volcan. & Geoth. Res., **47**, 13-31.
- Ollier C., 1990 - *Vulcani: attività, geografia, morfologia*. Zanichelli, Bologna.
- Scandone R., 1990 - *Chaotic collapse of calderas*. J. Volcan. & Geoth. Res., **42**, 285-302
- Smeds H., 1964 - *A note on recent volcanic activity on the ethiopian plateau, as witnessed by a rise of the level of Lake Wonchi 1400 B.P.* Acta geografica, **18**, 1-36.
- YokoYama I. & Mena M., 1991 - *Structure of La Primavera caldera, Jalisco, Mexico, deduced from gravity anomalies and drilling results*. J. Volcan. & Geoth. Res., **47**, 183-193

Ms. ricevuto : 25 maggio 1996
 Inviato all'A. per la revisione: 5 giugno 1996
 Testo definitivo ricevuto : 20 giugno 1996
 Ms received: May 25, 1996
 Sent to the A. for a revision: June 5, 1996
 Final text received: June 20, 1996