

ASPETTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI DEI VULCANI DI FANGO DEL BASSO VERSANTE SUD-OCCIDENTALE ETNEO ED IPOTESI SULLA LORO GENESI

P. Carveni (*), S. Benfatto (**) & G. Sturiale (*)

(*) Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università di Catania, Corso Italia 55, 95129 - Catania, Italia.

(**) Geologo, libero professionista, Via San Marco 91, 95047 - Paternò, Catania, Italia.

RIASSUNTO - *Aspetti geologici e geomorfologici dei vulcani di fango del basso versante sud-occidentale etneo ed ipotesi sulla loro genesi.* - Sono stati studiati tre gruppi di vulcani di fango ubicati sul basso versante sud-occidentale del Monte Etna. È stato condotto un rilievo geologico di dettaglio delle aree di stretto interesse, allo scopo di caratterizzare il substrato dei vulcani di fango; è stata inoltre eseguita una zonazione delle singole aree interessate dalle manifestazioni pseudovulcaniche, basata sulle caratteristiche morfologiche, fenomenologiche e sull'intensità delle manifestazioni.

La loro genesi è collegata ad una trappola strutturale, formata da una brachianticlinale che interessa le argille pleistoceniche del basamento etneo. In due zone la risalita dei fluidi avviene attraverso preesistenti condotti vulcanici; per la terza località si suppone un piano di faglia. Dalle analisi chimiche, risulta che le acque emesse sono acque marine fossili, contenute nelle sottostanti formazioni della Serie Gessoso-solfifera messiniana. L'anidride carbonica, il gas più abbondante tra quelli emessi, secondo gli studi di precedenti autori è prevalentemente di origine magmatica. Viene infine proposta una evoluzione morfologica degli apparati pseudovulcanici basata sulla densità dei fluidi emessi.

ABSTRACT - *Geological and geomorphological aspects of mud volcanoes located on south-western slope of Mt. Etna volcano: hypothesis about their genesis.* - *Three groups of mud volcanoes, located on the lower south-western slope of Mt. Etna volcano (Eastern Sicily), have been studied for this paper. They are located between Paternò and Belpasso villages; on the basis of their location, they have been named "Salinelle dei Cappuccini", "Salinelle del Fiume" and "Salinelle del Vallone Salato".*

Their genesis is connected with a structural trap, formed by a brachyantocline of Pleistocene clays forming the Etna basement.

Our research consists of:

a) a detailed geological survey, which permits the reconstruction of stratigraphic sequence of the interested area: the geological study results very important for the knowledge of mud fluids rising;

b) study of morphological and phenomenological evolution of mud volcanoes, during 4 years (1996-2000);

c) geochemical study of waters.

Stratigraphic sequence consist in:

- Numidian Flysch, brownish clays alternating with yellowish quartzarenites (Oligocene - Lower Miocene);

- Varicoloured Clays, with chaotic texture overthrust on Numidian Flysch (Upper Cretaceous - Eocene);

- Polizzi Formation, grey-green marly silty clays with intercalations of sandstones, white marls and marly limestones (Eocene);

- Terravecchia Formation, marls with sandy intercalations (Tortonian);

- Tripoli, Basal Limestones and Gypsum (Messinian);

- Trubi, white marls and marly limestones with globigerine (Lower Pliocene);

- Bluish Marly Clays, marly clays with no clear stratification (Lower - Middle Pleistocene);

- Sands, Sandstones and Conglomerates, yellow quartzose sands, sandstones and polygenetic conglomerates containing quartzarenitic clasts (Middle Pleistocene);

- Basal Subalkaline Lavas, subaerial lava sheets cut by river terraces (Middle Pleistocene);

- Lavas, Tephra and Tuffaceous Sediments From The Ancient Alkalic Centres, highly degraded lavas cut by river terraces, often with olivina and pyroxene megacrysts (Middle Pleistocene);

- Fluvial, Lacustrine and Marine Terraced Deposits (Tyrrenian - Holocene);

- Lava Flows of the Ancient and Recent Mongibello (Holocene).

Detailed geological survey, together with drilling data, permits us to say that in two places (Salinelle dei Cappuccini and Salinelle del Fiume) fluids uprise through pre-existing volcanic necks; in a third case (Salinelle del Vallone Salato) they uprise through a presumed fault plane. This is in contrast with a model till available in literature.

Detailed morphological researches suggest a zonation of mud apparatuses based on morphological and phenomenological features and on manifestations intensity. The morphological types have a good correlation with the Brown (1990) classification. Morphological evolution depends mainly on density of emitted muds, and secondarily on characteristics of preexisting ground surface.

On the basis of chemical analysis, it results that water coming out from the mud volcanoes is fossil marine water, hosted in the Miocene sedimentary rocks of the Mt. Etna basement. CO₂ is the copiosest escaping gas, and it is prevalently of magmatic origin.

Parole chiave: versante sud-occidentale dell'Etna, vulcani di fango, geologia, geomorfologia.

Key words: South-Western slope of Mt. Etna Volcano, mud volcanoes, geology and geomorphology.

1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

Con il termine *vulcani di fango* si indicano delle manifestazioni pseudovulcaniche, la cui origine è legata all'esistenza nel sottosuolo di gas naturali sotto pressione che tendono a sfuggire attraverso vie preferenziali (rocce permeabili e/o discontinuità litologiche),

trascinando nel loro movimento acqua, fango, frammenti litici e idrocarburi.

La genesi dei fanghi è da attribuire al passaggio di acqua attraverso formazioni argillose, con conseguente stemperatura delle particelle d'argilla; in dipendenza della maggiore o minore densità del fango emesso in superficie, si vengono a formare edifici a

tronco di cono dalle pendici più o meno inclinate, colate di fango o strutture negative subcircolari; in genere le acque contengono soluzioni saline, che, precipitando, formano caratteristiche incrostazioni, da cui il nome di *Salinelle* o *Salse*.

Si tratta di morfologie effimere, instabili, caratterizzate da repentini cambiamenti morfologici, le quali in brevi periodi possono subire profonde trasformazioni, sia in seguito a nuove emissioni, sia a causa degli agenti atmosferici; essendo infatti edifici costituiti prevalentemente da fango, l'insolazione ne provoca la disidratazione, con conseguente formazione di fratture di disseccamento, all'interno delle quali penetrano le acque piovane dando luogo a spinti fenomeni di erosione.

I vulcani di fango sono particolarmente diffusi nel Caucaso, in Birmania, in Indonesia ed in America Centrale.

In Italia sono note le Salse di Nirano e di Sassuolo (Emilia); in Sicilia esistono diversi vulcani di fango, talvolta conosciuti col termine di origine araba *maccalube*. In alcune zone l'attività è costante, come nelle *Maccalube* di Aragona (Agrigento), nelle *Maccalube* di Terra Pilata (Caltanissetta) e nelle *Salinelle* di Paternò e di Belpasso, oggetto della presente nota; in altre l'attività è sporadica, come alle *Macalube* di Monte Bissana presso Cattolica Eraclea (Agrigento) e al *Fuoco di Censo* presso Bivona (Agrigento); altri vulcani di fango sono ormai estinti, o danno luogo ad emissione di gas con portata discontinua, come la *Salsa* di Fondachello (Catania).

Nel presente articolo vengono studiati tre gruppi di vulcani di fango ubicati sul basso versante sud-occidentale dell'Etna. La ricerca, condotta da gennaio 1996 al dicembre 2000, è stata eseguita tramite rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio, allo scopo di evidenziare l'evoluzione dei fenomeni pseudovulcanici, per comprenderne la genesi e trovare eventuali relazioni con le strutture geologiche della zona.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

I vulcani di fango oggetto della ricerca si trovano sul basso versante sud-occidentale dell'edificio vulcanico etneo, il quale sorge al limite tra i più importanti domini strutturali della Sicilia orientale (Fig. 1):

a) la *Catena Appenninico-Maghrebide* si è formata in seguito allo scollamento, iniziato nel Miocene superiore, delle coperture mesozoico-cenozoiche della Tetide e dei paleodomini delineatisi nel paleomargine africano durante il Mesozoico (Lentini *et al.*, 1996). Su tali unità si ritrovano potenti successioni terrigene sinorogene di natura flyscioide di età infra-medio miocenica, a cui sono sovrapposte in discordanza ulteriori successioni terrigene di età tortoniana e plio-pleistocenica, le quali rappresentano i depositi di bacini satelliti e di avanfossa migranti verso meridione (Grasso & Butler, 1993);

b) la *Catena Kabilo-Calabride*, in ricoprimento tettonico sulla precedente, dal punto di vista geografico si identifica con i Monti Peloritani: essa è costituita da falde di metamorfiti erciniche di diverso grado, con resti delle coperture carbonatiche mesozoiche e cenozoiche, rappresentate da successioni terrigene flyscioide di età oligo-miocenica deformatasi a partire dal-

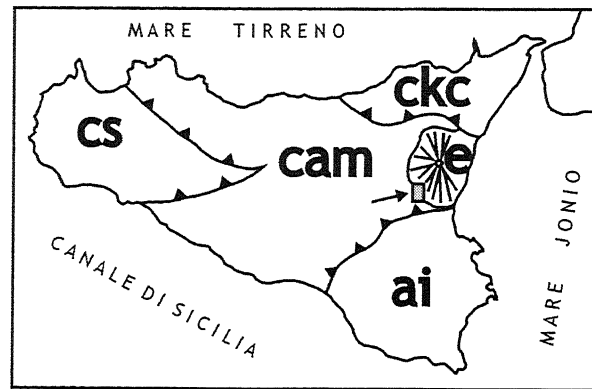


Figura 1: Schema strutturale della Sicilia (da Finetti *et al.*, 1996). **cs**) Catena Sicana; **cam**) Catena Appenninico-Maghrebide; **ckc**) Catena Kabilo-Calabride; **ai**) Avampaese Ibleo; **e**) Etna; la freccia indica l'ubicazione della zona in studio.

Figure 1: Structural scheme of Sicily (after Finetti *et al.*, 1996). **cs**) Sicana Chain; **cam**) Apenninic-Maghrebide Chain; **ckc**) Kabilo-Calabride Chain; **ai**) Iblean Foreland; **e**) Mount Etna volcano; arrow indicates position of studied area.

l'Eocene superiore (Lentini & Vezzani, 1975);

c) l'*Avampaese Ibleo* rappresenta la parte indeformata del margine continentale africano, ed è costituito da una successione prevalentemente carbonatica, estesa dal Mesozoico al Quaternario, con intercalati vari livelli di vulcaniti basiche (Patacca *et al.*, 1979); esso si immerge sotto le coltri più avanzate della Catena Appenninico-Maghrebide con una serie di faglie a gradinata con direzione NE-SW, ed è separato ad oriente dal Bacino Ionico tramite un altro sistema di faglie a gradinata con direzione NNW-SSE che forma la *Scarpata Ibleo-Maltese* (Lo Giudice *et al.*, 1982).

Nel corso del Pleistocene inferiore, in questo quadro geodinamico compressivo, a causa della differente velocità con cui avveniva la subduzione (maggiore sotto l'Arco Calabro, minore sotto la Catena Appenninico-Maghrebide), si originarono diversi sistemi di fratture con direzione NW-SE, NE-SW e E-W (Ghisetti & Vezzani, 1982; Scandone, 1982) alla cui intersezione si formò una zona di debolezza crostale che ha consentito la risalita di magmi dal mantello (Frazzetta & Villari, 1981).

3. GEOLOGIA DELL'AREA STUDIATA

La formazione geometricamente più profonda affiorante nell'area (Fig. 2) è il *Flysch Numidico* (di età oligo-inframiocenica), costituito da un'alternanza di banconi decametrici di *Argille brune* con intercalazioni di banchi quarzarenitici e/o strati di microconglomerati ortoquarzosi; lo spessore non è valutabile in quanto non affiora la base dell'unità; da perforazioni effettuate sui Monti Nebrodi risulta uno spessore intorno ai 2.000 metri, attribuito a raddoppi causati dalla sovrapposizione di falde tettoniche (Grasso *et al.*, 1978).

In contatto di ricoprimento tettonico sul *Flysch Numidico* si trovano coltri di *Argille Variegata Sicilidi*, costituite da una mescolanza caotica di argille di età compresa tra il Cretaceo superiore e l'Eocene, con inclusi di arenarie, siltiti, calcari mamosi e calcareniti a

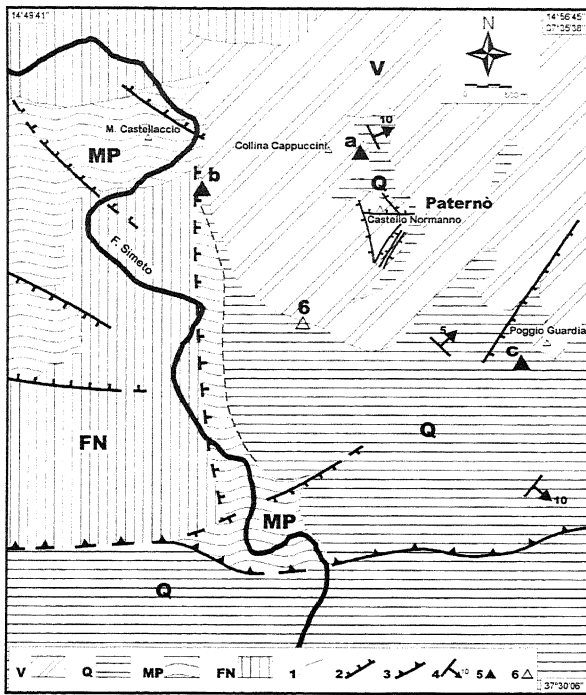


Fig. 2: V) Vulcaniti; Q) Sedimenti quaternari; MP) Formazione Terravecchia, Successione Evaporitica e Trubi; FN) Flysch Numidico, Argille Variegata Sicilidi e Formazione Polizzi; 1) Limiti stratigrafici (a tratti dove presunti); 2) Faglie (a tratti dove presunte); 3) Sovrascorrimenti (a tratti dove presunti); 4) Giaciture degli strati; 5) Ubicazione delle Salinelle: a) Salinelle dei Cappuccini; b) Salinelle del Fiume; c) Salinelle del Vallone Salato; 6) Mofeta.

Figura 2: schema geologico-strutturale della zona di Paternò.
Figure 2: geological-structural scheme of Paternò area.

Nummuliti (Romano *et al.*, 1979), e *klippen* marnoso-siltosi, con intercalazioni di arenarie giallastre della *Formazione di Polizzi* (Romano *et al.*, 1979).

In discordanza sui termini descritti affiorano le argille marnose tortoniane della *Formazione Terravecchia*, passanti verso l'alto alla *Serie Gessoso Solifera* messiniana.

Seguono in discordanza i *Trubi* (alternanze di marne calcaree e calcari marnosi infrapliocenici) e marne argillose medioplioceniche.

Verso l'alto giacciono in discordanza argille marnose azzurre infra-medio-pleistoceniche, deposte in un bacino di mare sottile (Wezel, 1967), evolventi a sabbie gialle con intercalazioni arenacee medio-pleistoceniche.

Al di sopra della serie sedimentaria descritta si sono riversate per prime alcune colate basaltiche ascrivibili alle *Lave subalcaline di base* (Romano *et al.*, 1979); queste sono state seguite da lave e piroclastiti emesse dai *Centri Eruttivi Alcalini Antichi* (Romano *et al.*, 1979), di cui fanno parte il *Conetto di Paternò* e il *Conetto dei Cappuccini*; datazioni assolute eseguite su campioni prelevati dalle lave del Conetto di Paternò hanno fornito un'età di 200.000 anni (Condomines *et al.*, 1982).

In seguito la zona è stata interessata dalla copertura di colate laviche provenienti da centri eruttivi del *Mongibello Antico* e del *Mongibello Recente* (Romano *et al.*, 1979).

La serie è chiusa da prodotti continentali rappresentati da *Alluvioni terrazzate e recenti*, formate prevalentemente da ciottoli quarzarenitici e subordinatamente da ciottoli basaltici e calcarei, dispersi in una matrice sabbioso-pellica; esse sono distribuite in sette ordini, e la loro genesi è in parte da attribuire a sbramenti causati da colate laviche riversatesi nell'alveo del Fiume Simeto, in parte a sollevamenti della regione con conseguente ringiovanimento dei corsi d'acqua e ripresa dell'erosione; questi depositi sono stati omessi nello schema geologico della Figura 2.

Strutturalmente l'area studiata è caratterizzata da una brachianticlinale con asse maggiore in direzione E-W, il cui nucleo argilloso è interessato da una deformazione sia plastica sia fragile pervasiva, indicativa di un trasporto tettonico verso oriente (Bousquet *et al.*, 1987; Labaume *et al.*, 1990); tale struttura è stata interpretata come il prodotto dell'ultimo impulso compressivo in direzione N-S della Catena Appenninico-Maghrebide, mentre il trasporto tettonico est-vergente è stato considerato uno scivolamento gravitativo laterale su un pendio generato da un *ramp* laterale, o come richiamo gravitativo indotto dalla scarpata ibleo-maltese (Labaume *et al.*, 1990); Borgia *et al.* (1992) ritengono invece che la brachianticlinale sia dovuta all'espansione laterale causata dal carico esercitato dalle rocce vulcaniche sovrastanti.

Qualunque sia la sua genesi, questo particolare assetto strutturale potrebbe aver causato l'accumulo, in una trappola ad anticlinale formata all'interno della sequenza sedimentaria pleistocenica, dei gas che fuoriescono attualmente dai vulcani di fango oggetto del presente studio.

4. I VULCANI DI FANGO

Gli edifici pseudovulcanici qui studiati si trovano in tre diverse località, distanti tra loro pochi chilometri; in base alla loro ubicazione sono stati chiamati rispettivamente: *Salinelle dei Cappuccini*, *Salinelle del Fiume* e *Salinelle del Vallone Salato*.

Tutti e tre i gruppi sono caratterizzati da sorgenti d'acqua fredda, fangosa e salata, con emissione di gas e, alcuni, di idrocarburi.

L'attività di questi vulcani di fango presenta fasi di diversa intensità: infatti essa è caratterizzata da fasi parossistiche intervallate da periodi di quiete più o meno lunghi.

Le più antiche testimonianze dell'attività parossistica sono reperibili in Silvestri (1866; 1879); in questi periodi nelle Salinelle dei Cappuccini si formarono colonne d'acqua alte fino a un metro e mezzo, con temperature di 48° C; la prima (1866) si manifestò 7 giorni dopo alcune scosse sismiche avvertite unicamente in ambito locale; la seconda (1878) avvenne dopo una serie di eventi sismici con epicentri localizzati tra Mineo e Palagonia.

Cumin (1954), in occasione di un'eruzione avvenuta tra il 1953 e il 1954, misurò una temperatura elevata solo in quelle bocche che emettevano acido solfidrico, mentre nelle altre bocche si manteneva una temperatura normale; inoltre, egli notò che l'acido solfidrico era presente solo durante le fasi parossistiche, e completamente assente nei periodi di emissione tranquilla.

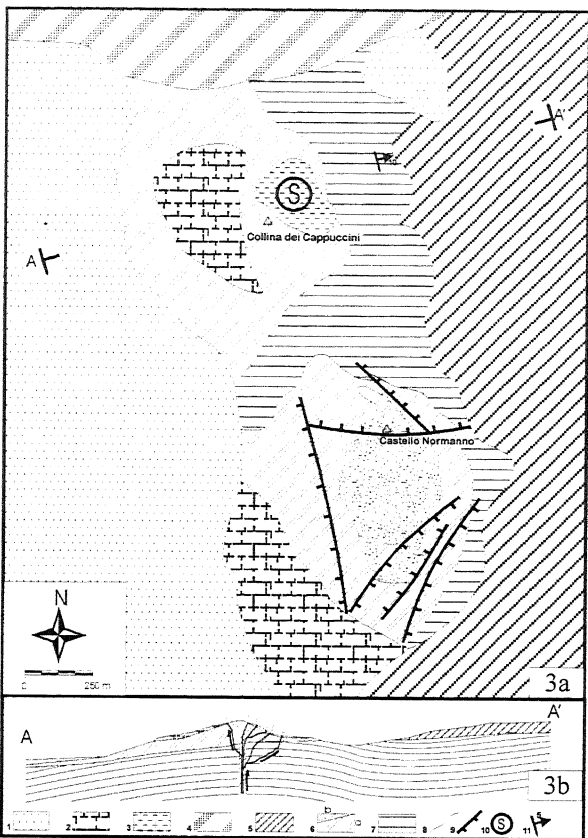


Fig. 3: 1) Alluvioni terrazzate del F. Simeto; 2) Travertino; 3) Depositi fangosi delle salinelle; 4) Lave del Mongibello; 5) Lave dell'Ellittico; 6) a-Lave dei centri alcalini antichi, b-piroclastiti; 7) Argille marnose azzurre; 8) Limiti stratigrafici; 9) Faglie, trattini sul lato abbassato; 10) Ubicazione delle Salinelle dei Cappuccini; 11) Giacitura degli strati.

Figura 3: a) schema geologico e b) profilo geologico dell'area delle Salinelle dei Cappuccini.

Figure 3: a) geologic scheme and b) geologic section of Salinelle dei Cappuccini zone.

4.1. Le Salinelle dei Cappuccini

Sono conosciute in letteratura col nome di "Salinelle dello Stadio", esse si trovano alla periferia occidentale dell'abitato di Paternò, sul versante settentrionale della collina dei Cappuccini (coordinate 33SVB903586), sulla quale affiorano colate laviche attribuite ai centri eruttivi dell'Ellittico (Romano *et al.*, 1979).

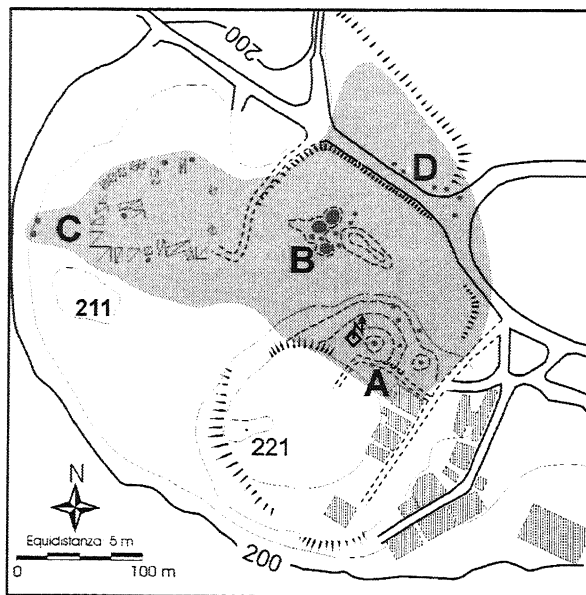


Figura 4: pianta delle Salinelle dei Cappuccini: la zona in campo grigio indica i depositi di fango, le aree subcircolari più scure i punti di emissione; A) zona meridionale; B) zona centrale; C) zona occidentale; D) zona settentrionale.

Figure 4: Salinelle dei Cappuccini map: grey zone corresponds to mud deposits, dark grey subcircular zones are mud volcano vents; A) southern zone; B) central zone; C) western zone; D) northern zone.

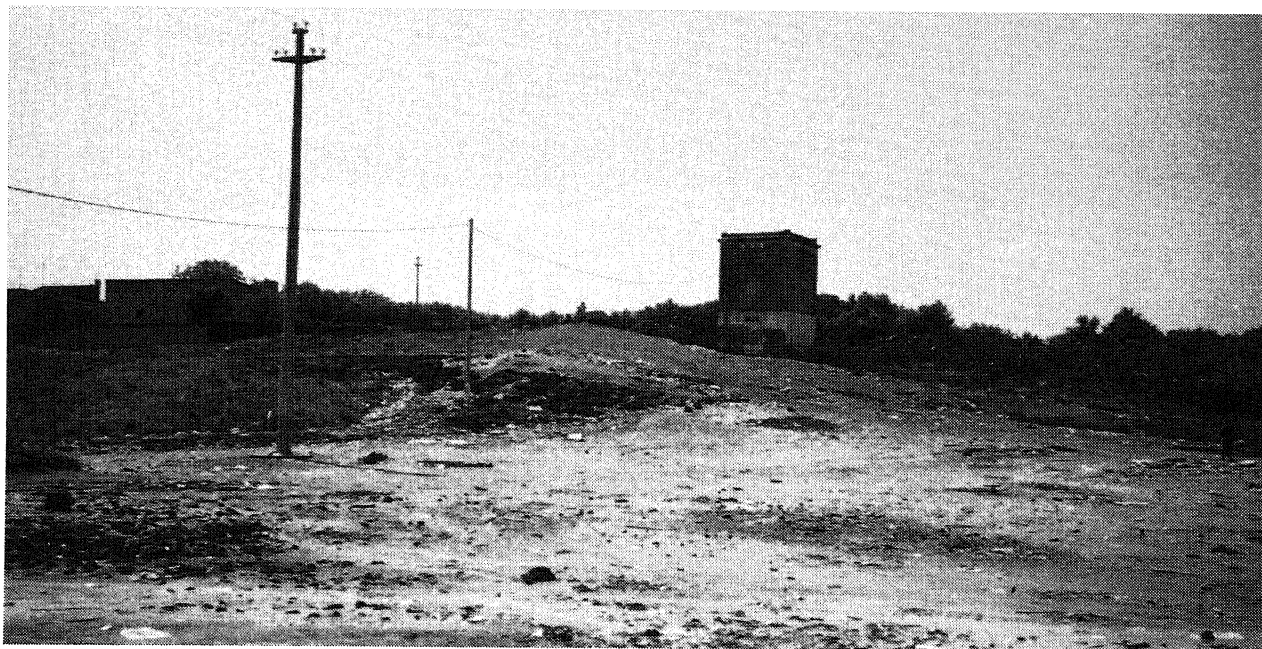


Figura 5: panoramica della zona A della Figura 4.

Figure 5: panoramic view of A zone.

La direzione di flusso delle colate laviche risulta radiale rispetto alla zona centrale, che corrisponde alla zona topograficamente più elevata della Collina dei Cappuccini, la quale, quindi, costituirebbe un edificio vulcanico a sé stante, profondamente interessato da fenomeni erosivi, simile al Conetto di Paternò (Fig. 3).

L'esistenza di un centro eruttivo in corrispondenza della collina dei Cappuccini è anche avvalorata dai dati relativi a perforazioni condotte nel 1958 per ricerche di idrocarburi, che hanno attraversato lave fino alla profondità di 400 metri (Accordi, in Cristofolini, 1967); poichè lo spessore delle colate laviche nelle zone circostanti è nettamente inferiore, è verosimile che la perforazione in oggetto sia stata effettuata lungo un condotto vulcanico, lo stesso attraverso il quale sono risalite, almeno in parte, le lave che affiorano sulle pendici della collinetta in oggetto; è verosimile che i fluidi responsabili delle manifestazioni pseudovulcaniche sfruttino per la loro risalita questo condotto, la cui permeabilità è sicuramente superiore a quella delle argille che costituiscono il substrato (Fig. 3 b).

L'area delle Salinelle è stata divisa in quattro zone (Fig. 4), sulla base della morfologia, della fenomenologia e sul grado di attività presentato.

Nella zona **A**, caratterizzata da intensa attività, sono presenti alcuni punti di emissione che con la loro attività hanno dato luogo alla costruzione di conetti di fango, tra i quali il maggiore, attivo fino al 1991 (Figg. 5 e 6), ha raggiunto un'altezza di circa 4 metri rispetto al primitivo piano di campagna; l'inclinazione dei fianchi del cono in oggetto variava dai 70° nella zona sommitale ai 10°; il cratere raggiunse un diametro massimo di 80 centimetri; nel periodo di maggiore attività venivano emessi 3-4 litri di fango all'ora. Attualmente questo apparato eruttivo è completamente inattivo e sottoposto a intensi fenomeni erosivi.

Altri punti di emissione sono attualmente dispersi in maniera casuale sul versante settentrionale della collina, senza alcun evidente allineamento; essi hanno avuto un'effimera attività di emissione di fango molto fluido, con conseguente formazione di colate ma non di edifici conici.

La zona **B** presenta un'aprezzabile attività, caratterizzata dall'apertura di depressioni

circolari, con diametro variabile da un centimetro a 5 metri, dalle quali escono acque poco fangose, a volte limpide. Il risultato di questa attività è una superficie di campagna acquitrinosa, fangosa, con numerose polle e depressioni circolari o subcircolari, presentanti spesso fratture di disseccamento radiali e/o concentriche. La zona **B**, contrariamente alla precedente, non è interessata dalla presenza di rilievi morfologici dovuti all'accumulo di materiale fangoso; la sua morfologia è infatti pianeggiante.

I crateri di maggiori dimensioni si sono sviluppati ad iniziare dal mese di agosto 1999 (Fig. 7); essi hanno avuto un'intensa fase iniziale, con l'emissione di colonne di acqua alte fino a 50 centimetri; attualmente (dicembre 2000) la loro attività consiste nella

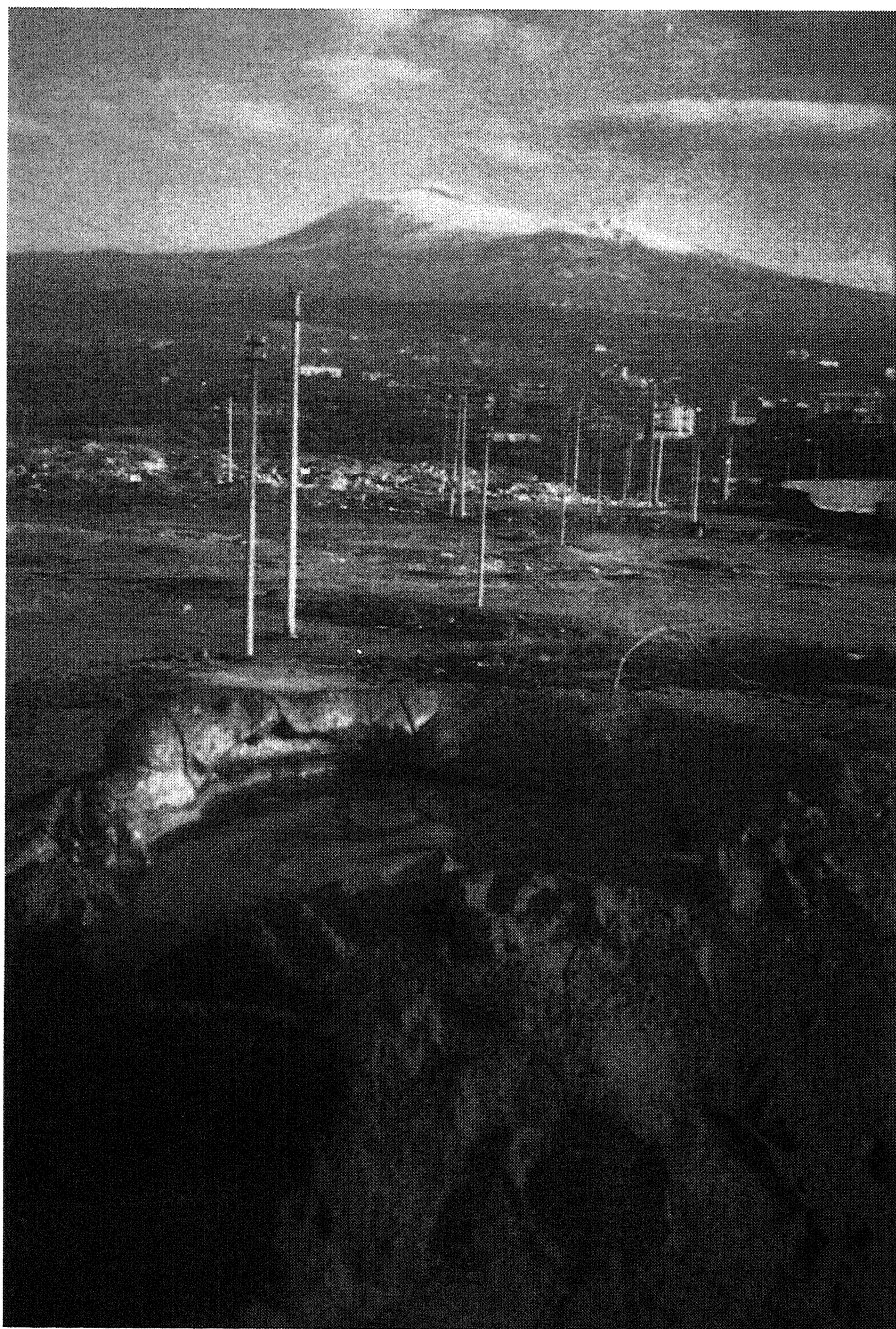


Figura 6: cratere del maggiore edificio della zona **A**.
 Figure 6: crater of the bigger mud volcano of **A** zone.

	Morfologia risultante	Tipo di emissione	Intensità dei fenomeni
Zona A	Rilievo positivo	Fango ad alta densità	Alta
Zona B	Pianeggiante	Fango a bassa densità	Alta
Zona C	Pianeggiante	Acqua limpida	Bassa
Zona D	Pianeggiante	Acqua limpida	Media

Tabella 1
Plate 1

fuoriuscita di ridotte quantità di acqua fangosa a bassa densità e gas.

Il settore **C** presenta una morfologia simile a quella della zona **B**; in esso, però, l'attività è quasi del tutto estinta; sono state infatti osservate scarse emissioni d'acqua fangosa a bassa densità, da sorgenti che hanno mostrato un'attività effimera.

Il settore **D** presenta caratteristiche morfologiche simili a quelle del settore **C**; esso è una vasta area, già sede di emissioni di fango (Cumin, 1954), attualmente ricoperta da materiali di riporto; l'elemento discriminante rispetto alla zona **C** è costituito dalla presenza di alcune sorgenti di recente attivazione.

I principali dati su cui è stata basata la zonazione sono riportati nella Tabella 1.

4.2. Le Salinelle del Fiume

Sono ubicate in Contrada Coscia del Ponte (coordinate 33SVB881581, Fig. 8).

La zona interessata dall'attività pseudovulcanica è stata suddivisa in due parti (Fig. 9: **A** e **B**), grosso modo separate da un canale artificiale. La suddivisione dell'area è basata sull'esistenza di due distinte aree di risalita dei fluidi, che non presentano tuttavia sostanziali differenze di ordine morfologico, fenomenologico o di intensità delle manifestazioni.

La zona **A** poggia su una superficie spianata al di sopra della quale si trova un affioramento di roccia vulcanica attribuita da La Manna & Carnazzo (2000)



Figura 7: una delle maggiori bocche della zona **B**.

Figure 7: one of largest craters of **B** zone.

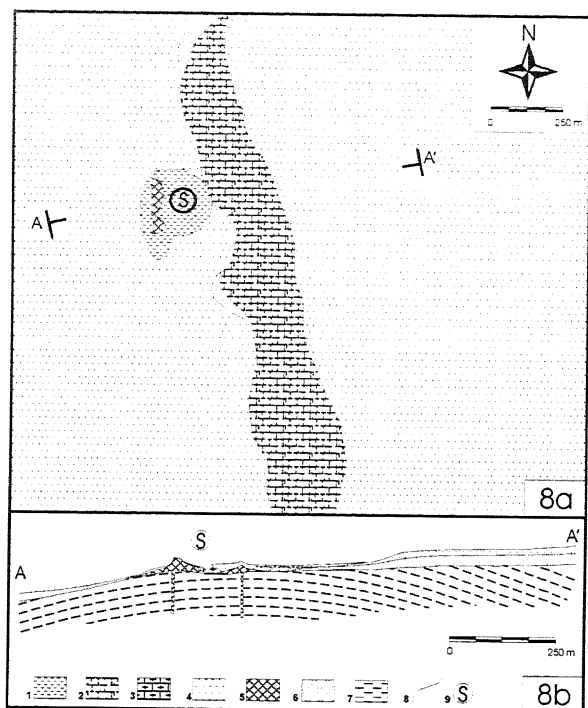


Fig. 8: 1) Depositi fangosi delle Salinelle; 2) Travertino; 3) Travertino con grossi blocchi lavici; 4) Alluvioni terrazzate; 5) Lave della zona delle Salinelle; 6) Lave dei Centri Alcalini Antichi; 7) Argille marmose azzurre e sabbie giallastre infrapleistoceniche; 8) Limiti stratigrafici; 9) Ubicazione delle Salinelle.

Figura 8: a) schema geologico e b) profilo geologico dell'area delle Salinelle del Fiume.

Figure 8: a) geologic map and b) geologic section of Salinelle del Fiume zone.

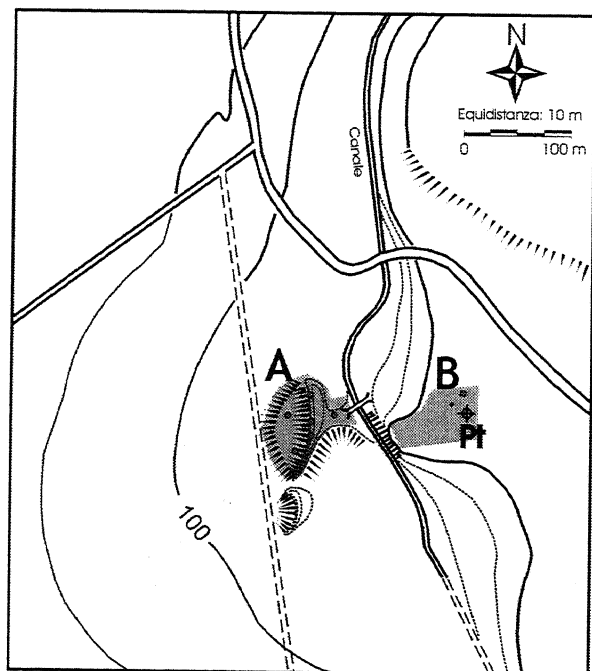


Figura 9: pianta delle Salinelle del Fiume. A) zona principale di emissione di fango; B) zona secondaria con attività ridotta; Pt) pozzo trivellato.

Figure 9: Salinelle del Fiume map. A) main mud emission area; B) secondary mud emission area; Pt) well.

all'attività dei Centri Eruttivi Alcalini Antichi. Queste lave si ergono al di sopra di una superficie pianeggiante costituita da depositi alluvionali terrazzati del Simeto, formando due affioramenti a semicupola, con scarpate fino a quattro metri di altezza sul fianco occidentale. A oriente le lave sono sepolte da fanghi e da incrostazioni di travertino emessi dalle salinelle.

La zona **B** forma una collinetta tondeggiante che si innalza di circa quattro metri rispetto al circostante piano di campagna.

Nel periodo in cui sono state fatte le osservazioni, l'attività eruttiva dei vulcani di fango è stata sempre scarsa: l'emissione di acqua fangosa era circoscritta a una o al massimo due bocche, mentre da diverse mofete venivano emesse piccole quantità di gas. Lo spessore massimo dei depositi fangosi e di travertino è di circa 6 metri.

Lungo la trincea del canale affiora una breccia formata da blocchi spigolosi di lava, con dimensioni fino a 70 centimetri, inglobati da strati di travertino con direzione N-S e immersione a Est, con inclinazione di 10-20°.

Il fenomeno più importante da noi registrato alle Salinelle del Fiume è consistito nell'emissione di acque che hanno depositato incrostazioni di travertino nella zona **A** (Fig. 10); tali emissioni di acqua sono avvenute nel periodo compreso tra novembre e dicembre 1999. La fuoriuscita del fluido è occorsa da fratture di contrazione termica del corpo lavico, suggerendo l'ipotesi che, similmente a quanto dimostrato per le Salinelle dei Cappuccini, la via preferenziale di risalita dei fluidi possa essere identificata con un preesistente condotto eruttivo. Meno importanti sono state le emissioni di fango.

L'evidenza fenomenologica suggerisce quindi la presenza di apparati vulcanici scarsamente esposti in affioramento, attraverso i cui condotti si verifica la risalita delle acque fangose e/o ricche di bicarbonato di calcio che danno luogo ai fenomeni in studio. Di contro, sul terreno non sono state rilevate altre strutture che suggeriscano una diversa via di risalita dei fluidi.

Nella Figura 11 è ricostruita la probabile evoluzione del fenomeno: nella prima fase (Fig. 11: 1) avviene la risalita magmatica con conseguente emissione di lave; nella seconda fase (Fig. 11: 2) gli edifici vulcanici hanno subito profonde modifiche causate dall'erosione, ed ha inizio la fuoriuscita di fango; nella terza fase (Fig. 11: 3), corrispondente alla situazione attuale, prosegue la fuoriuscita di fango e acqua ricca di sali, con conseguente deposizione di travertino.

4.3. Le Salinelle del Vallone Salato

Sono ubicate sul versante sud-occidentale di Poggio Guardia (coordinate 33SVB929554); i depositi fangosi poggiano su un substrato di argille sabbiose infrapleistoceniche, passanti verso l'alto a sabbie (Fig. 12); lungo il pendio affiorano depositi epiclastici che sono stati studiati da Stella Starabba (1930), il quale li ha attribuiti all'attività di un presunto antico centro eruttivo eccentrico preetneo.

Le Salinelle occupano una superficie di alcune migliaia di metri quadrati e comprendono diverse sorgenti di acque ipersaline, con contenuto variabile di fango in sospensione.



Figura 10: incrostazioni di travertino depositate da acqua fuoriuscita dalle fratture di contrazione termica del corpo lavico.
 Figure 10: travertine deposited by water springing out from thermal contraction fractures.

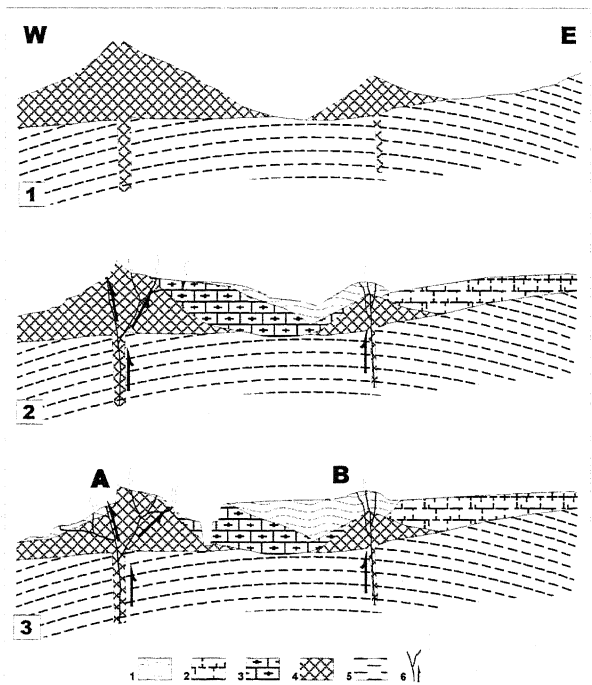


Fig. 11: 1) Depositi fangosi delle Salinelle; 2) Travertino; 3) Travertino inglobante grossi blocchi lavici; 4) Lave; 5) Argille azzurre e Sabbie giallastre infrapleistoceniche; 6) Condotti di risalita delle acque fangose.

Figura 11: ipotetica evoluzione geologico-geomorfologica delle Salinelle del Fiume.
 Figure 11: hypothetic geologic-geomorphologic evolution of Salinelle del Fiume.

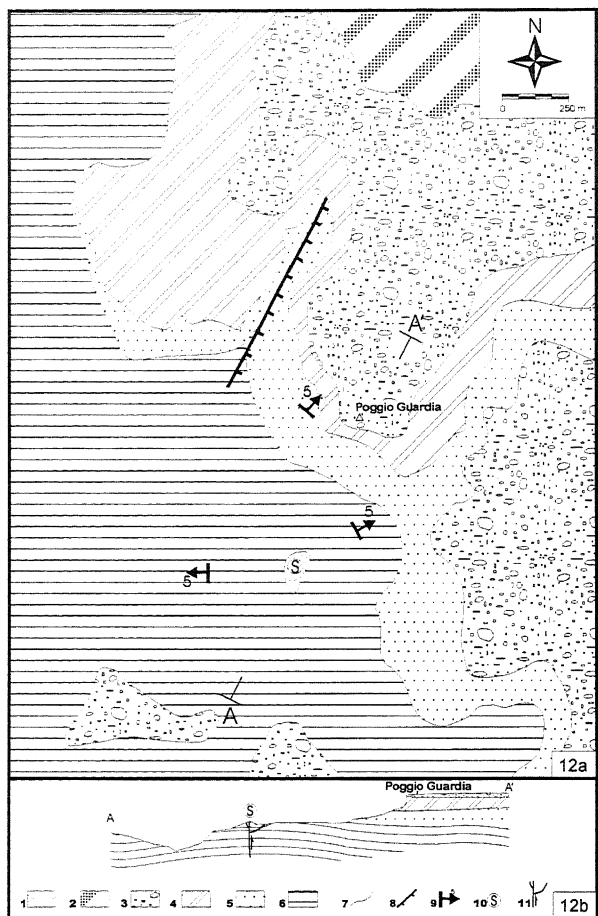


Fig. 12: 1) Depositi fangosi delle Salinelle; 2) Lave etnee recenti 3) Alluvioni terrazzate; 4) Lave subcalchine di base; 5) Sabbie giallastre; 6) Argille marnose azzurre; 7) Limiti stratigrafici; 8) Faglie; 9) Giacitura degli strati; 10) Ubicazione delle Salinelle; 11) Condotti di risalita dei fanghi delle Salinelle.

Figura 12: a) schema geologico e b) profilo geologico dell'area delle Salinelle del Vallone Salato.
 Figure 12: a) geologic scheme and b) geologic section of Salinelle del Vallone Salato zone.

Durante il periodo in cui sono stati fatti i rilievi ed i campionamenti si è notata una continua evoluzione morfologica del sistema.

Nel complesso delle Salinelle del Vallone Salato sono riconoscibili tre edifici conici, parzialmente coalescenti (Fig. 13), allineati in direzione NNE-SSW: il *Cono Settentrionale* (Fig. 13: A), il *Cono Centrale* (B) ed il *Cono Meridionale* (C), che raggruppa la maggior parte dei punti di emissione; a WSW di questo si trovano altri punti di emissione (Fig. 13: 17 e 18), i cui prodotti hanno edificato un cono di minore dimensioni (D). Il complesso descritto raggiunge un'altezza di circa 10 metri rispetto al preesistente piano di campagna.

Il Cono Settentrionale si è formato per l'accumulo di colate di fango emesse dalla bocca 1 (Fig. 13: 1; Fig. 14), tutt'ora debolmente attiva e di altre bocche attualmente estinte (Fig. 13: 2, 3, e 4).

L'area sommitale del Cono Meridionale è caratterizzata da tre bocche (Fig. 13: 5, 6 e 7), che, nel corso delle ricerche, hanno subito sostanziali modifiche. Lungo i versanti dell'edificio si trovano altri gruppi di punti di emissione, distribuiti prevalentemente in due settori circolari.

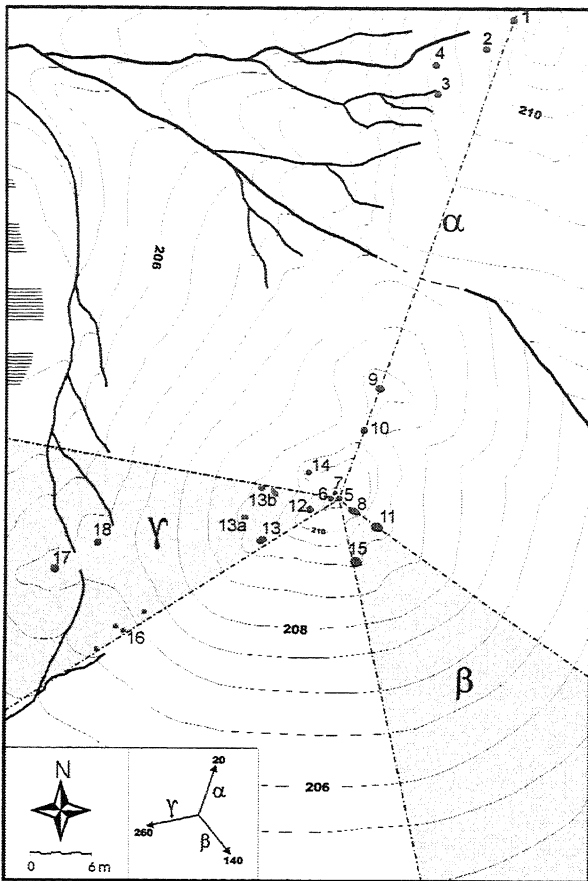


Figura 13: pianta delle Salinelle del Vallone Salato.
 Figure 13: map of Salinelle del Vallone Salato zone.

Sono stati identificati un allineamento e due settori circolari entro i quali ricadono la quasi totalità dei punti di emissione riconosciuti nel periodo di studio (Fig. 13).

L'allineamento è individuato dalle zone sommitali dei tre edifici; i punti 9 e 10, nel periodo delle ricerche, hanno emesso numerose colate di fango; attualmente (dicembre 2000) sono inattivi. Questo allineamento risulta parallelo ad allineamenti morfostrutturali riconosciuti tramite aerofotografie.

Nel settore SE-SSE (β) rientrano le bocche 8, 11 e 15 (Fig. 13; Fig. 15). Le prime due sono polle ellissoidali con asse maggiore con azimut N 124°; la terza corrisponde ad una polla d'acqua con orlo irregolare, diametro massimo di 55 centimetri con azimut N 140°; sul fondo sono presenti incrostazioni ferrose. L'attività per tutti e tre i punti consiste in emissione di fango, gas e piccole quantità di idrocarburi.

Il settore WSW (γ) comprende i punti 12, 13, 13 a, 13 b, 16, 17 e 18. L'attività di queste sorgenti è stata caratterizzata, dal 1996 ad oggi, dall'emissione di fango con densità variabile nel tempo.

L'allineamento potrebbe corrispondere ad una frattura principale, in quanto coincidente con la direzione identificata dalle tre maggiori culminazioni; la distribuzione delle altre bocche forma allineamenti con angoli di circa 120° rispetto alla frattura principale: si può ritenere che esse siano ubicate lungo zone di debolezza conseguenti a fenomeni di *spreading*, dovuti ad un lento movimento verso meridione della massa fangosa, provocato dal peso stesso dell'edificio e dalla direzione di massima inclinazione del pendio preesistente.

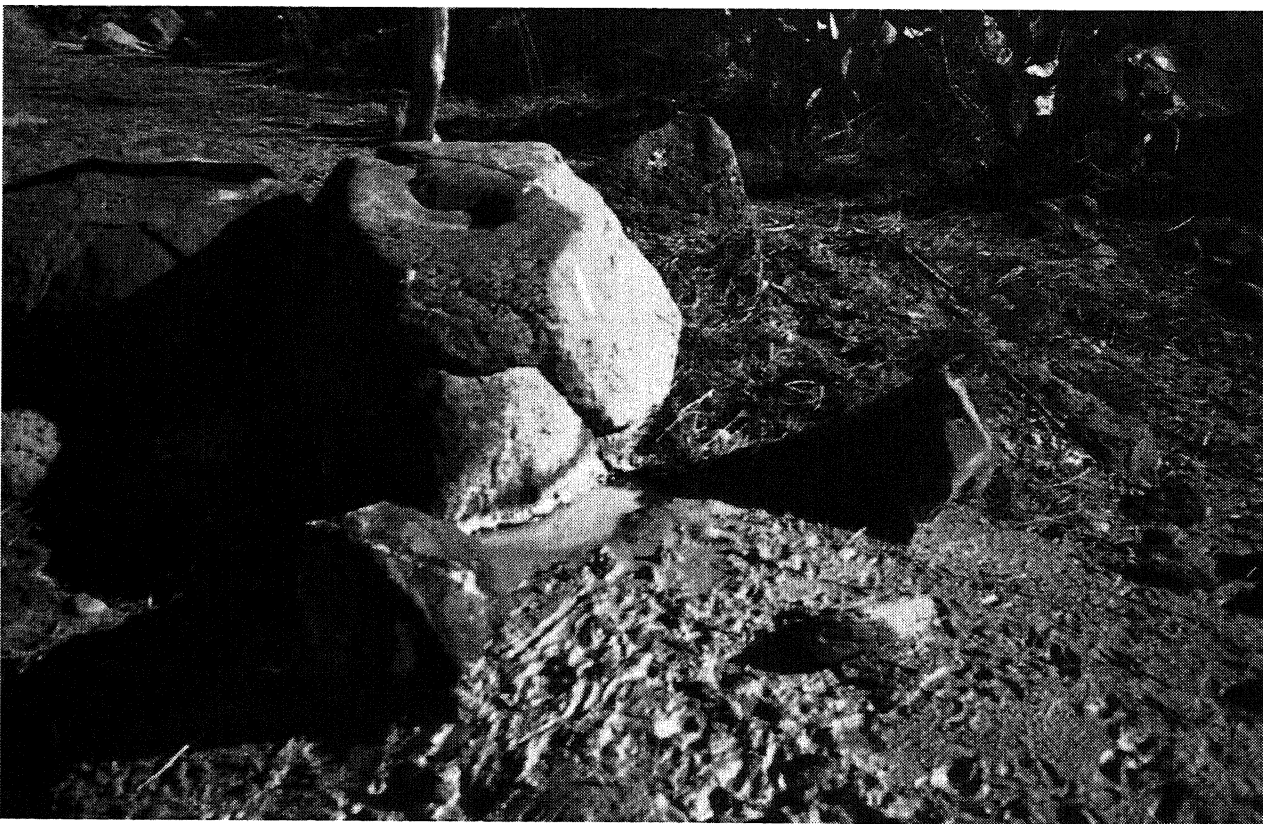


Figura 14: la bocca 1. Figure 14: mud vent 1.

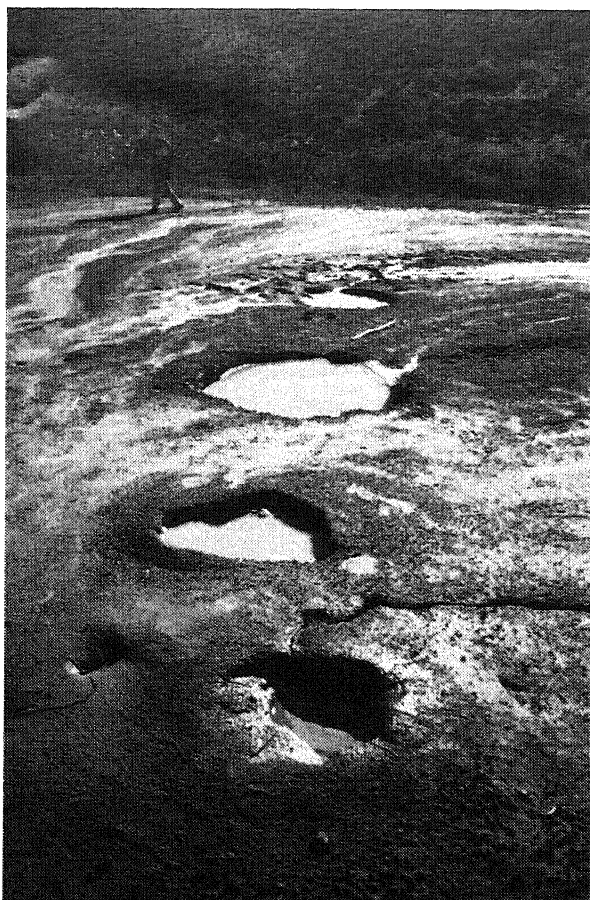


Figura 15: in primo piano la bocca 6, alla sua sinistra la 7, quindi l'allineamento 5-8-11.

Figure 15: vent 6, on the left vent 7, in the back ground vents alignment 5-8-11.

Nella Tabella 2 sono riportati i parametri più importanti delle bocche, sia attive sia inattive, delle Salinelle del Vallone Salato.

5. CARATTERIZZAZIONE GEOCHIMICA DEI FLUIDI

Le prime analisi effettuate da Silvestri (1866; 1867) e da Platania (1916), confrontate con le più recenti (Valenza & Nuccio, 1991; D'Alessandro *et al.*, 1993; Dongarrà *et al.*, 1993) hanno sempre evidenziato, tra i gas contenuti, la prevalenza di anidride carbonica di origine vulcanica di provenienza profonda, seguita da metano, anch'esso di origine profonda, da ammoniaca ed elio, in quantità variabili nel tempo.

Le acque ipersaline mostrano una notevole differenza nel contenuto di argilla in sospensione, nel chimismo e nella temperatura (compresa tra 16° e 19° C), anche se provenienti da polle distanti tra loro solo pochi decimetri.

La composizione chimica delle acque è quasi costante: le analisi chimiche eseguite da D'Alessandro *et al.* (1996) sono perfettamente comparabili con quelle di Silvestri (1866; 1867): secondo i primi potrebbe trattarsi di acque provenienti da un acquifero profondo contenuto nelle rocce carbonatiche del basamento etneo. Inoltre, Eredia (1931), che ha studiato le Salinelle per un periodo di undici anni, ha dimostrato che non esiste alcuna relazione tra l'attività ed il chimismo delle stesse ed il regime delle precipitazioni atmosferiche.

Le acque delle Salinelle sono infatti totalmente diverse dalle acque di falda per il loro contenuto in cloro, alcali ed alcuni elementi presenti in tracce: nella tabella 3 sono riportati i dati chimici più rappresentativi e caratterizzanti sia le acque delle tre salinelle sia quelle di tre importanti sorgenti situate a breve distanza dalla Collina dei Cappuccini (Benfatto, inedito).

N°	Diametri (cm)	Profondità (cm)	Tipo di emissione	Fondo	Caratteristiche
1	50 x 30	30	gas e acqua	acqua	
5	38 x 34	25	gas	asciutto	
6	17 x 17	35	nessuna	acqua	
7	10 x 10	10	nessuna	asciutto	
8	120 x 70	15	fango, gas e petrolio	acqua	
9	120 x 120	in attività	fango		abbondante emissione di fango
10	15 x 15	40	nessuna	asciutto	
11	90 x 70	5	gas	acqua	sponde in erosione
12	36 x 36	10	acqua e gas	acqua	
13	125 x 106	5	acqua e gas	acqua	
13 a	23 x 23	in attività	gas	acqua	
13 b	34 x 25	17	gas	acqua	
15	50 x 50	in attività	acqua		depositi ferrosi
16	35 x 35	25	nessuna	asciutto	
17	30 x 40	20	nessuna	asciutto	
18	54 x 30	20	gas		

Tabella 2: parametri delle bocche delle Salinelle del Vallone Salato.

Plate 2: morphologic data about vents of Salinelle del Vallone Salato.

	TDS	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO4	HCO3	Li	B
Salinelle dei Cappuccini	74814	27703	590,3	1255,0	310,0	42700	6,02	250	27,05	320,00
Salinelle del Vallone Salato	61530	20429	438,4	675,0	670,0	37500	8,0	1810	14,78	240,00
Salinelle del Fiume	72937	28860	587,0	465,0	280,0	40500	5,8	2240	26,60	300,00
Sorgente Monafia	1275	125	18,4	73,0	83,6	74,5	58,2	842	0,04	0,53
Sorgente Acqua Grassa	2115	184	18,1	118,5	135,4	99,3	48,2	1415	0,09	0,99
Sorgente Nocilla	1375	136	21,2	83,8	96,6	92,2	72,4	873	0,04	0,53

Tabella 3: dati chimici e chimico-fisici di comparazione tra acque di falda e acque delle Salinelle. Valori espressi in mg/l.

Plate 3: comparative chemical and physico-chemical data between spring and mud volcano waters.

La rappresentazione grafica dei dati chimici (Fig. 16) mostra chiaramente la netta differenza tra le acque di falda superficiale e quelle ipersaline delle Salinelle: le prime sono bicarbonato alcalino-terrose mentre le seconde sono solfato-clorurate alcaline, proiettandosi perfino al di sopra del punto rappresentativo delle acque marine.

Gli elementi Litio e Boro, universalmente riconosciuti proprii delle acque marine o termominerali profonde, sono molto abbondanti nelle acque delle salinelle e presenti solo in tracce in quelle di falda mentre i solfati, di origine agricola, sono più abbondanti in queste ultime. Tenori elevatissimi dello ione Cloro, che nelle acque delle salinelle sono compresi

tra 37,5 e 42,7 g/l, sono riscontrabili soltanto in acque marine o in acque fossili.

Si può dunque affermare che per le acque delle salinelle si tratta di acque marine fossili; inoltre, in base alla stratigrafia precedentemente descritta e in accordo con D'Alessandro *et al.* (1996), si può affermare che le acque sono contenute in rocce mioceniche (Calcere di Base).

Le salinelle in studio hanno evidenziato interessanti variazioni chimiche correlabili con gli eventi sismici del 13 dicembre 1990 e del 20 settembre 1991. Sono state registrate, infatti, forti variazioni nell'emissione di He e CH₄ in occasione del terremoto di Carlentini del 13 dicembre 1990 (epicentro distante circa 50 km, magnitudo 5,1); variazioni simili si sono verificate sia nelle Salinelle dei Cappuccini, sia in quelle del Vallone Salato, dopo il terremoto di Santa Maria di Licodia (epicentro distante circa 10 chilometri, magnitudo 3,2) avvenuto il 20 settembre 1991 (D'Alessandro *et al.*, 1996).

6. EVOLUZIONE MORFOLOGICA DEI VULCANI DI FANGO

Brown (1990) distingue tre tipi morfologici collegati alle emissioni di fango:

- 1) *vulcani di fango*, caratterizzati da forma a tronco di cono con cratere centrale;
- 2) *cumuli o creste di fango*, quando si tratta di morfologie positive senza evidenti tipiche bocche eruttive principali;
- 3) *bacini di fango*, quando sono strutture negative.

Il primo tipo, geneticamente collegato a fanghi con alta densità, è presente nel settore A delle Salinelle dei Cappuccini (Figg. 5 e 6) e nel cono meridionale delle Salinelle del Vallone Salato (Fig. 13: 5, 6, 7, 9 e 14). Al termine dell'attività eruttiva si assiste al progressivo smantellamento dell'edificio da parte degli agenti esogeni; nel periodo in cui sono state condotte le ricerche non è mai stata osservata una ripresa di attività da una bocca estinta. L'evoluzione di questo

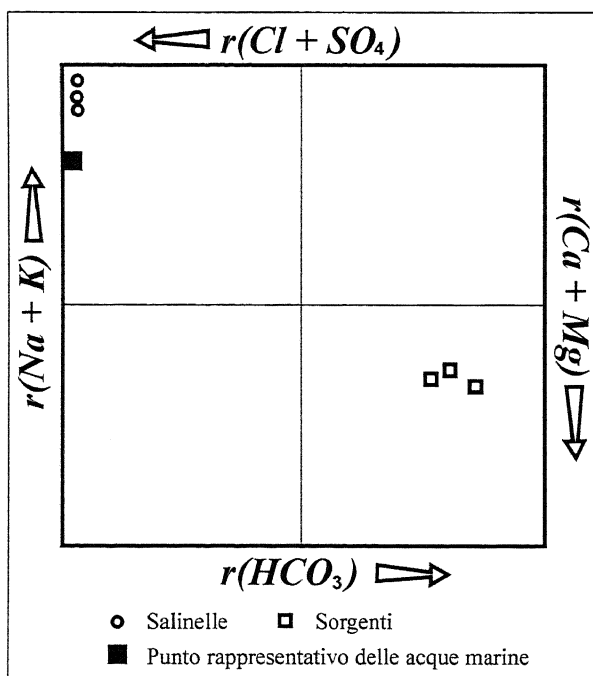


Figura 16: diagramma di Langhelier - Ludwig.

Figure 16: Langhelier - Ludwig diagram.

tipo di vulcano di fango è schematicamente rappresentata nella Figura 17 a.

Il secondo tipo morfologico proposto da Brown (1990) non è stato riscontrato nella zona investigata.

Il terzo tipo, dovuto ad emissione di fango a bassa densità o di acque limpide, è caratteristico della zona B delle Salinelle dei Cappuccini: in questo sito il fenomeno più consueto è l'apertura di cavità circolari, dalle quali viene emesso fango a bassa densità o acqua limpida; questi fluidi provocano l'erosione delle sponde della conca stessa. Il diametro massimo raggiunto da questo tipo di bocche è 5 metri. La Figura 17 b rappresenta, sinteticamente, l'evoluzione morfologica di tale tipo di morfoscultura.

Se il fenomeno si verifica su una superficie inclinata, si forma all'inizio una depressione subcircolare piena di acqua, la quale incide l'orlo della depressione formando un emissario che può scavare vallecole profonde alcuni decimetri; col procedere del fenomeno, si assiste ad un progressivo arretramento morfologico della sponda a monte, con la formazione di fratture subcircolari e, in alcuni casi, anche radiali; nella Figura 17 c è sintetizzata questa evoluzione.

7. CONCLUSIONI

L'area di Paternò, dal punto di vista strutturale, è caratterizzata da una brachianticlinale (Bousquet *et*

al., 1987; Labaume *et al.*, 1990); riteniamo che essa dia luogo ad una trappola strutturale che favorisce l'accumulo dei gas responsabili della risalita dei fluidi. I gas che vi si raccolgono sono composti prevalentemente da anidride carbonica e metano. La composizione isotopica dell'anidride carbonica indica un'origine magmatica (D'Alessandro *et al.*, 1996), con presunte interazioni con calcari del basamento (Chiodini *et al.*, 1996); il metano è di origine crostale più superficiale (D'Alessandro *et al.*, 1996).

Da analisi chimiche risulta che l'acqua che fuoriesce dai vulcani di fango è acqua marina fossile, contenuta, presumibilmente, nei livelli miocenici (Tabella 3, da Benfatto, inedito).

Questi dati sono in netto contrasto con i risultati cui sono pervenuti La Manna & Carnazzo (2000), i quali, confutando le analisi isotopiche dei gas effettuate dagli autori precedenti, ritengono che siano responsabili della risalita dei fluidi le faglie inverse presenti nella massa alloctona della Falda di Gela e le faglie dirette più recenti.

I dati di sottosuolo (Accordi, in Cristofolini, 1967) ed i rilievi geologici eseguiti nel corso della ricerca inducono a ritenere che la via preferenziale di risalita per le Salinelle dei Cappuccini e per le Salinelle del Fiume sia costituita da preesistenti condotti vulcanici; per quanto riguarda le Salinelle del Vallone Salato si ipotizza l'esistenza di una struttura distensiva con direzione N 20° E.

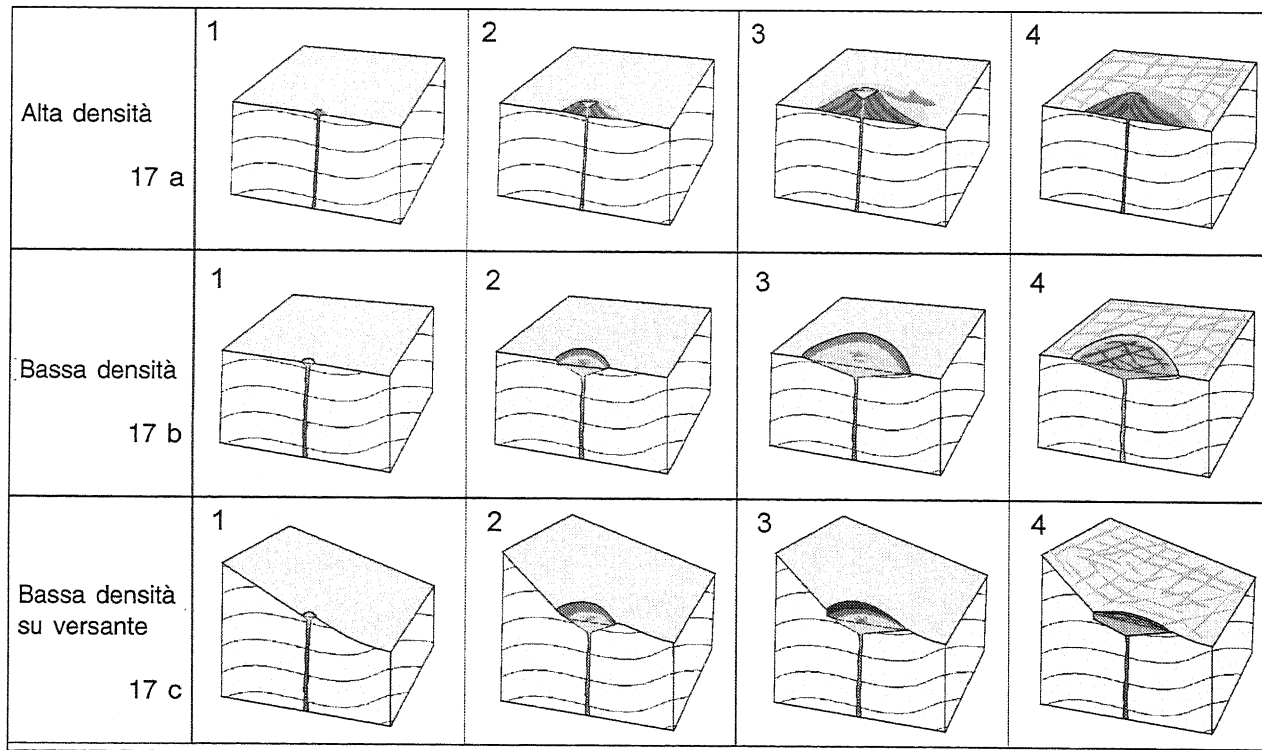


Figura 17: ricostruzione dell'evoluzione morfologica delle Salinelle in base alla densità dei fluidi emessi e dell'inclinazione del preesistente piano di campagna.

Figure 17: reconstruction of the evolution of mud volcanoes, based on the density of emitted fluids and on inclination of previous ground surface.

Nell'ipotesi avanzata da Stella Starabba (1930) che le brecciole poligeniche affioranti nei pressi delle Salinelle del Vallone Salato siano da attribuire all'attività di un centro eruttivo preetneo, anche la risalita dei fluidi che danno luogo alle Salinelle di questa zona avverrebbe attraverso uno o più condotti vulcanici.

Studio effettuato con i fondi del M.U.R.S.T. (60%) nell'ambito delle ricerche "Geomorfologia dipendente da neotettonica e vulcanismo" (responsabile P. Carveni) e "Tettonica quaternaria e morfodinamica in Sicilia e Calabria" (responsabile C. Monaco).

RINGRAZIAMENTI: si ringrazia il Prof. Alessandro Sbrana per la revisione critica del manoscritto e per gli utili suggerimenti.

LAVORI CITATI

- BENFATTO S. (1996) - *Geochemica di alcune acque sotterranee dell'area di Paternò e studio idrogeochimico e mineralogico delle "Salinelle"*. Univ. Studi Catania, Fac. Sc. Mat., Fis. e Nat., Corso di Laurea in Sc. Geol., tesina sperim. di laurea, relatori M. Battaglia e R. Carmisciano.
- BORGIA A., FERRARI L. & PASQUARÈ G. (1992) - *Importance of gravitational spreading in the tectonic and volcanic evolution of Mount Etna*. Nature, **357**, 231-235.
- BOUSQUET J.C., GRESTA S., LANZAFAME G. & PAQUIN C. (1987) - *Il campo degli sforzi attuali e quaternari nella regione dell'Etna*. Mem. Soc. Geol. It., **38**, 483-506.
- BROWN K.M. (1990) - *The nature and hydrogeologic significance of mud diapirs and diatremes for accretionary systems*. J. Geophys. Res., **95**, 8969-8982.
- CHIODINI G., D'ALESSANDRO W. & PARELLO F. (1996) - *Geochemistry of gases and waters discharges by the mud volcanoes at Paternò, Mt. Etna (Italy)*. Boll. Volcanol., **58**, 51-58.
- CONDOMINES M., TANGUY J.C., KIEFFER G. & ALLEGRE C.J. (1982) - *Magmatic evolution of a volcano studied by ^{230}Th - ^{238}U disequilibrium and trace elements systematics: the Etna case*. Geoch. et Cosmochim. Acta, **46**, 1397-1416.
- CRISTOFOLINI R. (1967) - *La successione dell'attività vulcanica sulle pendici sud-occidentali dell'Etna*. Att. Acc. Gioenia Sc. Nat. Catania, S. 6a, **18** (suppl. sc. geol.), 283-294.
- CUMIN G. (1954) - *Le Salinelle di Paternò e la loro attuale attività*. Boll. Acc. Gioenia Sc. Nat. Catania, S. 4a, **2** (9), 515-528.
- D'ALESSANDRO W., DE DOMENICO R., PARELLO F. & VALENZA M. (1993) - *Geochemical anomalies in the gaseous phase of the mud volcanoes of Paternò - Sicily*. Proc. scient. meet. seism. prot. tec., Venice, 12-13 July 1993, 171-175.
- D'ALESSANDRO W., PARELLO F. & VALENZA M. (1996) - *Gas manifestations of Mount Etna area: historical notices and new geochemical data (1990-1993)*. Acta Vulcanol., **8** (1), 23-29.
- DONGARRÀ G., GOTTINI V., VALENZA M. & BONFANTI P. (1993) - *Progress in the hydrogeochemical surveying in: "Data related to eruptive activity, unrest phenomena and other observation on the Italian active volcanoes in 1993. Etna"*. Acta Vulcanologica, **3**, 318-321.
- EREDIA F. (1931) - *Le Salinelle di Paternò*. Boll. R. Soc. Geogr. It., s. VI, 8 pp.
- FINETTI I., LENTINI F., CARBONE S., CATALANO S. & DEL BEN A. (1996) - *Il sistema Appennino Meridionale - Arco Calabro - Sicilia nel Mediterraneo Centrale: studio geologico-geofisico*. Boll. Soc. Geol. It., **115**, 529-559.
- FRAZZETTA G. & VILLARI L. (1981) - *The feeding of the eruptive activity of Etna Volcano. The regional stress field as a constraint to magma uprising and eruption*. Bull. Volcan., **44** (3), 269-282.
- GHISSETTI F. & VEZZANI L. (1982) - *The recent deformation mechanism of the Calabrian Arc*. In: MANTOVANI E. & SARTONI R. (Editors), *Structure, evolution and present dynamics of the Calabrian Arc*. Earth Evolution Sciences, **3**, 197-206.
- GRASSO M. & BUTLER R. (1993) - *Tectonic controls on the deposition of Late Tortonian sediments in the Caltanissetta basin of Central Sicily*. Mem. Soc. Geol. It., **47**, 313-324.
- GRASSO M., LENTINI F. & VEZZANI L. (1978) - *Lineamenti stratigrafico-strutturali delle Madonie (Sicilia centro-settentrionale)*. Geologica Romana, **17**, 45-69.
- LABAUME P., BOUSQUET J.C. & LANZAFAME G. (1990) - *Early deformations at a submarine compressive front: the Quaternary Catania foredeep south of Mt. Etna, Sicily, Italy*. Tectonophysics, **177**, 349-366.
- LA MANNA F. & CARNAZZO A. (2000) - *Le Salinelle di Paternò: nuova ipotesi sulla loro struttura e formazione*. Boll. Soc. Geol. It., **119**, 9-14.
- LENTINI F., CARBONE S., CATALANO S. & GRASSO M. (1996) - *Elementi per la ricostruzione del quadro strutturale della Sicilia orientale*. Mem. Soc. Geol. It., **51**, 179-195.
- LENTINI F. & VEZZANI L. (1975) - *Le successioni mesozoiche della copertura sedimentaria del basamento cristallino peloritano (Sicilia nord-orientale)*. Boll. Soc. Geol. It., **94**, 537-554.
- LO GIUDICE E., PATANÈ G., RASÀ R. & ROMANO R. (1982) - *The structural framework of Mount Etna*. Mem. Soc. Geol. It., **23**, 125-158.
- PATACCA E., SCANDONE P., GIUNTA C. & LIGUORI V. (1979) - *Mesozoic paleotectonic evolution of the Ragusa zone (SE Sicily)*. Geol. Romana, **18**, 331-369.
- PLATANIA G. (1916) - *Sull'emanazione di anidride carbonica nel fianco orientale dell'Etna*. Rend. Mem. Acc. Sc. Lett. Art. Zelanti Acireale, Mem. Cl. Sc., S. 3a, **7-8**, 99-103.
- ROMANO R., LENTINI F., STURIALE C., AMORE C., ATZORI P., CARTER S.R., CRISTOFOLINI R., DI GERONIMO I., DI GRANDE A., DUNCAN A.M., FERRARA V., GHISSETTI F., GUEST J.E., HAMMILL H., PATANÈ G., PEZZINO A., PUGLISI D., SCHILIRÒ F., TORRE G. & VEZZANI L. (1979) - *Carta geologica del Monte Etna*. Scala 1:50.000. Litogr. Art. Cartogr., Firenze.
- SCANDONE P. (1982) - *Geology of the Calabrian Arc*. In MANTOVANI E. & SARTORI R. (Editors), *Structure, evolution and present dynamics of the Calabrian Arc*. Earth Evolution Sciences, **3**, 172-180.

- SILVESTRI O. (1866) - *Sur une récente éruption boueuse des salses de Paternò en Sicile*. Compt. Rend. séanc. Acad. Sc. Paris, **62**, 45-48.
- SILVESTRI O. (1867) - *I fenomeni vulcanici presentati dall'Etna nel 1863-64-65-66 considerati in rapporto alla grande eruzione del 1865*. Mem. Acc. Gioenia Sc. Nat. Catania, S. 3a, **1**, 54-319.
- SILVESTRI O. (1879) - *Eruzione di fango presso l'Etna*. Boll. Vulc. It., a. 6 (1-3), 28-31.
- STELLA STARABBA F. (1930) - *Diopside cromifero delle Salinelle di San Biagio (Etna)*. Att. Acc. Gioenia Sc. Nat. Catania, s. V, **17**, 8 pp.
- VALENZA M. & NUCCIO P.M. (1991) - *Geochemical precursor of earthquakes: some experiences in Italy*. Pubbl. Ist. Geoch. Fluidi, C.N.R., Palermo, **3**, 9 pp.
- WEZEL C.F. (1967) - *I terreni quaternari del substrato dell'Etna*. Att. Acc. Gioenia Sc. Nat. Catania, s.6, **18**, 271-282.

Ms. ricevuto il 20 febbraio 2001
Testo definitivo ricevuto il 3 ottobre 2001

Ms. received: February 20, 2001
Final text received: October 3, 2001