

Università "Federico II" di Napoli
Dipartimento di Scienze della Terra

CNR

Consiglio Nazionale delle Ricerche

VI
WORKSHOP
GIAST



Gruppo per l'Informatica Applicata alle Scienze della Terra

SANSEPOLCRO

14 - 16 settembre 1999

I.N.P.D.A.P. Collegio "Regina Elena"

AUTOMATIC CLASSIFICATION OF ERUPTIVE EVENTS BY THE VAMOS SYSTEM

LIBERO BERTUCCO¹, MAURO COLTELLI², ANTONIO CRISTALDI²
SALVATORE MANGIAGLI³, GIUSEPPE NUNNARI¹, EMILIO PECORA³

⁽¹⁾ Dipartimento Elettrico, Elettronico e Sistemistico, Università di Catania
Viale A. Doria, 6, 95125 - Catania, Tel. +95-7382306, Fax +95 330793,
e-mail: gnnunari@dees.unict.it, libert@dees.unict.it

⁽²⁾ Istituto Internazionale di Vulcanologia, Consiglio Nazionale delle Ricerche
Piazza Roma, 2, 95100 Catania

⁽³⁾ Sistema Poseidon, Catania

Abstract - An automatic system named VAMOS (Volcanic Activity Monitoring System) for monitoring volcanic activity at Mt. Etna and Stromboli volcanoes, is at the present under test at the data collection center at IIV (Istituto Internazionale di Vulcanologia, CNR, Catania). This system allows automatic recognition of volcanic activity by on-line processing of images collected by the surveillance cameras positioned close to the summit crater of two above mentioned volcanoes which are worldwide known to be characterized by a persistent eruptive activity. Based on this automatic system, a new software tool to extract quantitative information from collected images is now under developing. Several tasks have been planned to solve by using this tool such as the automatic classification of recorded events and the computation of relaxed energy based on stereo-vision and thermal images. One of the first result of the undertaken research activity has been the automatic classification of the type of volcanic events and the localization of the eruptive event.

1. Introduzione

Il VAMOS (Volcanic Activity Monitoring System) è un sistema Hw/Sw ideato per effettuare il monitoraggio visivo automatico, di due dei maggiori vulcani attivi dell'Italia meridionale, l'Etna e lo Stromboli. Esso si pone quale mezzo in grado di affiancare i sistemi di rilevamento basati su tecniche tradizionali di elaborazione di dati di tipo geofisico (McGuire et al., 1995). Il sistema implementato si basa sulla elaborazione delle immagini acquisite mediante telecamere puntate sullo scenario relativo alle zone

interessate dalla presenza dei crateri di emissione. Le caratteristiche del sistema lo rendono comunque adattabile ad altri vulcani caratterizzati da un'attività eruttiva persistente.

Allo stato attuale, il VAMOS, che utilizza i risultati di studi effettuati precedentemente sullo stesso problema dagli stessi autori (Bertuccio L. et al., C&G, 1999), (Bertuccio. et al., Automazione99, 1999) è in forma di prototipo, ed è in fase di test presso l'Istituto Internazionale di Vulcanologia (IIV) - CNR di Catania, dove la segnalazione del verificarsi di un evento vulcanico di rilievo all'IIV è attualmente demandata ad operatori umani posti davanti ad un monitor su cui vengono inviate le immagini filmate dalle telecamere. I filmati vengono registrati su supporto magnetico (videocassette). Successivamente operatori esperti dovranno visionare le videocassette e separare gli eventi di interesse, che quindi potranno essere oggetto di studio, da quelli di non interesse (Coltelli M.).

I vantaggi introdotti dal VAMOS sono rilevanti. In primo luogo la possibilità di automatizzare le operazioni di monitoraggio, la segnalazione degli eventi, nonché lo stoccaggio dei dati, può consentire l'esonero da tale compito, spesso estremamente tedioso, dell'operatore umano ed apportare quindi notevoli vantaggi sui costi e sulla velocità di gestione delle operazioni e come verrà evidenziato in seguito, sul grado di precisione delle stesse. La segnalazione del verificarsi di un evento di interesse e la registrazione di tale evento può quindi essere effettuata in tempo reale (VAMOS-*Trigger*). Parallelamente a tali operazioni viene effettuata una classificazione automatica dell'evento registrato, in base a tipologie e caratteristiche predefinite (VAMOS-*Classifier*) i cui dettagli saranno trattati nella sezione successiva.

2. Principi di funzionamento del VAMOS

Il VAMOS, il cui schema di funzionamento è mostrato in Fig. 1, è costituito essenzialmente da due sottosistemi. Il primo sottosistema, denominato *Trigger* consente di acquisire le immagini filmate dalla telecamera puntata sullo scenario del cratere da monitorare, elaborarle in tempo reale con opportune routines software studiate appositamente, e stabilire in base ai risultati delle elaborazioni se nella sequenza correntemente presa in esame è presente un evento di interesse vulcanologico, come ad esempio una esplosione, una fontana di lava, ecc.

L'acquisizione delle immagini viene effettuata da una apposita scheda, mentre il compito di elaborare le immagini è demandato ad un processore di tipo facilmente reperibile in commercio. La strumentazione attualmente impiegata dal sistema è descritta in Fig. 2. L'algoritmo di acquisizione e riconoscimento è stato realizzato in ambiente LabVIEW con l'aggiunta di

alcune routine codificate in ANSI C. In Fig. 3 viene mostrato lo schema di funzionamento del *Trigger* brevemente descritto di seguito.

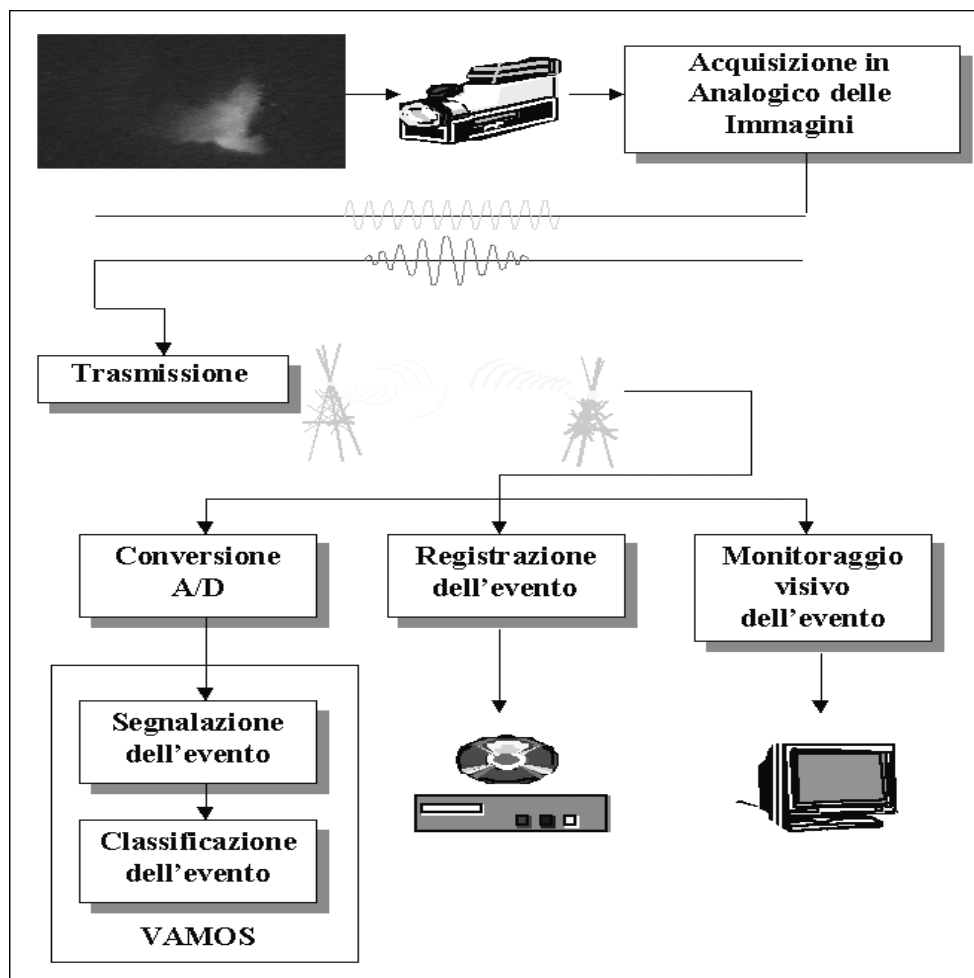
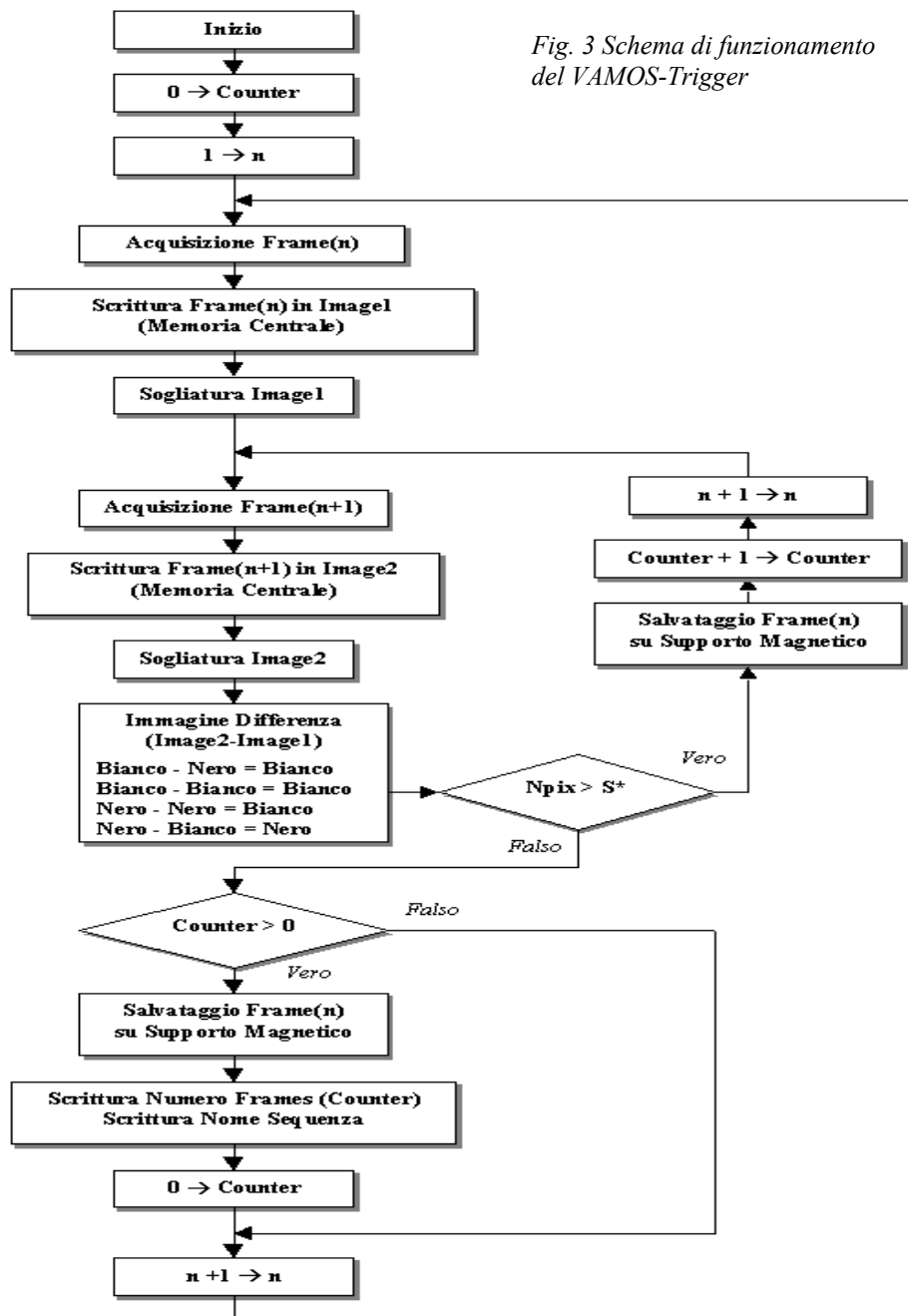


Fig. 1 Schema di funzionamento del sistema di monitoraggio VAMOS relativo al Trigger

Dispositivi Impiegati	Caratteristiche
Scheda di Acquisizione	National Imaq 1408
Processore	Intel Pentium II 400 MHz
RAM	256 Mb SDRAM, tempo di accesso ≈ 10 ns
Hard Disk	SCSI, Cache 512 Kb, 7.2 ms (≈ 7200 laps/s)
Fotogrammi Max. Elaborati al secondo	5 (dim. 640x480)

Fig. 2 Strumentazione e caratteristiche tecniche del VAMOS-Trigger



Il primo frame acquisito, genericamente indicato come “Frame(i)” (in cui $i=1$ nel caso di inizializzazione delle operazioni), viene utilizzato come immagine di riferimento; su tale immagine viene effettuata un’operazione di

sogliatura, per la quale tutti i pixel con valore di intensità al di sopra di un certo valore predefinito T^* sono posti a nero (livello di grigio 0), i rimanenti a bianco (livello di grigio 255).

Il sistema passa quindi ad acquisire l'immagine $\text{Frame}(i+1)$ su cui viene effettuata la stessa procedura. Tra le immagini $\text{Frame}(i+1)$ e $\text{Frame}(i)$ rese binarie viene fatta un'operazione di differenza pixel a pixel le cui modalità sono descritte nello schema di Fig. 3. Sia $\text{FrameD}(i+1)$ l'immagine risultante da tale differenza. Il numero di pixel neri N_{pix} contenuti nell'immagine $\text{FrameD}(i+1)$ viene conteggiato e se risulta al di sopra di una soglia S^* (definita in base all'esperienza), il sistema deduce la presenza di un evento in fase di svolgimento nel $\text{Frame}(i+1)$ di partenza e le immagini $\text{Frame}(i)$ (considerata come immagine iniziale della sequenza dell'evento rilevato) e $\text{Frame}(i+1)$ vengono salvate su disco. Il procedimento di confronto viene reiterato tra l'immagine $\text{Frame}(i)$ e l'immagine $\text{Frame}(i+2)$.

Se viene incontrato un valore j per il quale l'immagine $\text{FrameD}(i+j)$ ha un numero di pixel neri al di sotto della soglia S^* il sistema deduce che l'evento si è esaurito e chiude la sequenza (per la quale tutte le immagini sono state salvate). Il procedimento viene quindi reiterato.

In Fig. 4 vengono mostrate le immagini relative alle fasi di funzionamento in linea del *VAMOS-Trigger*. Nella parte sinistra di ciascuna figura è mostrato il verificarsi di un evento trasmesso da un monitor collegato alla telecamera (l'esplosione filmata è relativa allo Stromboli); nella parte destra il sistema rileva, segnala e registra l'evento.

Il secondo sottosistema, denominato *Classifier* elabora parallelamente al *Trigger* le sequenze registrate contenenti gli eventi.



(a)



(b)

Fig. 4 Fasi di monitoraggio del VAMOS in istanti successivi durante una tipica esplosione stromboliana

allo scopo di effettuare una classificazione in base a parametri geometrici inerenti gli stessi. Tali parametri consistono essenzialmente nell'altezza ed ampiezza dell'evento (misurate in pixel), nella posizione dell'evento nell'immagine, (corrispondente al cratere di emissione) e nell'area interessata dall'evento. In Fig. 5 viene proposto lo schema di classificazione degli eventi attualmente utilizzato dal *Classifier*. Tale schema è riferito alla situazione dello Stromboli. Un evento viene classificato come "direzionale" se il rapporto altezza/larghezza dello stesso supera un certo valore (normalmente fissato ad 1.5). In caso contrario l'evento viene classificato come "ampio".

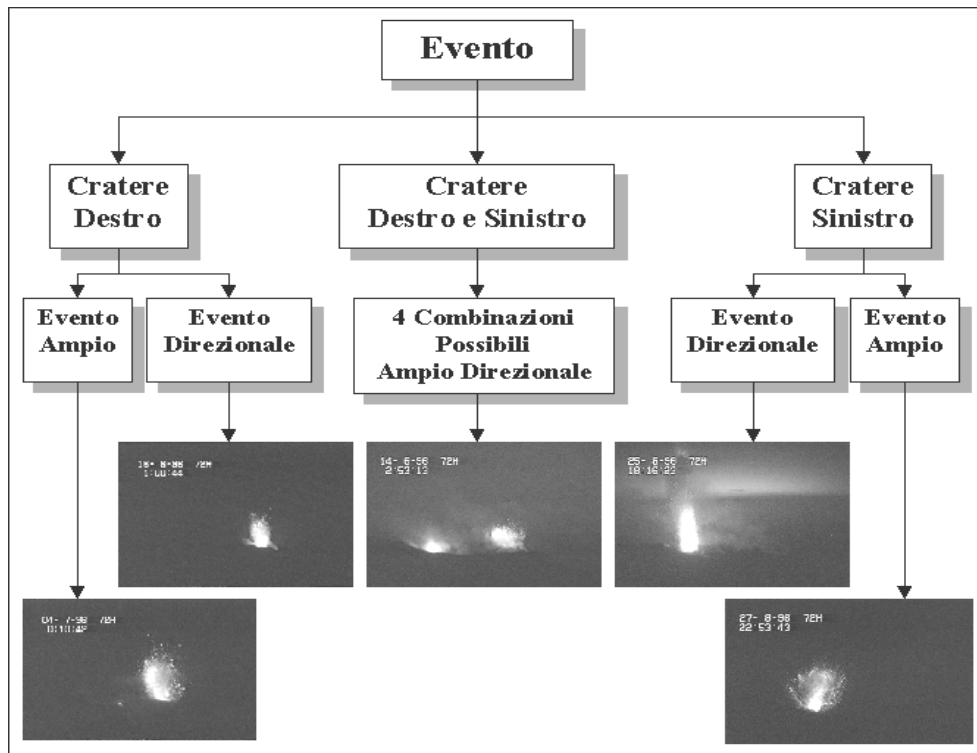


Fig. 5 Schema di funzionamento del Classifier

Il procedimento di elaborazione implementato dal *Classifier* viene descritto di seguito.

Le sequenze contenenti eventi selezionati dal *Trigger* vengono prese in esame singolarmente. Per una data sequenza viene costruita l'immagine detta " $IMAGE_{MAX}$ ". Tale immagine viene ottenuta secondo la (1):

$$IMAGE_{MAX} = \{Max(P_K(i, j)) \text{ per } K = 1, 2, 3, \Lambda F\} \quad (1)$$

dove con F è stato indicato il numero di frames che compongono la sequenza e con $P_K(i,j)$ il generico pixel di coordinate i,j del K -esimo frame. Su tale immagine possono essere opzionalmente effettuate delle operazioni di incremento del contrasto (Gonzalez R. C. et al., 1993).

Sull'immagine " $IMAGE_{MAX}$ " viene quindi effettuata un'operazione di sogliatura come quella descritta nel caso del *Trigger*. Dall'oggetto residuo nell'immagine e dalla sua posizione nell'immagine vengono successivamente estratti i parametri geometrici di cui detto sopra.

In Fig. 6 viene mostrato un esempio di procedura di generazione della " $IMAGE_{MAX}$ ".

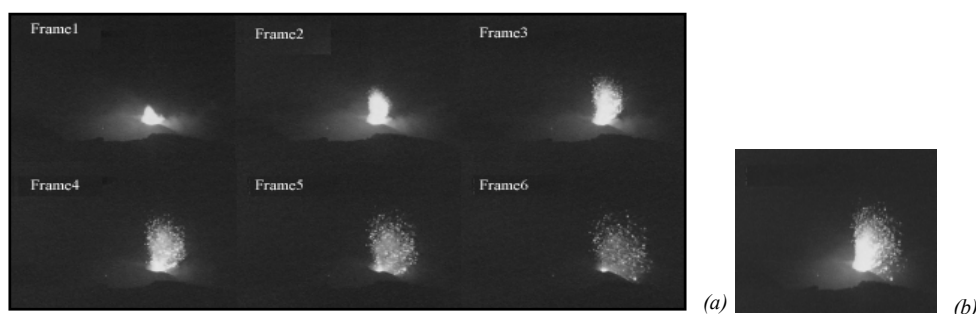


Fig. 6 Formazione della " $IMAGE_{MAX}$ "

3. Test di validazione del VAMOS

Il sistema è stato ampiamente testato in linea (ed è tuttora in fase di test) sia per quanto riguarda il *Trigger* che il *Classifier*.

Relativamente al *Trigger*, il sistema ha mostrato di riconoscere e segnalare tempestivamente la pressoché totalità degli eventi contenuti nei periodi esaminati, anche in casi di attività parossistica, come si rileva dai risultati proposti in Tab. 1. La frequenza di campionamento dei frames (sia per l'Etna che per lo Stromboli) è stata fatta oscillare tra i 3 ed i 5 frames al secondo.

Etna: Attività del 30/09/1998 ore 18.30-21.30		
Campionamento 0.333 sec		
	<i>Trigger</i>	Op. Umano
Numero di Eventi Effettivi	495	495
Numero di Eventi Registrati	493	411
Numero di Eventi Persi	2	84
Percentuale di Successi	99.6%	83.0%

Tab. 1 Risultati dei test di validazione del VAMOS-Trigger relativamente al caso dell'Etna

Come si evince dalla suddetta tabella, mentre, per il periodo in esame, la percentuale di successo di un operatore umano (posto davanti al monitor) è stata dell'83% con circa il 20% degli eventi perduti, nel caso del VAMOS solo 2 eventi su 495 complessivi, (peraltro di brevissima durata ed irrilevante entità) non sono stati segnalati.

In Tab. 2 sono mostrati i risultati dei test relativi al *Classifier*, in cui un evento viene definito come "classificato correttamente" se il risultato della classificazione corrisponde a quello, dedotto off-line da un operatore esperto. Anche nel caso del *Classifier*, la percentuale di eventi giudicati correttamente è stata soddisfacente.

Stromboli: Attività 14-15 Giugno 1998 (Campionamento da 0.1 a 0.05 sec)	
<i>Classifier</i>: (Rapporto critico Altezza/Larghezza: 1.500)	
Numero di Eventi Presi in Esame	600
Numero di Eventi Classificati Correttamente	562
Numero di Eventi Classificati Erroneamente	38
Percentuale di successi	93%

Tab. 2 Risultati dei test di validazione del VAMOS-Classifier relativamente al caso dello Stromboli

Il problema principale riscontrato per il *Classifier* è stato quello di un rallentamento delle procedure di classificazione nel caso di attività parossistica, problema tuttavia facilmente superabile avendo a disposizione strumenti di calcolo maggiormente performanti.

4. Conclusioni e sviluppi futuri

Nel presente lavoro è stato presentato un nuovo sistema Hw/Sw per il monitoraggio visivo automatico dei vulcani attivi. Tale sistema, denominato VAMOS (Volcanic Activity Monitoring System) è attualmente funzionante in forma prototipale presso l'IIV di Catania. Dopo aver indicato quali sono i vantaggi introdotti dal VAMOS, sono stati mostrati i dati relativi ad alcuni dei test di funzionamento cui il sistema è stato sottoposto. I futuri sviluppi sono orientati alla implementazione (compatibilmente con la disponibilità di risorse di calcolo superiori a quelle attuali) di routines per la estrazione di ulteriori parametri dalle immagini, quali velocità degli eventi, energia liberata dalle esplosioni (Shimozuru D. et al., 1968) ecc. A tal fine è attualmente in fase di studio la possibilità di dotare il sistema di algoritmi di

classificazione basati sulla “stereo-vision” e su reti neurali artificiali. Queste ultime, in particolare, che garantirebbero elevata velocità computazionale ed elevato grado di versatilità nelle operazioni di riconoscimento delle tipologie degli eventi.

Ringraziamenti

Il lavoro è stato supportato finanziariamente dal Gruppo Nazionale per la Vulcanologia del CNR, contratto n. 98.00694.PF62. Si ringrazia inoltre B. Saraceno per la collaborazione alle operazioni di test degli algoritmi implementati nel presente lavoro.

Bibliografia

- Bertucco L., Coltelli M., Nunnari G., Occhipinti L., (1999): A Cellular Neural Network Simulator for Real-Time Monitoring of the Activity of Active Volcanoes. *Computer&Geosciences*, **25**, 2, 101-117.
- Bertucco L., Coltelli A., Mangiagli S., Nunnari G., (1999): Un sistema automatico per il monitoraggio dei vulcani attivi attraverso l’elaborazione delle immagini. *Atti del Convegno Nazionale Automazione 99*, Roma.
- Coltelli, M. (1997): Video stations network of the Sicilian active volcanoes: a tool to improve the surveillance of the eruptive activity. *IAVCEI-General Assembly, abstracts book*, Puerto Vallarta, Mexico, 88.
- Gonzalez R. C. and Woods R. E. (1993): Digital Image Processing. *2nd edn. Addison-Wesley Publishing Company*.
- McGuire B., Kilburn C.R.J., Murray J., (1995): Editors, Monitoring Active Volcanoes. UCL Press, London.
- Shimozuru D., (1968): Discussion on the energy partition of volcanic eruptions. *Bulletin Volcanologic* **30**, 383-394.