

Monitoraggio dell'attività dei vulcani

di Salvatore Mangiagli

Il software Vamos (Volcanic Activity Monitoring System) è stato progettato per il monitoraggio visivo dell'attività dei vulcani attivi siciliani, in particolare Etna e Stromboli, attraverso l'uso di telecamere di sorveglianza installate in prossimità dei crateri. Queste telecamere hanno in dotazione la scheda di acquisizione NI Imaq 1411 di National Instruments. L'obiettivo è l'implementazione di un algoritmo, attraverso tecniche software di processamento delle immagini e di una nuova configurazione hardware per la determinazione e il riconoscimento dei trigger.



Un problema riscontrato nei test effettuati sulla prima versione del trigger è che nei casi di particolari attività eruttive come la continuità tra un'esplosione e la successiva oppure, come nel caso di Stromboli, dove un'attività di forte degassamento è intervallata da qualche evento discreto, il sistema induce il trigger a considerare due o più eventi come uno unico. Chiaramente l'errore si ripercuote anche nella successiva fase di classificazione. Tuttavia questo fenomeno risulta abbastanza raro e in ogni caso l'errore potrebbe riscontrarsi solo sull'algoritmo relativo al conteggio del numero di eventi. Il trigger, infatti, segnalerebbe un evento di interesse, che verrebbe registrato su disco rigido come dato valido. Tale problema sarà risolto completamente quando la disponibilità di risorse di calcolo più potenti permetterà di rendere più sofisticato l'algoritmo, compatibilmente con il funzionamento in tempo reale. Ciò può essere fatto utilizzando, ad esempio, un algoritmo per il riconoscimento di minimi locali nel calcolo dei valori dell'area "A" di cui detto sopra, presenti in questa tipologia di eventi (Figura 1, intervallo Time [650-700]*0,33 s). Il problema della velocità di calcolo può risultare critico esclusivamente in fase di classificazione. Infatti, nei casi di attività parossistica (tuttavia non frequenti), la coda del classificatore contenente le sequenze provenienti dalla fase di trigger può appesantirsi, rendendo necessario l'utilizzo di supporti di dimensioni relativamente grandi per l'immagazzinamento tem-

poraneo dei dati. Il Vamos provvede inoltre, automaticamente, alla semplificazione dell'algoritmo, rendendo più veloce il procedimento, mediante, ad esempio, l'eliminazione di step come l'incremento del contrasto di cui detto sopra.

Classificatore

Per ovviare al problema appena esaminato, sono state apportate sostanziali modifiche all'algoritmo, prevedendo oltre alla separazione degli eventi multipli contenuti in un'unica sequenza la possibilità di occorrenze che si possono verificare contemporaneamente da due crateri distinti (Figura 2).

Dall'esperienza fatta si è osservato come qualunque fenomeno eruttivo impulsivo non possa durare per un tempo superiore ai 15-20 s; si è dunque pensato che se i frame che costituiscono la sequenza superano un numero pari a 90, sicuramente in tale sequenza sono contenuti più eventi distinti. Quindi l'algoritmo è stato diviso in due parti separate: una parte identica all'algoritmo precedente se la sequenza è costituita da un numero di frame inferiore a 90; un'altra nel caso in cui il numero di frame è superiore a tale soglia. Nel caso particolare di Stromboli, si è osservato come alcune sequenze potessero essere costituite anche da 500-600 frame, in questo caso la giustificazione che si può dare è che in tali sequenze siano presenti eventi discreti intervallati da periodi di degassamento,

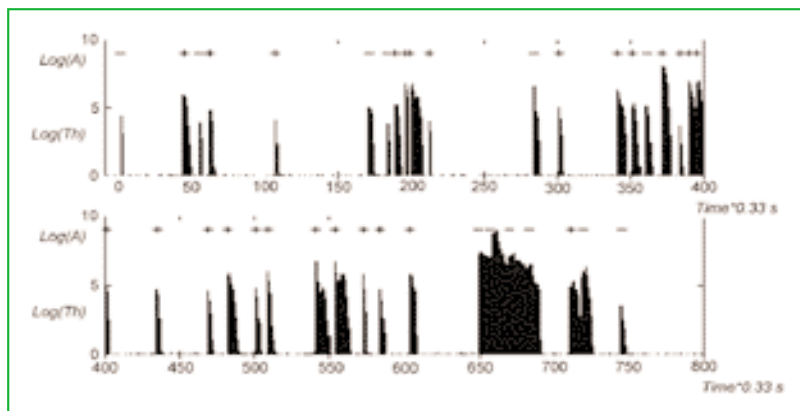


Figura 1 - Funzionamento dell'operazione di trigger

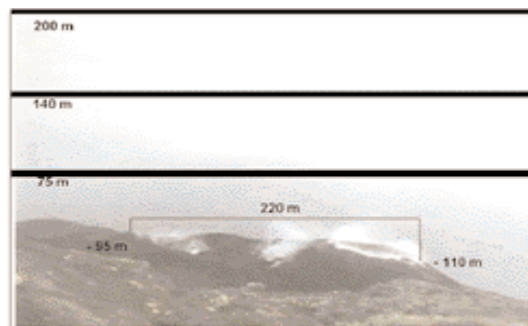


Figura 2 - Terrazza craterica

S. Mangiagli, Sistema Poseidon - Osservatorio Geodinamico Siciliano, 95030 Nicolosi (CT).

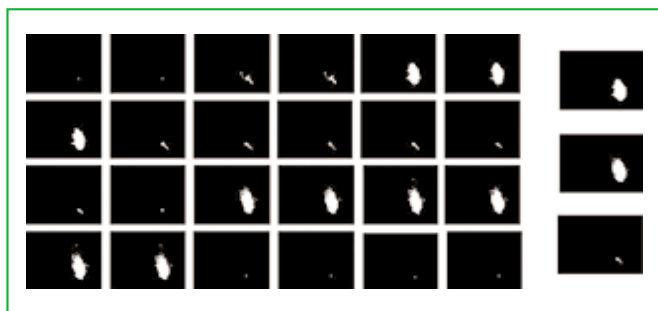


Figura 3 - Sequenza di frame

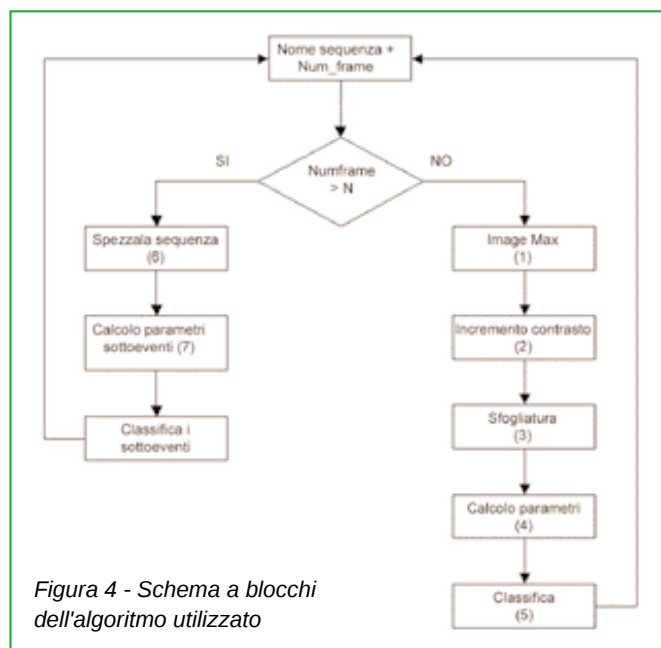


Figura 4 - Schema a blocchi dell'algoritmo utilizzato

che d'ora in poi saranno identificati con il termine di *continuità*. In questo specifico caso si è pensato di esaminare separatamente la parte destra e sinistra dell'immagine; inoltre nel caso di presenza di continuità intervallata da eventi discreti, si separano gli eventi discreti dalla continuità, mentre la continuità viene sommata tutta. In entrambe le parti dell'algoritmo la classificazione degli eventi avviene secondo la Tabella 1. Di seguito è riportato l'algoritmo implementato.

Nel caso in cui il numero di frame sia inferiore alla soglia precedentemente descritta l'algoritmo procede con i passi della parte destra dello schema a blocchi. I blocchi (1), (2), (3), (4) risultano essere esattamente uguali ai blocchi precedentemente descritti, mentre il blocco (5) presenta alcune modifiche; lo

Tabella 2 - Valori usati dopo la taratura del sistema

Minnumpixel	20
Contbassas	200
Contbassad	500
Contaltad	1.500
Contaltas	800
Maxcontnumpixelsin	800
Maxcontnumpixelides	1.500

schema delle possibili combinazioni è mostrato nella Tabella1. Da una prima osservazione della Tabella 1 si nota come il numero delle classi di fenomeni possibili cresce rispetto al numero di classi osservate con il primo tipo di classificatore (si passa da 8 a 20). Di seguito sono riportati i valori usati dopo la taratura del sistema. Tali valori sono stati ricavati dopo

un attento confronto delle immagini che costituiscono ciascuna classe. Essi sono stati ottenuti confrontando i valori ottenuti dal classificatore e da un software chiamato "Scion Image". Vediamo adesso la parte dell'algoritmo in cui si deve eseguire l'estrazione degli eventi che costituiscono un'unica sequenza. Nello schema, N è stato posto uguale a 90. La sequenza esplosiva presa in esame per ipotesi è costituita da (N+1) frame, l'algoritmo comincia a sommare la continuità, e ne interrompe la somma nel momento in cui tra l'immagine corrente e

Tabella 1 - Classificazione degli eventi

Tipo evento	Area sinistra		Area destra		Rapporto Lar
Dir Sx	area1 > ConaltaS		area2 < minnum		ratio1 >= differ
Amp Sx	area1 > ConaltaS		area2 < minnum		ratio1 < differ
Dir Dx	area1 < minnum		area2 > ConaltaD		ratio2 >= differ
Amp Dx	area1 < minnum		area2 > ConaltaD		ratio2 < differ
Contb Sx	area1 > minnum	area1 < ContbassaS	area2 < minnum		
Contb Dx	area1 < minnum		area2 > minnum	area2 < ContbassaD	
Conta Sx	area1 < ConaltaS	area1 > ContbassaS	area2 < minnum		
Conta Dx	area1 < minnum		area2 < ConaltaD	area2 > ContbassaD	
Dir Sx + Conalta Dx	area1 > ConaltaS		area2 < ConaltaD	area2 > ContbassaD	ratio1 >= differ
Amp Sx + Conalta Dx	area1 > ConaltaS		area2 < ConaltaD	area2 > ContbassaD	ratio1 < differ
Dir Dx + Conalta Sx	area1 > ContbassaS	area1 < ConaltaS	area2 > ConaltaD		ratio2 >= differ
Amp Dx + Conalta Sx	area1 > ContbassaS	area1 < ConaltaS	area2 > ConaltaD		ratio2 < differ
Dir Sx + Contbassa Dx	area1 > ConaltaS		area2 < ContbassaD	area2 > minnum	ratio1 >= differ
Amp Sx + Contbassa Dx	area1 > ConaltaS		area2 < ContbassaD	area2 > minnum	ratio1 < differ
Dir Dx + Contbassa Sx	area1 < ContbassaS	area1 > minnum	area2 > ConaltaD		ratio2 >= differ
Amp Dx + Contbassa Sx	area1 < ContbassaS	area1 > minnum	area2 > ConaltaD		ratio2 < differ
Contbassa Dx + Contbassa Sx	area1 > minnum	area1 < ContbassaS	area2 > minnum	area2 < ContbassaD	
Conalta Dx + Contbassa Sx	area1 > minnum	area1 < ContbassaS	area2 > ContbassaD	area2 < ConaltaD	
Contbassa Dx + Conalta Sx	area1 > ContbassaS	area1 < ConaltaS	area2 > minnum	area2 < ContbassaD	
Contbassa Dx + Contbassa Sx	area1 > ContbassaS	area1 < ConaltaS	area2 > ContbassaD	area2 < ConaltaD	

Legenda: Contbassa = continuità bassa; Conalta = continuità alta; Amp = ampia; Dir = direzionale

Tabella 3 - Valori ricavati dalle varie fasi di test

Anno 1996	
Numero eventi effettivi	4.643
Numero eventi triggerati	4.060
Differenza	583
Errore percentuale del trigger	12,55
Numero eventi correttamente classificati	4.060
Numero eventi direzionali effettivi	2.062
Numero eventi ampie effettive	1.998
Numero eventi direzionali correttamente classificati	1.993
Numero eventi ampie correttamente classificate.	1.481
Errore percentuale di classificazione	14,43
Anno 1998	
Numero eventi effettivi	5.573
Numero eventi triggerati	4.937
Differenza	636
Errore percentuale del trigger	11,41
Numero eventi correttamente classificati	5.167
Numero eventi direzionali effettivi	2.796
Numero eventi ampie effettive	2.321
Numero eventi direzionali correttamente classificati	2.735
Numero eventi ampie correttamente classificate.	2.115
Errore percentuale di classificazione	6,13

la precedente si verifica una brusca variazione, in termini di numero di pixel. Lo schema per calcolare il numero di variazioni è lo stesso visto in Figura 3. Lo stesso algoritmo viene applicato alla parte destra dell'immagine. I test utilizzati per provare il corretto funzionamento del trigger sono stati effettuati prendendo in considerazione l'attività eruttiva dello Stromboli.

La fase di test del sistema è stata basata sull'attività eruttiva occorsa nel periodo luglio-settembre 1996 e luglio-settembre 1998. I vari fenomeni eruttivi sono stati precedentemente registrati dalle telecamere di sorveglianza dell'Istituto Internazionale per la Vulcanologia, analizzati e archiviati da operatori esperti. I dati del 1996 sono stati utilizzati nella prima versione del classificatore, la seconda versione, invece, fa riferimento ai dati del 1998. I filmati, salvati su videocassette di tipo timelapse (su una cassetta di tre ore è possibile conservare fino a dieci giorni di registrazione), venivano man mano digitalizzati attraverso l'uso di una scheda di acquisizione video (Miro Modello Dc 20), salvati su un Hardisk, per poi essere immesse come ingresso alla scheda National Instruments Imaq 1411. È proprio attraverso tale scheda che il trigger acquisisce le immagini da elaborare.

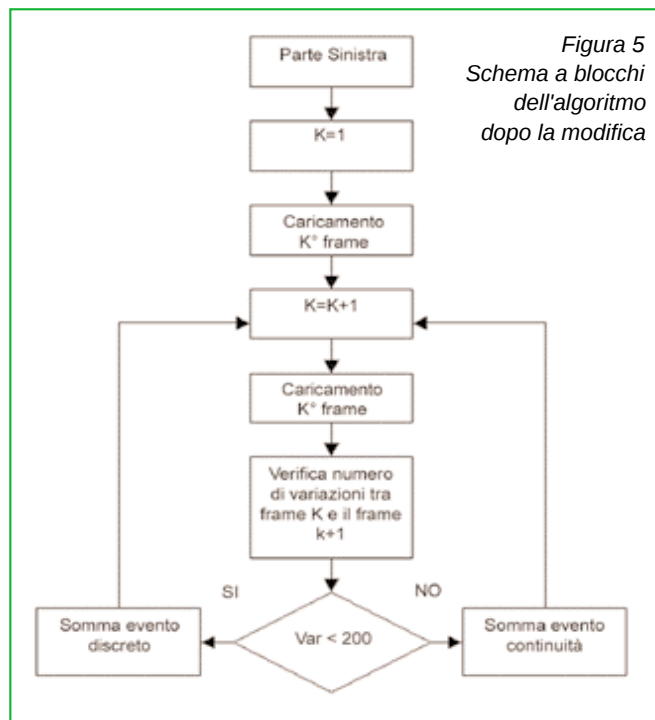
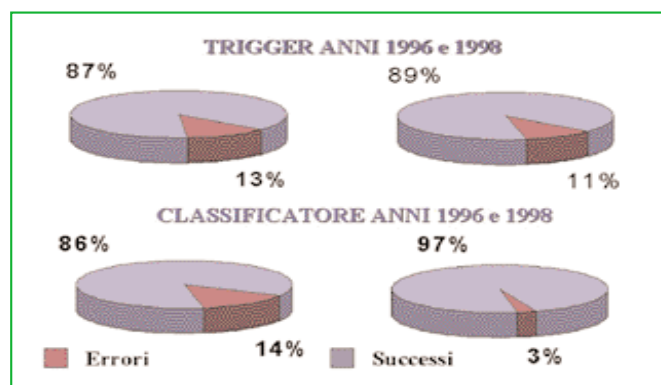


Figura 5
Schema a blocchi
dell'algoritmo
dopo la modifica

Risultati ottenuti

In Tabella 3 sono riportati i valori ricavati dalle varie fasi di test. Oltre al problema precedentemente descritto, occorre ancora osservare che in particolare i dati del 1996 sono stati ottenuti confrontando direttamente i risultati prodotti dall'operatore esperto che visiona la cassetta attraverso un videoregistratore normale, e quelli prodotti dopo la digitalizzazione del filmato. La percentuale di errore, sia in fase di trigger sia di classificazione è sicuramente maggiore, in quanto la digitalizzazione, pur per quanto perfetta, è sempre soggetta alla perdita di alcuni frame intermedi. Qualora il filmato fosse stato registrato utilizzando 25 frame/s non si sarebbero evidenziate differenze cospicue, ma nel caso specifico il filmato viene acquisito a 3 frame/s e tale perdita può risultare rilevante. I dati del 1998, invece, sono stati ottenuti prima digitalizzando il filmato, visionato poi da un operatore esperto e infine confrontando i risultati ottenuti da quest'ultimo e dall'elaborazione effettuata dal Vamos. I grafici riportati di seguito evidenziano i risultati ottenuti (Figure 6 e 7). La Figura 5 evidenzia aver modificato le tecniche di analisi abbia consentito l'abbattimento di un punto e mezzo per cento

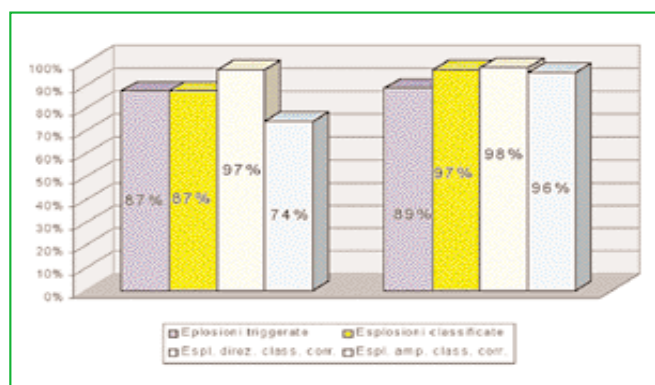


Figure 6 e 7 - I risultati ottenuti

tuale dell'errore del trigger nel conteggio degli eventi, anche se questo errore è sicuramente affetto dalla presenza del fenomeno della continuità. Dalla stessa Figura si può notare come anche l'errore associato al classificatore abbia subito un notevole abbattimento. Dalla Figura 6 osserviamo come il passaggio alla seconda versione del classificatore, pur mantenendo pressoché costante l'errore nel conteggio degli eventi da parte del trigger (intorno al 10%), aumenti il numero di eventi correttamente classificati (passando dall'87% al 96%). La stessa Figura mette inoltre in luce come una piccola correzione del valore del rapporto d'aspetto ha consentito, senza peggiorare la percentuale d'errore sugli eventi di tipo direzionale, di migliorare notevolmente la percentuale di individuazione di eventi di tipo ampio. In Tabella 4 sono mostrati alcuni parametri qualitativi utilizzati per la realizzazione dei grafici precedenti.

Conclusioni

È importante sottolineare che uno degli scopi di questo lavoro è quello di determinare l'energia associata a ogni evento esplosivo. Questo obiettivo è in parte stato raggiunto: la classificazione degli eventi ha prodotto una stima qualitativa dell'energia.

Tabella 4 - Parametri qualitativi

<i>Anno 96</i>	
Eventi effettivi/eventi triggerati	0,874435
Eventi effettivi/eventi classificati	0,874435
Direz. corret. class./direz. effett.	0,966537
Ampie corret. class./ampie effett.	0,741241
<i>Anno 98</i>	
Eventi effettivi/eventi triggerati	0,885878
Eventi effettivi/eventi classificati	0,966804
Direz. corret. class./direz. effett.	0,978183
Ampie corret. class./ampie effett.	0,955347

Infatti, l'energia cinetica associata a un evento esplosivo può essere calcolata ricorrendo alla formula:

$$E_c = \frac{1}{2} M v^2$$

dove M rappresenta la massa e v la velocità. La stima quantitativa dell'energia cinetica non può essere ricavata analiticamente perché il parametro massa è incognito. Tale stima sarà possibile attraverso la ricostruzione stereoscopica dell'immagine con l'ausilio di un'altra telecamera. Inoltre non

è possibile stimare la velocità di fuoriuscita dei clasti; quest'ultima, pur essendo correlata con la frequenza di acquisizione dei frame, manca di una delle sue componenti. Qualora comunque fosse possibile determinare l'energia cinetica, al momento non sarebbe possibile ricavare l'energia totale rilasciata da un evento esplosivo, in quanto essa risulta funzione oltre che dell'energia cinetica, anche di altri parametri come l'energia sismica e l'energia acustica. In conclusione il Vamos presenta una notevole robustezza sia in fase di trigger, sia di classificazione: difatti è possibile eliminare la soggettività della classificazione da parte dell'operatore esperto, in quanto in particolari eventi esplosivi, la linea di demarcazione tra una classe e un'altra risulta essere poco evidente.