

2006

**Misura di alcuni parametri fisici  
dell'attività esplosiva dell'Etna  
durante l'eruzione 2002-2003  
mediante l'utilizzo di una  
telecamera infrarosso**

Emilio Pecora

*n.30*

**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**

Via di Vigna Murata 605 - 00143 Roma

tel 06518601 • fax 065041181

[www.ingv.it](http://www.ingv.it)





**Misura di alcuni parametri fisici dell'attività esplosiva dell'Etna  
durante l'eruzione 2002-2003  
mediante l'utilizzo di una telecamera infrarosso**

E. Pecora



## **Abstract**

In questo lavoro è descritta una nuova metodologia utilizzata per il rilevamento ed il calcolo di alcuni parametri fisici dell'attività esplosiva dell'Etna durante l'eruzione 2002-2003 mediante l'analisi delle immagini riprese da una telecamera infrarosso.

Il processamento delle immagini termiche dell'attività dell'Etna, per adesso manuale e off-line, in un non lontano futuro sarà reso automatico, on-line e potrà essere adattato per funzionare anche su altri vulcani con attività persistente divenendo un vero e proprio sistema innovativo di monitoraggio.

Dai filmati ripresi con una telecamera infrarosso durante l'attività esplosiva della bocca di 2750 m s.l.m. sono stati estratti, per ogni esplosione, alcuni frame particolarmente significativi.

I frame selezionati sono stati processati da un software dedicato appositamente realizzato che ha permesso il calcolo dei parametri fisici di interesse.

Successivamente, è stata convertita l'unità di misura di questi parametri da pixel a metri lineari utilizzando i dati tecnici della telecamera e le misure di distanza e di quota tra il luogo delle riprese e il cratere suddetto.

Infine, per maggior precisione, sono stati inseriti dei fattori correttivi necessari a compensare le modalità di ripresa non ottimali.

Gli sviluppi futuri per l'immagine processing sono molto interessanti, infatti, potendo contare su una rete di telecamere termiche fisse sarà possibile calcolare con maggior precisione quei parametri che ad oggi vengono stimati e valutati in maniera approssimativa e soggettiva.

## **Introduzione**

Da diversi anni le stazioni per il monitoraggio dei vulcani attivi siciliani sono dotate di telecamere ad alta risoluzione, che riprendono in continuo l'Etna, lo Stromboli e Vulcano. Le immagini, inviate in tempo reale alla sala operativa dell'INGV della sezione di Catania, sono acquisite, digitalizzate e archiviate da personal computer dotati di apposite schede di acquisizione video e pubblicate nelle pagine Internet e Intranet dell'Istituto.

L'analisi delle immagini relative all'attività vulcanica quali ad es. esplosioni di tipo stromboliano, fontane di lava, ecc., fornisce ai vulcanologi uno strumento innovativo e potente per la comprensione e lo studio dei fenomeni vulcanici e li aiuta nella stesura di bollettini e comunicati periodici [Andronico et al., 2005; Calvari et al., 2005; Falsaperla et al., 2006].

Da qualche anno è anche in fase di test un sistema automatico per il riconoscimento e la classificazione degli eventi eruttivi dello Stromboli basato sull'analisi delle immagini visibili [Bertuccio et al., 1999].

I sistemi fin qui implementati presentano però dei limiti relativi al riconoscimento delle esplosioni durante le ore diurne ed in presenza di nuvolosità o nebbia.

Recentemente le nuove tecnologie hanno messo a disposizione della vulcanologia nuovi strumenti di indagine ancora più potenti e affidabili tra i quali spiccano le telecamere infrarosso e termiche [Calvari et al., 2004; Ando' and Pecora, 2006].

Questo tipo di telecamere sono state utilizzate con ottimi risultati sui vulcani attivi siciliani durante le ultime emergenze superando i limiti imposti dalle telecamere tradizionali e fornendo dati di altissimo interesse scientifico [Calvari et al., 2006].

In questo lavoro sono stati calcolati alcuni parametri fisici dell'attività esplosiva dell'Etna durante l'eruzione 2002-2003 mediante il processamento e l'analisi delle immagini riprese da una telecamera infrarosso.

Sono state digitalizzate e successivamente elaborate off-line ventidue esplosioni riprese durante un sopralluogo effettuato in prossimità del fronte lavico il 18/11/2002.

Per ogni esplosione è stato analizzato il frame ripreso dopo un secondo esatto dall'inizio dell'esplosione e il frame relativo all'intensità massima raggiunta dalla singola esplosione.

Questi frame sono stati quindi processati utilizzando un software dedicato appositamente realizzato in ambiente LabVIEW che ha permesso il calcolo di alcuni parametri fisici di interesse come ad

esempio l'altezza massima, la larghezza massima, l'area e l'accelerazione del materiale espulso nel primo secondo di emissione.

Conoscendo in campo di vista della telecamera, la distanza ed il dislivello tra la postazione delle riprese e il cratere di 2750 m s.l.m. è stato possibile associare ad ogni pixel dell'immagine un corrispondente valore in metri lineari.

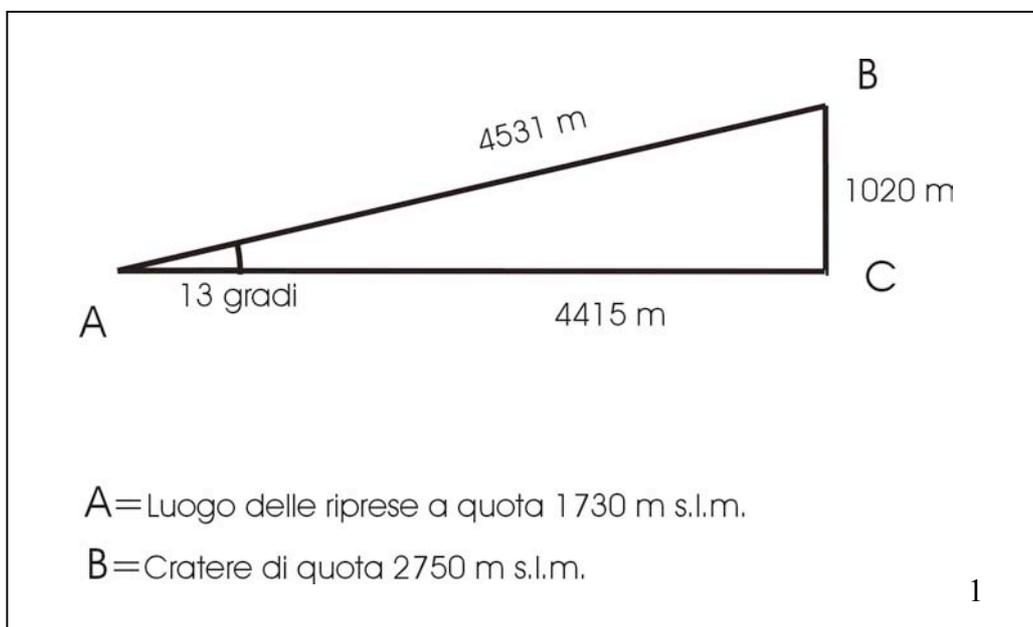
Infine, per rendere le misure più precise ed affidabili, i valori dei parametri calcolati sono stati modificati inserendo un fattore correttivo necessario per compensare le modalità di ripresa non ottimali.

Tutti i dati sono stati inseriti in un foglio di lavoro excel e sono stati plottati su dei grafici ottenendo dei valori numerici significativi.

### Il sistema Hardware/Software

Le immagini dell'attività esplosiva dell'Etna sono state riprese mediante una telecamera infrarosso Raytheon S-250 durante un turno di sorveglianza al fronte lavico effettuato il 18/11/2002 sera.

Il luogo delle riprese si trovava a 4531 metri di distanza dalla bocca aperta a quota 2750 m s.l.m. e ad una quota di 1730 m s.l.m., come evidenziato in figura 1.

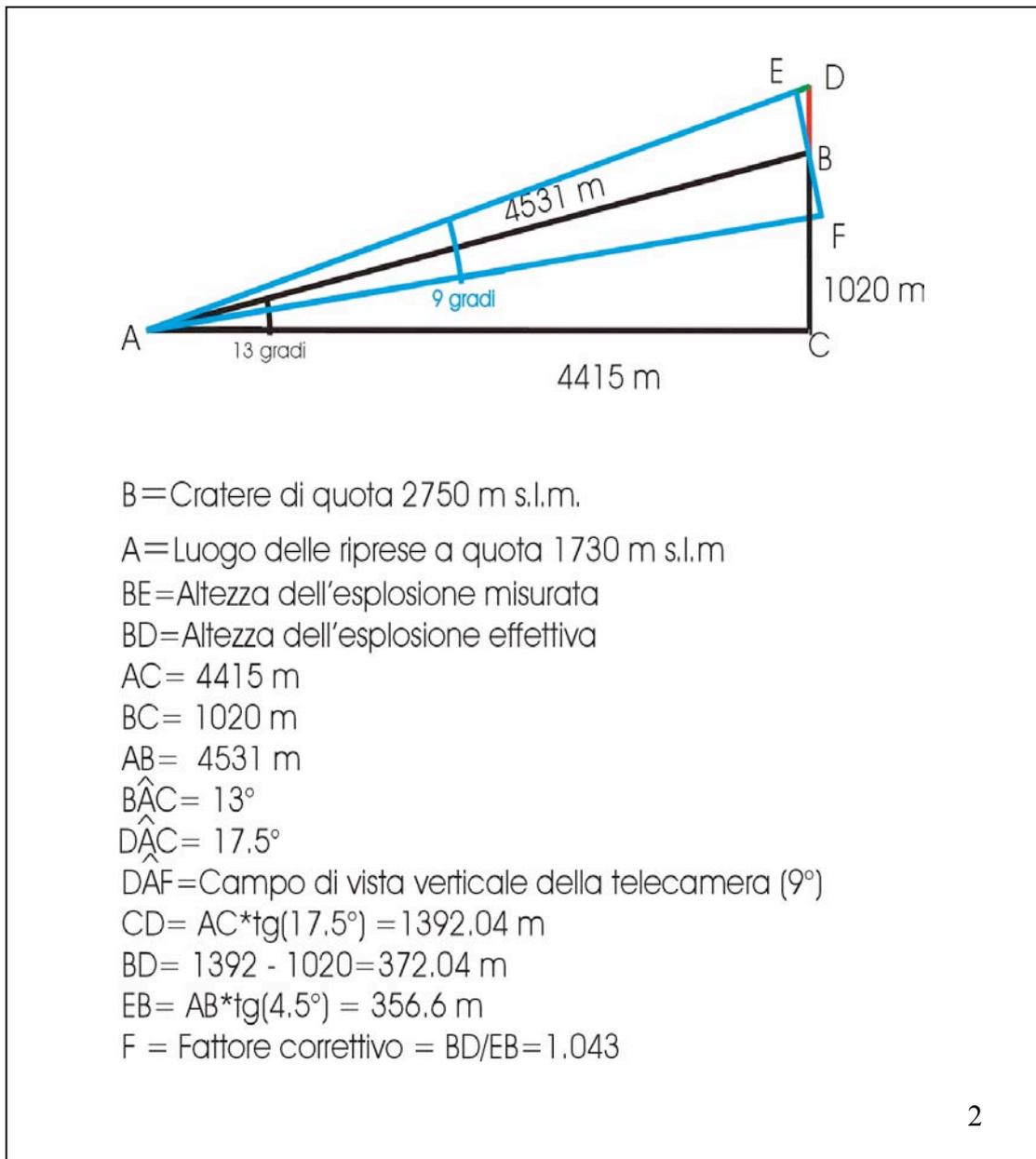


**Figura 1.** Dati relativi al luogo delle riprese e al cratere osservato.

L'obiettivo utilizzato dalla telecamera infrarosso Raytheon S-250 è un 75 mm con un campo di vista di 12° H e 9° V, mentre la risoluzione dell'immagine è di 320x240 pixel.

Poiché i dati relativi alle immagini riprese dalla telecamera e analizzate dal software non sono quelli reali, ma sono le proiezioni delle immagini sul campo di vista della telecamera, è stato inserito un fattore correttivo per tenere conto delle dimensioni reali delle esplosioni.

Per il calcolo del fattore correttivo da apportare alle misure effettuate sono stati eseguiti dei semplici calcoli trigonometrici utilizzando i dati relativi al campo di vista della telecamera e i dati sulla distanza e sulla differenza di quota tra il punto di osservazione e il cratere in oggetto (Figura 2).



**Figura 2.** Calcolo del fattore correttivo in funzione dei dati relativi al luogo delle riprese, al cratere osservato e al campo di vista della telecamera.

Pertanto tutti i dati trovati dovranno essere moltiplicati per il fattore correttivo uguale a 1.043.

In questo caso specifico il valore del fattore correttivo è prossimo a uno e potrebbe anche essere trascurato, ma nel caso in cui la distanza e la differenza di quota tra il luogo delle riprese e il punto osservato dovessero essere diversi, il fattore correttivo potrebbe assumere un valore più elevato e pertanto sarebbe corretto tenerne conto.

Il filmato, registrato da un videoregistratore Panasonic, è stato digitalizzato con risoluzione di 360x270 pixel mediante un personal computer con processore Pentium IV da 2.4 GHz dotato di scheda di acquisizione video Winnov Videum AV 1000.

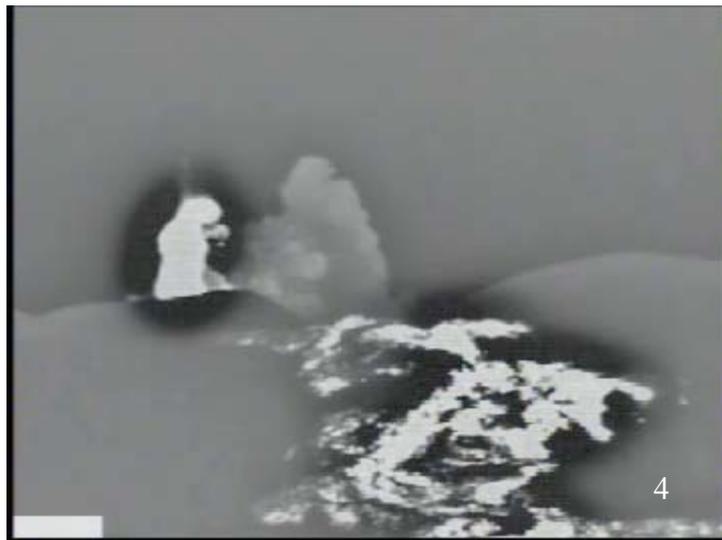
Dal filmato digitale, mediante il software Adobe Premiere, sono state estratti due frame per ogni esplosione.

Il primo frame considerato è quello relativo al primo secondo di emissione del materiale dal cratere e poiché il segnale televisivo registrato è di tipo NTSC e non PAL è stato analizzato il 30° frame dall'inizio dell'esplosione (Figura 3).



**Figura 3.** Frame relativo al primo secondo di emissione del materiale dal cratere durante la prima esplosione analizzata.

Il secondo frame estratto dal filmato digitalizzato si riferisce invece all'intensità massima dell'esplosione (Figura 4).



**Figura 4.** Frame relativo all'intensità massima raggiunta dalla prima esplosione analizzata.

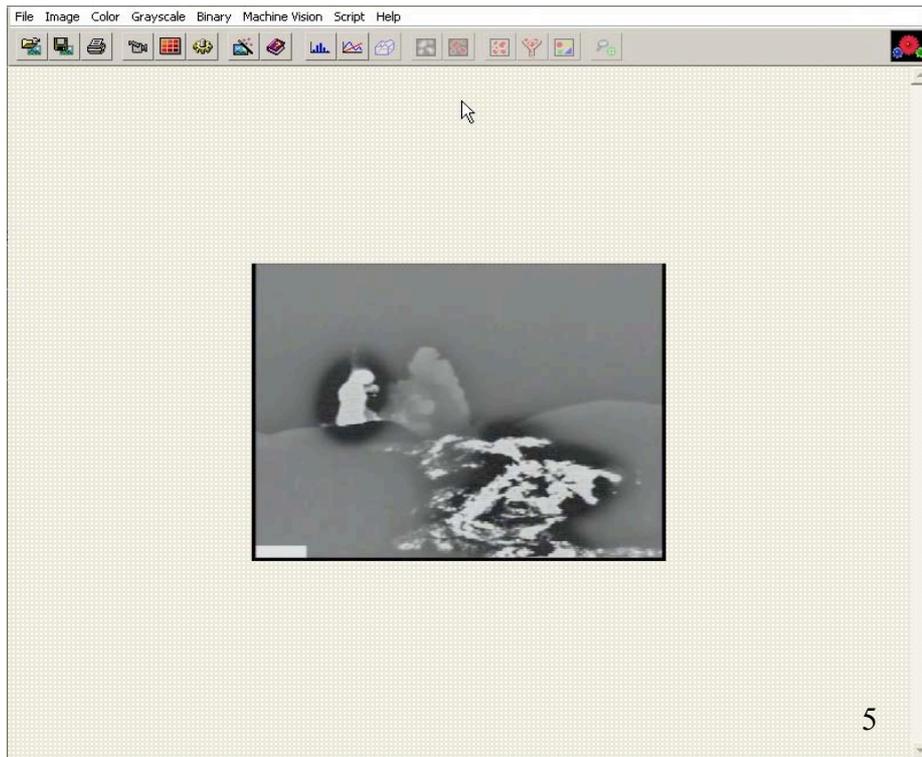
Le immagini riprese dalla telecamera infrarosso sono state registrate e digitalizzate in livelli di grigio ed ogni esplosione è caratterizzata da un certo numero di pixel bianchi con livello di grigio superiore ad una soglia opportunamente prefissata uguale a 180.

Poiché al momento dell'espulsione e nei primi secondi dell'esplosione quasi tutte le particelle hanno una stessa temperatura, le immagini relative ad ogni esplosione sono caratterizzate da aree di pixel bianchi aventi tutti dei valori compresi tra il valore della soglia opportunamente scelta uguale a 180 ed il valore massimo consentito (255).

Per l'elaborazione dei frame relativi alle esplosioni analizzate è stato realizzato un software dedicato sviluppato in ambiente LabVIEW mediante il tool IMAQ Vision Builder 6.0.

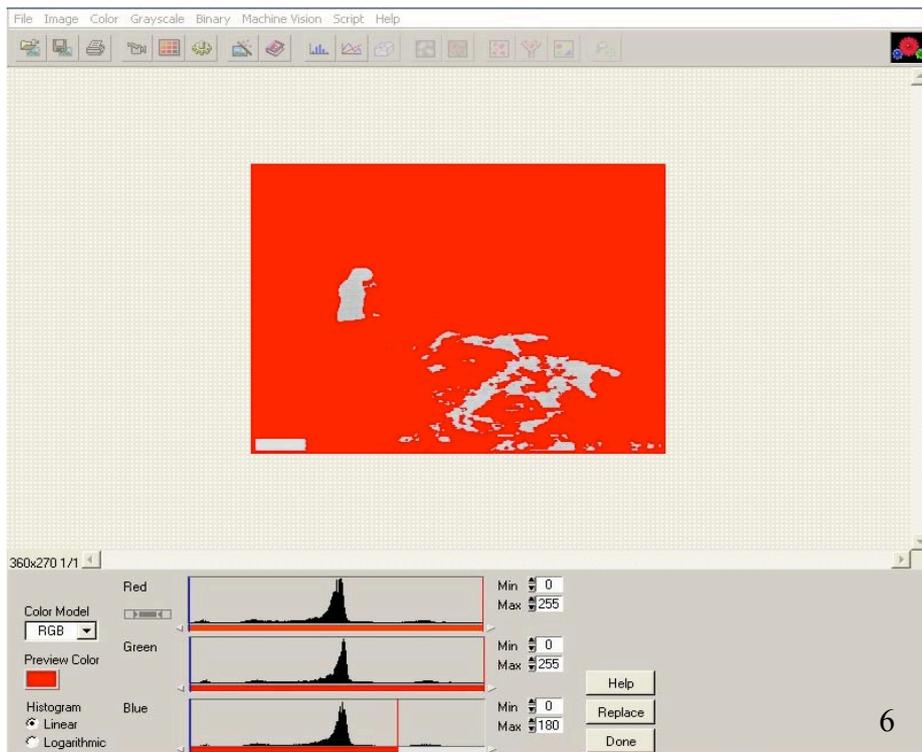
Questo software esegue in ordine cronologico le seguenti operazioni:

1. Apre l'immagine desiderata in formato bmp (Figura 5).



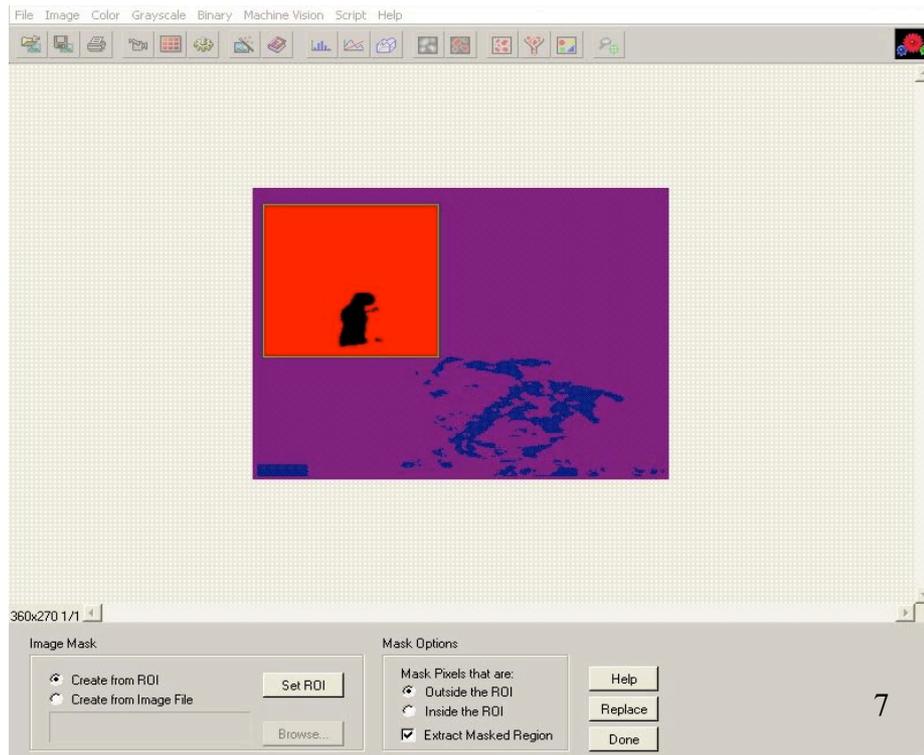
**Figura 5.** Front panel del programma relativo all'apertura del frame selezionato.

2. Effettua il threshold sui livelli visualizzando solo i pixel che superano il valore di soglia fissato a 180 (Figura 6).



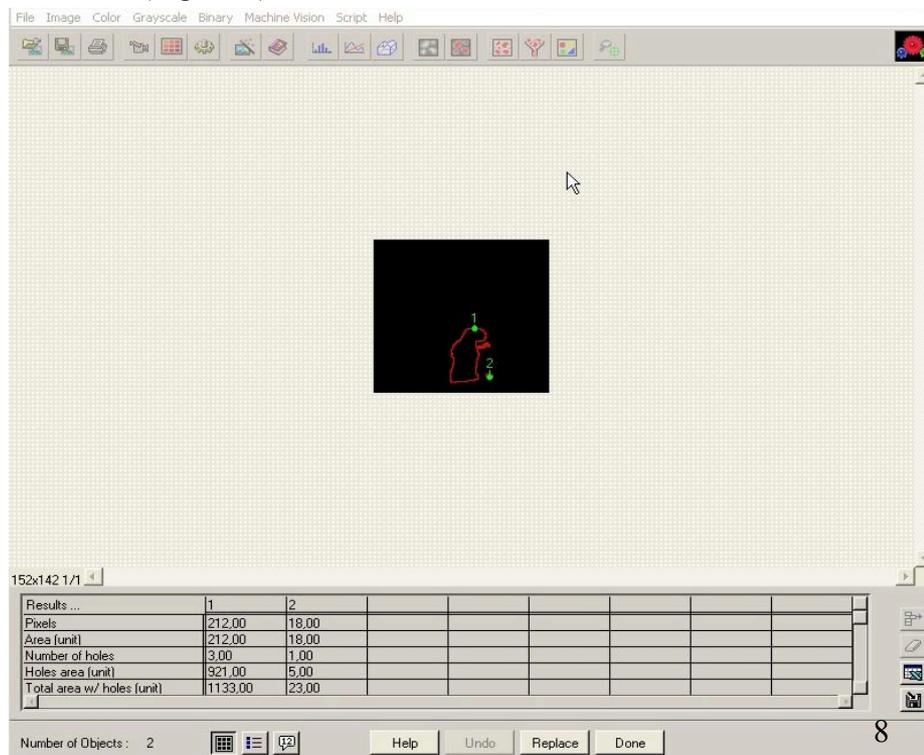
**Figura 6.** Front panel del programma relativo al threshold sui livelli.

3. Ritaglia dall'immagine la regione di interesse (ROI) selezionata (Figura 7).



**Figura 7.** Front panel del programma relativo alla selezione della regione di interesse (ROI).

4. Evidenzia i contorni della regione di interesse ritagliata mediante tecniche differenziali, calcola tutti i parametri fisici di interesse in funzione dei pixel e li trascrive su un foglio di lavoro Excel (Figura 8).



**Figura 8.** Front panel del programma relativo alla selezione del contorno e alla misura di tutti i parametri fisici di interesse delle particelle evidenziate in funzione dei pixel.

Queste quattro operazioni vengono effettuate su tutti i frame selezionati riguardanti le esplosioni analizzate.

Alla termine del processamento avremo un foglio di lavoro Excel in cui, per i due frame elaborati di ogni esplosione analizzata (il primo frame è quello relativo al primo secondo di emissione del materiale dal cratere, mentre il secondo frame estratto dal filmato digitalizzato si riferisce all'intensità massima dell'esplosione), saranno riportati tutti i parametri fisici di interesse in funzione dei pixel.

### Risultati ottenuti

Per convertire la misura dei parametri fisici da pixel in metri sono stati effettuati dei semplici calcoli trigonometrici utilizzando i valori noti dei dati relativi al campo di vista della telecamera e dei dati sulla distanza e sulla differenza di quota tra il punto di osservazione e il cratere in oggetto.

In figura 2 è stata ricavata la distanza EB che risulta essere uguale a 356,6 metri. Essa corrisponde alle dimensioni in metri della semi inquadratura verticale della telecamera (metà del campo di vista verticale della telecamera).

Considerato che l'immagine è stata digitalizzata in formato 360x270 basterà dividere la misura in metri di EF=EBx2 per il numero totale di pixel verticali dell'immagine che è uguale a 270.

Pertanto la misura di un pixel in metri è pari a 2,64 metri.

Inserendo il fattore correttivo di 1.043 la misura corretta del pixel diventa 2,75 metri.

A questo punto basterà moltiplicare i valori dei parametri trovati dal software suddetto per questo valore per ottenere le misure reali corrette (figura 9).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Frame elaborati	Width (pixel)	Width (Real)	Height (pixel)	Height (Real)	Total area w/ holes (pixel)	Total area w/ holes (Real)	Holes area (pi.)
2	1_2_11_25	43,00	118,25	34,00	93,50	692,00	5233,25	538,00
3	1_2_11_25max	35,00	96,25	51,00	140,25	1133,00	8568,31	921,00
4	1_2_48_11	42,00	115,50	32,00	88,00	685,00	5180,31	541,00
5	1_2_48_11max	57,00	156,75	56,00	154,00	1365,00	10322,81	1067,00
6	2_1_08_29	41,00	112,75	31,00	85,25	752,00	5687,00	612,00
7	2_1_08_29max	49,00	134,75	50,00	137,50	1227,00	9279,19	985,00
8	2_1_45_05	38,00	104,50	38,00	104,50	713,00	5392,06	557,00
9	2_1_45_05max	32,00	88,00	47,00	129,25	1055,00	7978,44	875,00
10	2_1_51_29	28,00	77,00	26,00	71,50	428,00	3236,75	324,00
11	2_1_51_29max	36,00	99,00	52,00	143,00	1194,00	9029,63	990,00
12	2_2_05_01	23,00	63,25	22,00	60,50	348,00	2631,75	262,00
13	2_2_05_01max	48,00	132,00	37,00	101,75	1148,00	8681,75	960,00
14	3_0_37_06	20,00	55,00	36,00	99,00	479,00	3622,44	349,00
15	3_0_37_06max	34,00	93,50	42,00	115,50	705,00	5331,56	535,00
16	3_3_13_25	28,00	77,00	32,00	88,00	484,00	3660,25	366,00
17	3_3_13_25max	21,00	57,75	48,00	132,00	755,00	5709,69	605,00
18	3_3_37_00	20,00	55,00	36,00	99,00	451,00	3410,69	307,00
19	3_3_37_00max	34,00	93,50	42,00	115,50	705,00	5331,56	535,00
20	3_4_17_13	27,00	74,25	31,00	85,25	523,00	3955,19	409,00
21	3_4_17_13max	32,00	88,00	40,00	110,00	845,00	6390,31	681,00
22	4_1_09_18	20,00	55,00	28,00	77,00	397,00	3002,31	305,00
23	4_1_09_18max	38,00	104,50	38,00	104,50	714,00	5399,63	552,00
24	4_4_01_14	41,00	112,75	26,00	71,50	709,00	5361,81	569,00
25	4_4_01_14max	44,00	121,00	37,00	101,75	905,00	6844,06	718,00
26	5_0_50_17	28,00	77,00	37,00	101,75	689,00	5210,56	563,00
27	5_0_50_17max	36,00	99,00	59,00	162,25	1143,00	8643,94	925,00
28	5_1_23_06	21,00	57,75	30,00	82,50	424,00	3206,50	314,00
29	5_1_23_06max	29,00	79,75	52,00	143,00	990,00	7486,88	812,00
30	5_2_02_13	35,00	96,25	32,00	88,00	675,00	5104,69	545,00
31	5_2_02_13max	40,00	110,00	43,00	118,25	953,00	7207,06	787,00
32	5_4_27_24	31,00	85,25	38,00	104,50	677,00	5119,81	537,00
33	5_4_27_24max	36,00	99,00	56,00	154,00	1166,00	8817,88	950,00

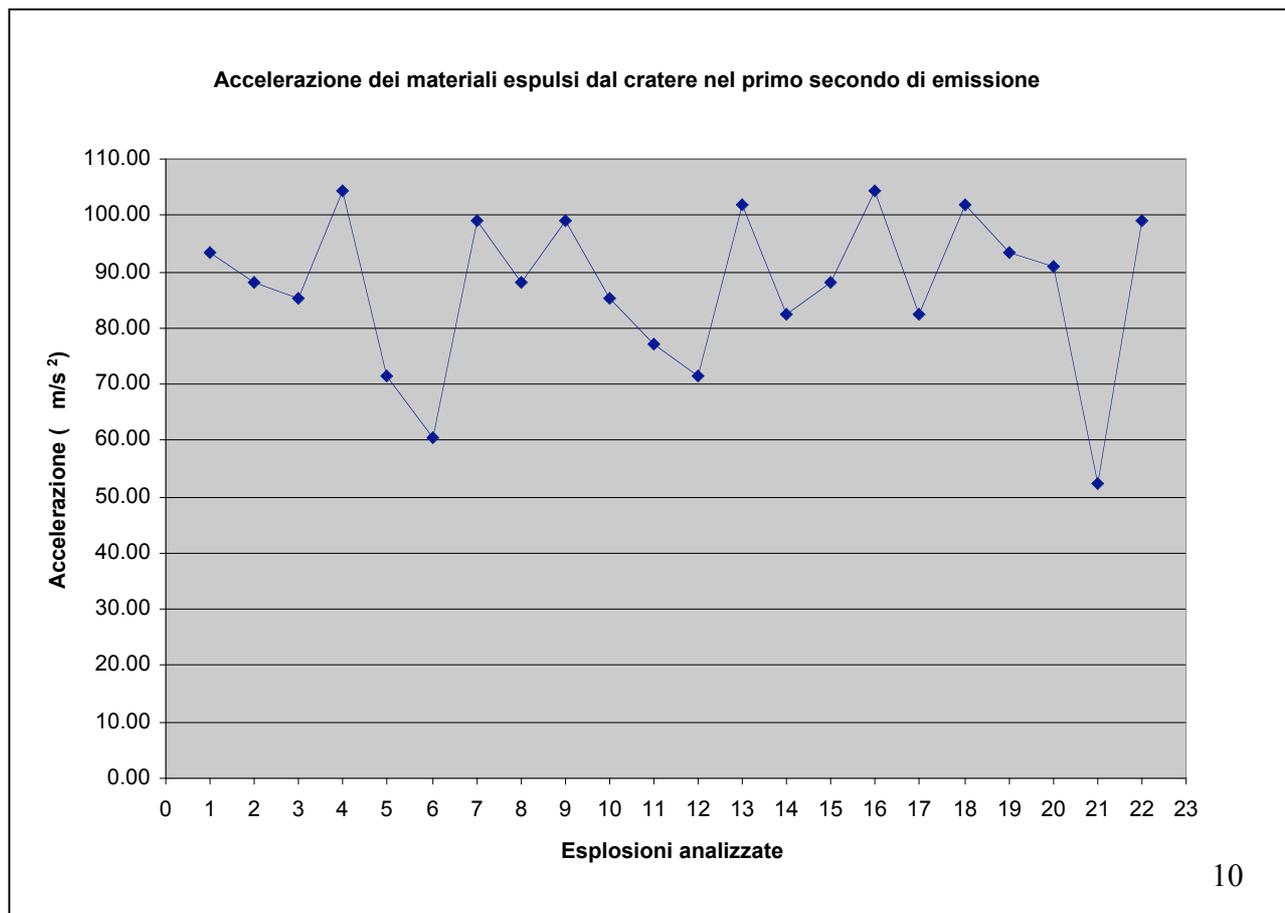
Figura 9. Foglio Excel in cui, per ogni frame elaborato, sono riportati tutti i parametri fisici di interesse sia in funzione dei pixel e senza avere considerato il fattore correttivo, sia nell'unità di misura reale ed avendo considerato il fattore correttivo.

Nel foglio Excel di figura 9, per ognuno dei due frame più significativi di ogni esplosione, sono riportate le misure della larghezza massima, dell'altezza massima, dell'area e di altri parametri fisici di interesse.

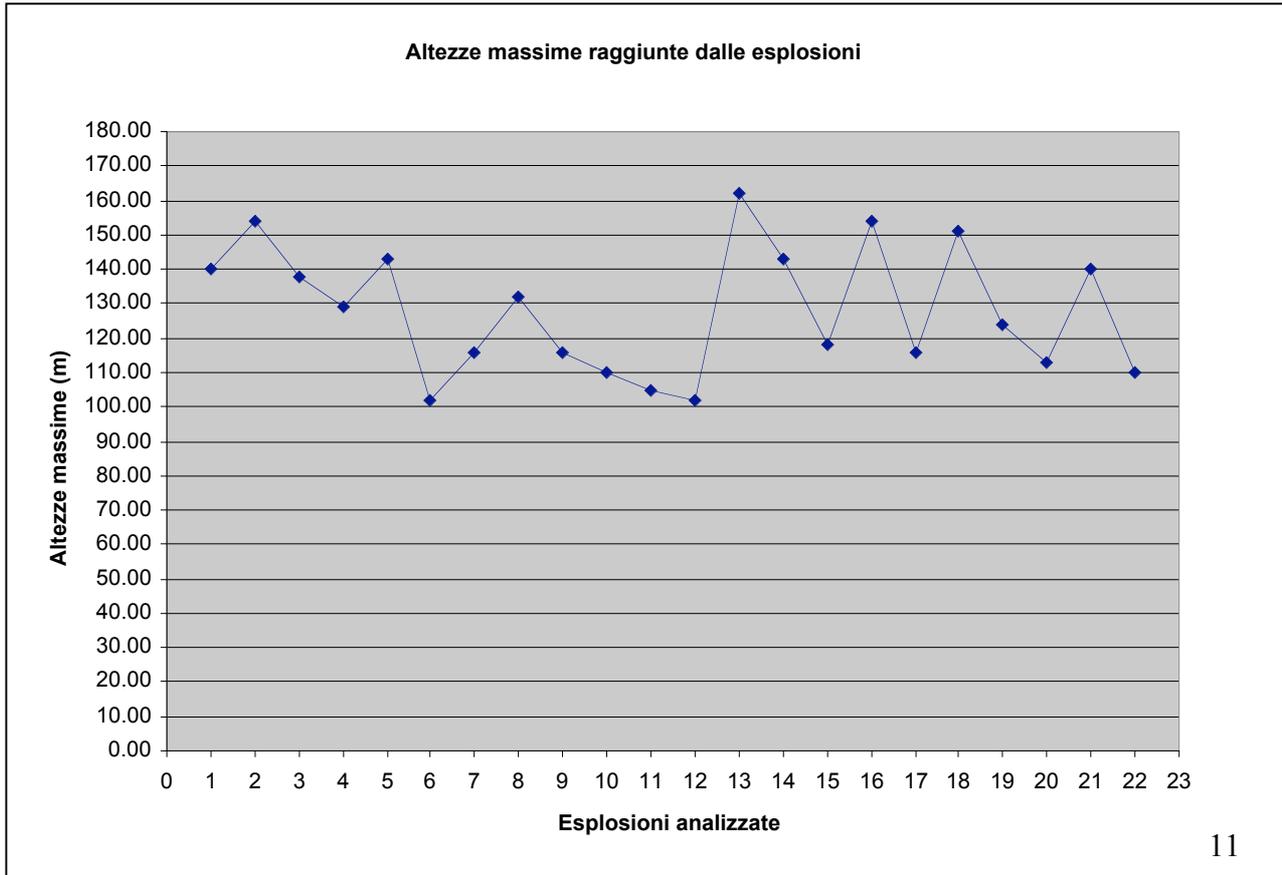
Dai primi frame di ogni esplosione si può risalire all'accelerazione del materiale espulso calcolata nel primo secondo di emissione, poiché il frame in questione è stato preso proprio allo scadere del primo secondo dall'inizio dell'esplosione (30° frame).

Dai secondi frame di ogni esplosione, cioè da quelli evidenziati dal suffisso max, si può risalire invece alle dimensioni massime dell'esplosione (altezza, larghezza, area, ecc.).

I Dati riferiti alle accelerazioni ed alle altezze massime delle esplosioni analizzate sono stati infine rappresentati su due grafici di Excel come mostrato in figura 10 e figura 11.



**Figura 10.** Grafico di Excel in cui è riportata, per ogni esplosione analizzata, l'accelerazione del materiale espulso dal cratere calcolata nel primo secondo di emissione.



**Figura 11.** Grafico di Excel in cui è riportata, per ogni esplosione analizzata, l'altezza massima raggiunta dal materiale espulso dal cratere.

**Sviluppi futuri**

Data l'importanza dei dati che è possibile ricavare da un sistema di questo tipo è stato previsto, sia sull'Etna sia alle isole Eolie un ampliamento del sistema di monitoraggio video mediante l'utilizzo di telecamere termiche che consentiranno, mediante software dedicati del tipo su esposto, il calcolo in tempo reale dei parametri fisici di interesse.

In ausilio al sistema suddetto potrebbe essere utilizzata anche una rete neurale progettata ad hoc che, dall'elaborazione in tempo reale dei dati suddetti, permetta di poter ricavare una previsione a breve termine dell'attività esplosiva futura.

## Bibliografia

- Andò B., Pecora E., 2006. “*An advanced video-based system for monitoring active volcanoes*”. Computers & Geosciences, 32, 85–91.
- Andronico D., Branca S., Calvari S., Burton M.B., Caltabiano T., Corsaro R.A., Del Carlo P., Garfi G., Lodato L., Miraglia L., Murè F., Neri M., Pecora E., Pompilio M., Salerno G., Spampinato L., 2005. “*A multi-disciplinary study of the 2002–03 Etna eruption: insights into a complex plumbing system*”. Bull. Volcanol., 67, 314–330.
- Bertuccio L., Coltelli M., Cristaldi A., Mangiagli S., Nunnari G., Pecora E. “*Automatic Classification of eruptive events by the VAMOS system*”. Atti del Convegno GIAST 99 - VI Workshop San Sepolcro (AR), 14 -16 settembre 1999.
- Calvari S., Lodato L., Spampinato L., 2004. “*Monitoring active volcanoes using a handheld thermal camera*”. Thermosense XXVI- SPIE, The International Society for Optical Engineering, v. 5405, pp. 199-209, doi: 10.1117/12.547497, Bellingham, WA, 14 April 2004.
- Calvari S., Spampinato L., Lodato L., Harris A. J. L., Patrick M.R., Dehn J., Burton M.R., Andronico D., 2005. “*Chronology and complex volcanic processes during the 2002--2003 flank eruption at Stromboli volcano (Italy) reconstructed from direct observations and surveys with a handheld thermal camera*”. J. Geophys. Res., 110, B02201, doi:10.1029/2004JB003129.
- Calvari S., Spampinato L., Lodato L., 2006. “*The 5 April 2003 vulcanian paroxysmal explosion at Stromboli volcano (Italy) from field observations and thermal data*”. Journ. Volc. Geoth. Res., 149 (1-2), 160-175.
- Falsaperla S., Neri M., Pecora E., Spampinato S., 2006. “*Multidisciplinary study of flank instability phenomena at Stromboli volcano, Italy*”. Geophys. Res. Lett., 33, L09304, doi:10.1029/2006GL025940.