



INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Sezione di Catania

U.F. Gravimetria e Magnetismo

Prot. int. n° UFGM-2008/06

AGGIORNAMENTO DELLO STATO DI ATTIVITÀ DELL'ETNA

Periodo 1 – 23 maggio 2008

Progetto V3 - LAVA

Realizzazione della mappa di pericolosità da colate di lava all'Etna e messa a punto di un metodo di aggiornamento dinamico

Progetti Vulcanologici - Convenzione INGV-DPC 2007-2009

Report di attività delle Unità di Ricerca:

Unità di Ricerca: V3/01

Ciro Del Negro (Responsabile Scientifico), INGV-Sezione di Catania

Gennaro Budetta, Alessia Ciraudo, Gilda Currenti, Ciro Del Negro, Gaetana Ganci, Filippo Greco, Alexis Herault, Rosalba Napoli, Danila Scandura, Antonino Sicali, Annamaria Vicari

Unità di Ricerca: V3/10

Valerio Tramutoli (Responsabile Scientifico), DIFA - Università della Basilicata, Potenza

Nicola Pergola, IMAA-CNR Tito Scalo (PZ)

Francesco Marchese, DIFA - Università della Basilicata, Potenza

Teodosio Lacava, IMAA-CNR Tito Scalo (PZ)

Irina Coviello, IMAA-CNR Tito Scalo (PZ)

Copyright

Le informazioni e i dati contenuti in questo documento sono stati forniti da personale dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Tutti i diritti di proprietà intellettuale relativi a questi dati e informazioni sono dell'Istituto e sono tutelati dalle leggi in vigore. La finalità è quella di fornire informazioni scientifiche affidabili ai membri della comunità scientifica nazionale ed internazionale e a chiunque sia interessato.

Si sottolinea, inoltre, che il materiale proposto non è necessariamente esauriente, completo, preciso o aggiornato.

La riproduzione del presente documento o di parte di esso è autorizzata solo dopo avere consultato l'autore/gli autori e se la fonte è citata in modo esauriente e completa.

Progetto V3 - LAVA

Realizzazione della mappa di pericolosità da colate di lava all'Etna e messa a punto di un metodo di aggiornamento dinamico

Progetti Vulcanologici - Convenzione INGV-DPC 2007-2009

Report di attività dell'Unità di Ricerca: V3/01

Ciro Del Negro (Responsabile Scientifico), INGV-Sezione di Catania
Gennaro Budetta, Alessia Cirauδο, Gilda Currenti, Ciro Del Negro, Gaetana Ganci, Filippo Greco, Alexis Herault, Rosalba Napoli, Danila Scandura, Antonino Sicali, Annamaria Vicari

Aggiornamento del 23 maggio 2008

Simulazione dei flussi lavici

L'eruzione in corso dell'Etna ha permesso di applicare alcune procedure per la produzione di scenari di pericolosità derivanti dalla messa in posto delle colate di lava. In particolare per ottenere delle stime più accurate dei cammini delle colate di lava, è stato integrato nel modello MAGFLOW (utilizzato per la simulazione delle colate) un algoritmo che usa immagini satellitari nell'infrarosso per stimare il tasso effusivo. Le immagini satellitari acquisite dal sensore MODIS montato a bordo dei satelliti AQUA e TERRA sono state fornite dall'UR Tramutoli del progetto V3 – LAVA che ha sviluppato un sistema per l'acquisizione e l'elaborazione in tempo reale dei dati.

Ad ogni immagine MODIS è stato applicato un algoritmo a soglia adattativa per il riconoscimento delle anomalie termiche. I punti riconosciuti sono congruenti con i risultati dell'algoritmo RST dell'UR Tramutoli, sia su AVHRR che su MODIS. Inoltre, per tutta la sequenza di immagini MODIS è stato calcolato l'indice NTI (Normalized Thermal Index), che caratterizza il livello di attività termica. A valori di NTI compresi tra -0.87 e -0.80 , si associa un livello di attività termica prossimo alla soglia critica. I valori che superano il livello di -0.80 (soglia critica) sono classificati come chiare anomalie termiche, con un livello di attività termica crescente fino al valore massimo di zero. Tale valore indica la saturazione del pixel corrispondente ad un livello di attività termica molto alta.

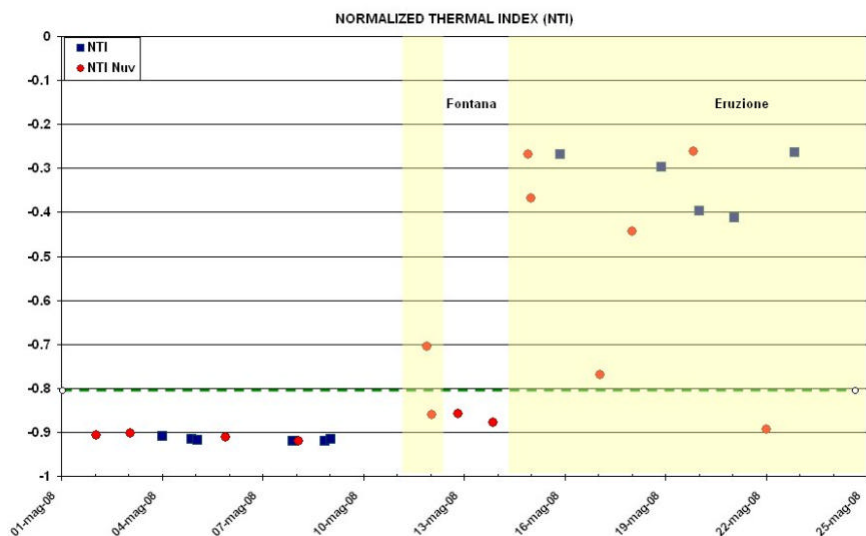


Fig. 1 – Indice NTI dell'Etna calcolato dal 1 Maggio 2008 al 19 Maggio 2008.

E' stata analizzata la sequenza delle immagini MODIS acquisite nel periodo 1-23 maggio 2008. In Figura 1 è riportato il valore dell'NTI per il pixel corrispondente al cratere di Sud Est. In particolare, i punti segnati con i quadrati blu rappresentano le immagini caratterizzate da assenza di copertura nuvolosa, mentre i punti segnati con i cerchi rossi rappresentano le immagini che mostrano una parziale copertura nuvolosa e, quindi, valori di NTI meno significativi. La linea tratteggiata verde orizzontale rappresenta la soglia critica del valore di NTI. Le aree in giallo rappresentano rispettivamente l'episodio di fontana di lava avvenuto tra il 10 e l'11 maggio 2008, e l'attività effusiva iniziata il 13 maggio 2008. Per l'intera sequenza disponibile e per tutti i punti segnalati come anomalie termiche è stato calcolato il tasso effusivo (Tab. 1).

Sensore	Data	ER min	ER max
MODIS	14/5/08 10.30	1.4	2.19
MODIS	14/5/08 21.36	8.25	17.8
MODIS	15/5/08 0.11	16.7	21.03
MODIS	15/5/08 1.49	6.47	17.33
MODIS	15/5/08 11.15	2.86	4.85
MODIS	15/5/08 12.54	1.84	2.23
MODIS	15/5/08 20.40	5.6	11.35
MODIS	17/5/08 1.35	2	4

Sensore	Data	ER min	ER max
MODIS	17/5/08 12.41	3.73	5.7
MODIS	18/5/08 0.40	2.17	4.1
MODIS	18/5/08 21.11	4.6	5.91
MODIS	19/5/08 12.29	0.49	0.92
MODIS	19/5/08 20.16	2.7	3.74
MODIS	20/5/08 0.28	0.32	1.39
MODIS	21/5/08 1.11	0.79	2.54
MODIS	22/5/08 20.46	1.18	2.13

Tab. 1: Stime dei tassi effusivi ottenuti da immagini MODIS nel periodo 14-22 Maggio 2008

Nel corso dell'eruzione sono stati prodotti altri valori del tasso effusivo (Bollettini CNT del 13, 15, 16, 18, 20 e 22 Maggio 2008, www.ct.ingv.it). In Figura 2 è riportata l'intera sequenza dei valori di tasso effusivo stimati da differenti gruppi di lavoro. In particolare, i triangoli rosa rappresentano le stime di tasso effusivo prodotte da CNT da immagini AVHRR, i quadrati viola le stime prodotte dal sistema ModVolc dell'Università delle Hawaii con immagini AVHRR e i cerchi verdi le stime prodotte dall'UFGM dell'INGV-Catania con immagini MODIS.

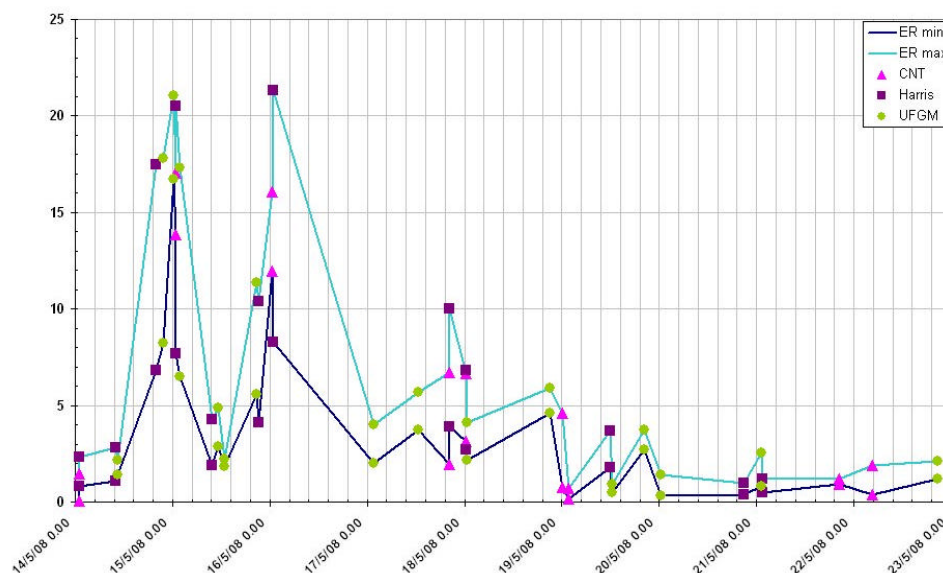


Fig. 1 – Stime del tasso effusivo calcolate dal 14 al 23 Maggio 2008

Le simulazioni dei flussi lavici sono state condotte con il codice MAGFLOW sviluppato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania. Il software si basa su una struttura ad Automa Cellulare. Il modello è in grado di operare in differenti condizioni, a seconda del tipo di funzione di evoluzione che si considera. In questo caso le simulazioni sono state condotte

utilizzando due differenti funzioni di evoluzione, (a) una soluzione dell'equazione di Navier-Stokes nel caso di un fluido di Bingham, (b) e il calcolo della massima pendenza della topografia (MAXSLOPE). Quando si utilizza la prima funzione di evoluzione, sono considerati anche gli effetti di solidificazione.

Scenari prodotti con MAGFLOW

Gli scenari sono stati calcolati utilizzando il DEM (modello digitale della topografia) dell'Etna ridotto ad una risoluzione orizzontale di 10 m realizzato da Maria Teresa Pareschi (INGV, Sezione di Pisa) aggiornato al 2007. Purtroppo il DEM non copre l'intera area necessaria alle simulazioni, per questo con il contributo di Marina Bisson (INGV, Sezione di Pisa) è stato esteso utilizzando il DEM aggiornato al 2005 fornito sempre dal gruppo Pareschi. Le simulazioni sono state effettuate considerando le 2 bocche eruttive apertesesi il 13 Maggio 2008 sul fianco orientale del cratere di Sud Est (comunicazione personale di Marco Neri; Tab. 2). I valori dei parametri utilizzati nelle simulazioni sono riportati in Tab. 3. Inoltre gli scenari rappresentano previsioni a 15 giorni, in cui come tasso effusivo è stato considerato quello riportato in Fig. 2.

Bocca	Coordinata x	Coordinata y
B1	501227.072692 E	4177967.34774 N
B2	501340.314342 E	4177905.9725 N

Tab. 2 – Coordinate delle bocche alla base del cratere di SE.

Parametro	Valore	Unità
Densità (?)	2600	kg m-3
Calore specifico (cp)	1150	J kg-1 K-1
Emissività (e)	0.9	
T solidificazione	1173	°K
T estrusione	1360	°K

Tab. 3 – Valori dei parametri utilizzati nelle simulazioni.

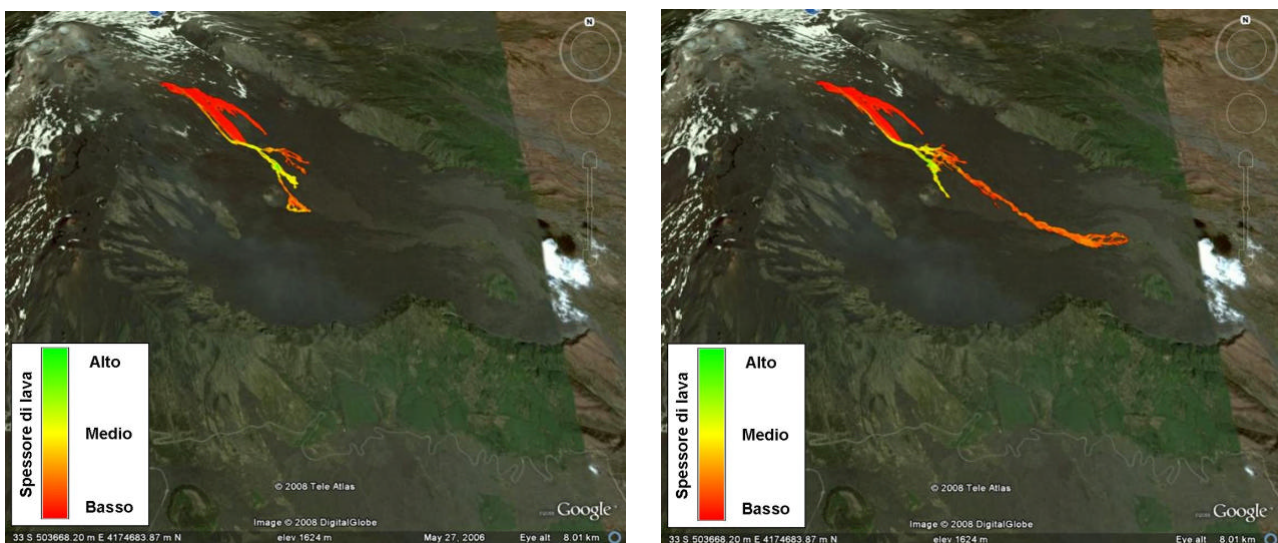


Fig. 3- Simulazioni effettuate utilizzando il valore di (a) tasso effusivo minimo e (b) tasso effusivo massimo, calcolati a partire dalle immagini satellitari.

In Fig. 3 sono riportati i due scenari ottenuti utilizzando rispettivamente il valore del tasso effusivo minimo e il tasso effusivo massimo, disponibili fino al 22 Maggio 2008. Per produrre uno scenario di previsione, si è supposto che dal 22 Maggio al 31 Maggio, il valore del tasso diminuisse gradualmente fino ad un valore di 1 m³/s.

A causa della costante copertura nuvolosa accaduta all'Etna in questo periodo è possibile che i valori del tasso effusivo possano essere sottostimati. Per questa ragione sono state condotte ulteriori simulazioni, aggiungendo un offset alla curva del tasso effusivo massimo riportata in Figura 2 di 10 e 20 m³/s rispettivamente. In Figura 4 sono riportati i due scenari ottenuti. Anche in questo caso, per produrre uno scenario di previsione, si è supposto che dal 22 Maggio al 31 Maggio, il valore del tasso effusivo diminuisse gradualmente fino ad un valore di 1 m³/s.

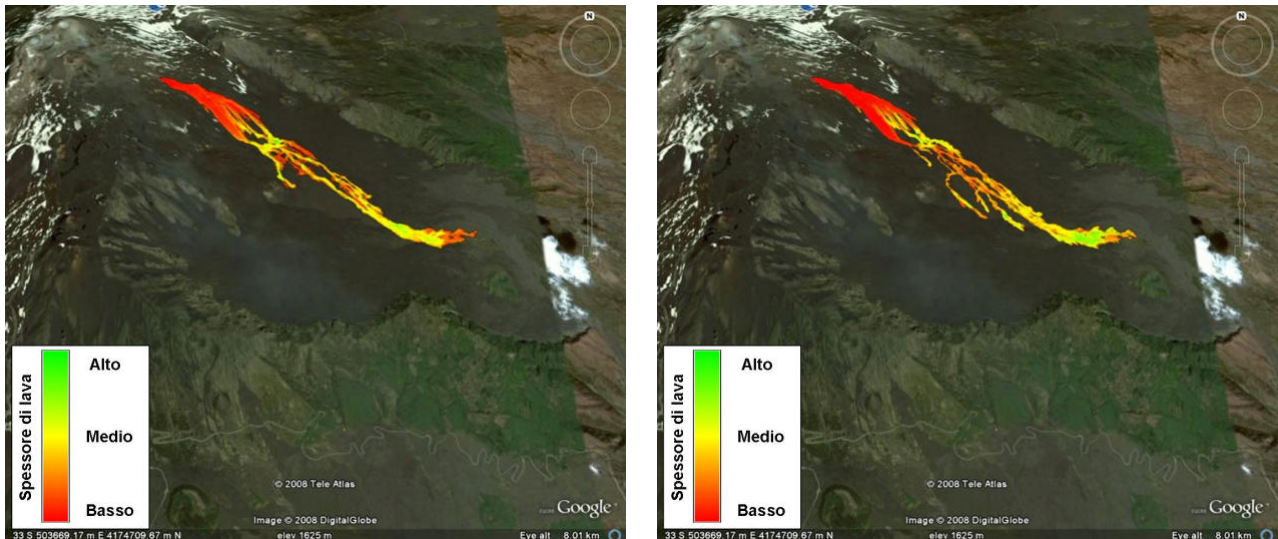


Fig. 4 - Simulazioni effettuate utilizzando il valore di tasso effusivo massimo calcolato a partire dalle immagini satellitari aggiungendo un offset di (a) 10 m³/s e (b) 20 m³/s.

Scenari prodotti con MAGFLOW usando l'opzione MAXSLOPE

Sono stati calcolati gli scenari di previsione del più probabile cammino percorso da una colata al variare della posizione di un'eventuale bocca eruttiva nella zona del rift di Nord Est. In particolare, sono state ipotizzate 7 bocche eruttive nell'alto versante settentrionale dell'Etna (Tab. 4).

Bocca	Coordinata x	Coordinata y
B1	499732.492212 E	4180414.35358 N
B2	499460.545171 E	4180782.28193 N
B3	499364.563863 E	4180430.35047 N
B4	498033.647307 E	4184438.02745 N
B5	498338.000402 E	4184465.69591 N
B6	498932.872362 E	4184604.03823 N
B7	499264.893922 E	4184936.05979 N

Tab. 4 – Coordinate delle bocche usate per MAXSLOPE.

In Fig. 4 è riportata la posizione delle bocche utilizzate. E' possibile vedere che sono state raggruppate in due differenti aree, una corrispondente alla parte sommitale del rift di Nord Est, e l'altra più a valle in direzione Nord. Le simulazioni sono state calcolate perturbando il DEM con un rumore casuale da -5 a +5 m.



Fig. 4- Posizione delle bocche utilizzate nelle simulazioni con MAXSLOPE.

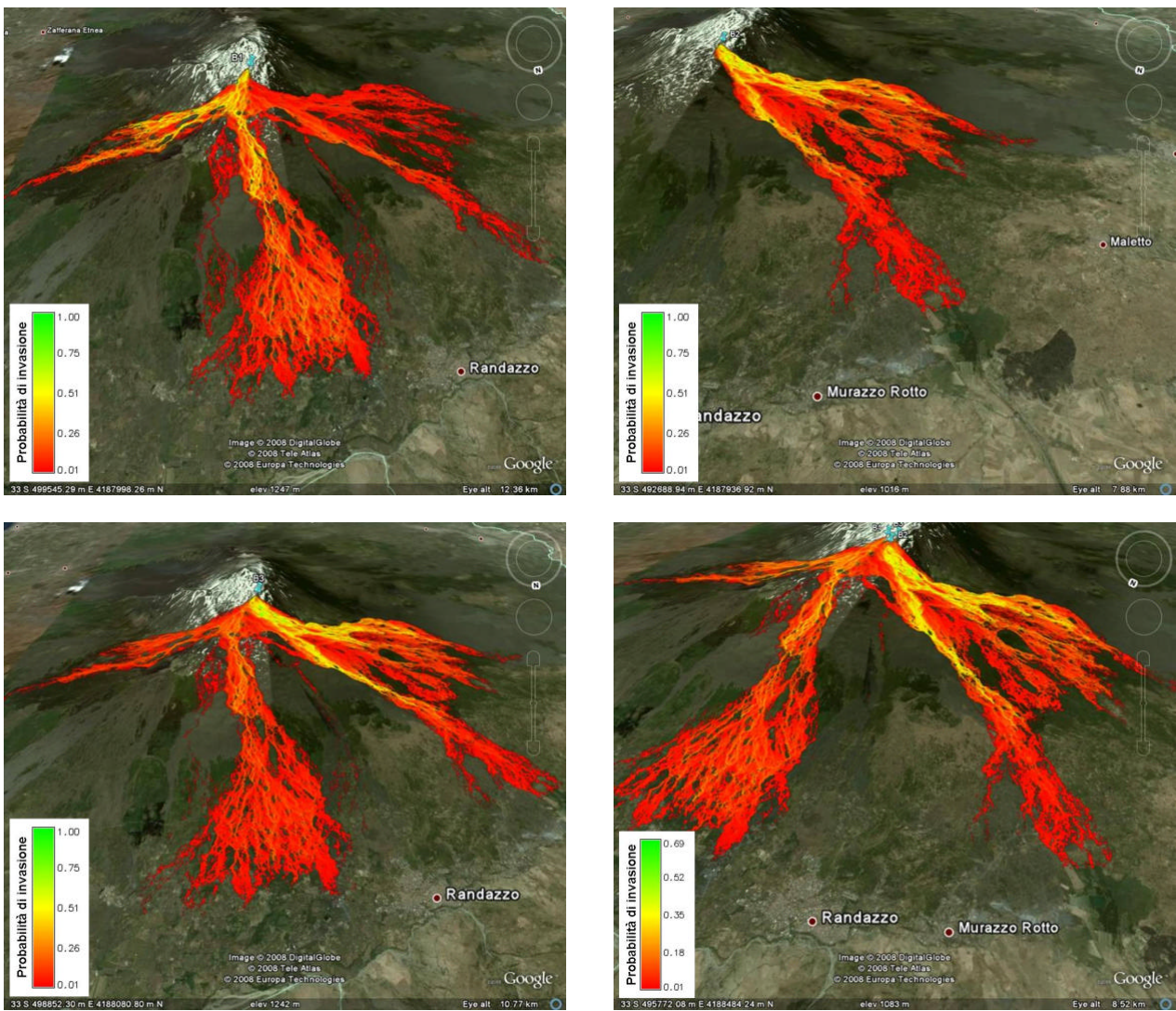


Fig. 5 – Mappa di probabilità di invasione delle colate simulate dalla bocca (a) B1, (b) B2, (c) B3 e (d) mappa totale che pesa i tre risultati insieme.

In Fig. 5 sono riportate le simulazioni rispettivamente corrispondenti alle bocche B1, B2, B3 e la mappa totale delle colate simulate emesse dalle 3 bocche. In Fig. 6 sono riportate le simulazioni rispettivamente corrispondenti alle bocche B4, B5, B6, B7 e la mappa totale delle colate simulate emesse dalle 4 bocche. In entrambe le Figure 5 e 6, i differenti colori sono associati alla probabilità di invasione delle aree, normalizzata rispetto al numero totale di simulazioni (1000).

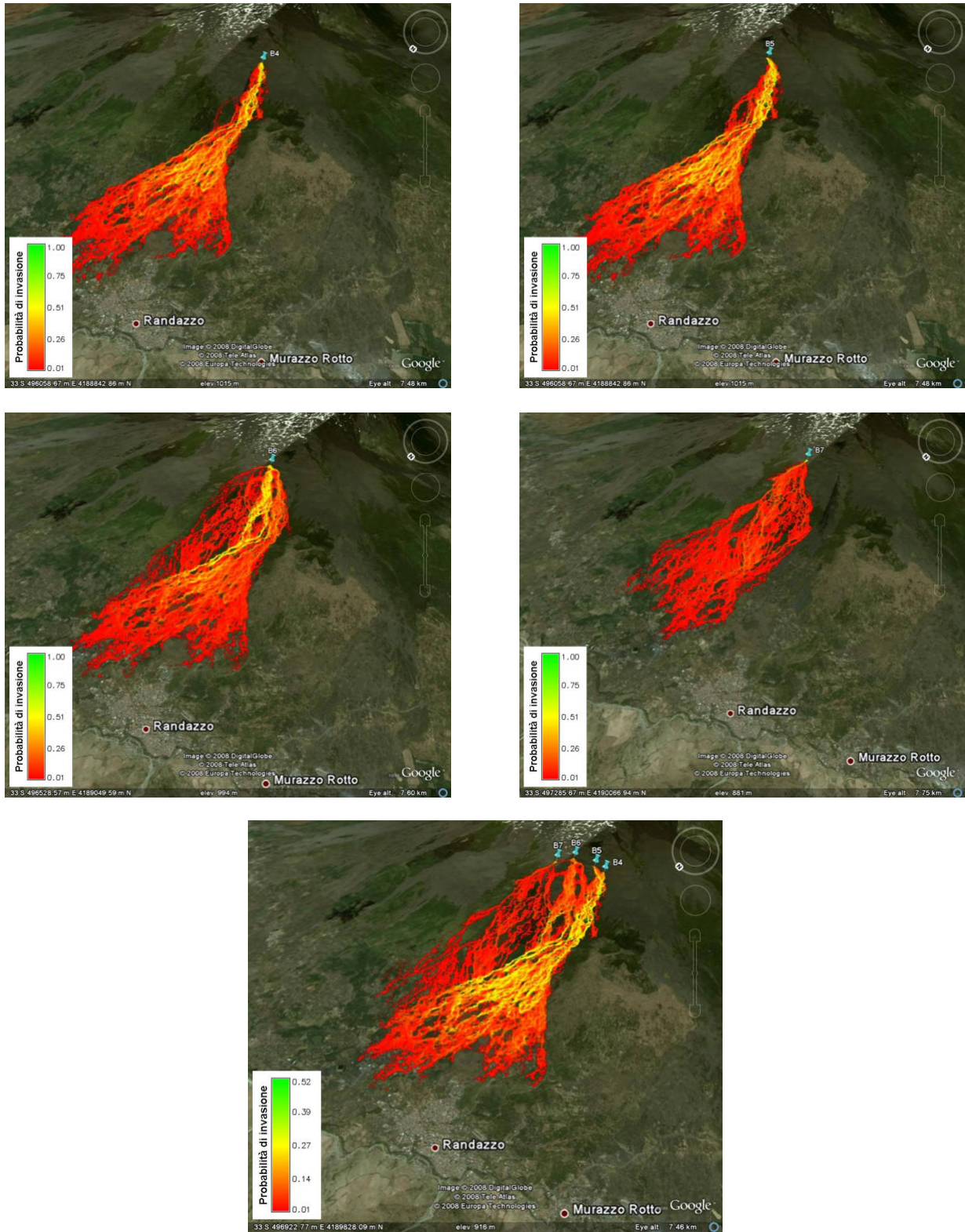


Fig. 6 – Mappa di probabilità di invasione delle colate simulate dalla bocca (a) B4, (b) B5, (c) B6, (d) B7, e (e) mappa totale che pesa i quattro risultati insieme.

Bibliografia

- Del Negro, C., Fortuna, L., Vicari, A., (2004). Modelling lava flows by Cellular Nonlinear Networks (CNN): preliminary results. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11: 1–9.
- Del Negro, C., Fortuna, L., Herault, A., Vicari, A. (2007). Simulations of the 2004 lava flow at Etna volcano by the MAGFLOW Cellular Automata model, *Bull. Volcanol.*, DOI 10.1007/s00445-007-0168-8.
- Herault, A., Vicari, A., Cirauda, A., and Del Negro, C. (2007). Forecasting Lava Flow Hazard During the 2006 Etna Eruption: Using the Magflow Cellular Automata Model, *Computer & Geosciences* (in press).
- Vicari, A., Currenti, G., Del Negro, C., Fortuna, L., Herault, A., Napoli, R., Rizzo, A., (2005). Simulations of lava flows at Mt Etna using paradigms of parallel computing. *Nonlinear Phenomena in Complex Systems*, 8:1, 84 – 88.
- Vicari, A., Herault, A., Del Negro, C., Coltelli, M., Marsella, M., Proietti, C. (2007). Modelling of the 2001 Lava Flow at Etna Volcano by a Cellular Automata Approach, *Environmental Modelling & Software*, 22, 1465-1471.
- Vicari, A., Cirauda, A., Del Negro, C., Fortuna, L. (2007). Lava flow simulations using effusion rates from thermal infrared satellite imagery during the 2006 Etna eruption, *Natural Hazard*, (in press).

Progetto V3 - LAVA

Realizzazione della mappa di pericolosità da colate di lava all'Etna e messa a punto di un metodo di aggiornamento dinamico

Progetti Vulcanologici - Convenzione INGV-DPC 2007-2009

Report di attività dell'Unità di Ricerca: V3/10

Valerio Tramutoli (Responsabile Scientifico), DIFA - Università della Basilicata, Potenza
Nicola Pergola, IMAA-CNR Tito Scalo (PZ)
Francesco Marchese, DIFA - Università della Basilicata, Potenza
Teodosio Lacava, IMAA-CNR Tito Scalo (PZ)
Irina Coviello, IMAA-CNR Tito Scalo (PZ)

Aggiornamento del 15 maggio 2008

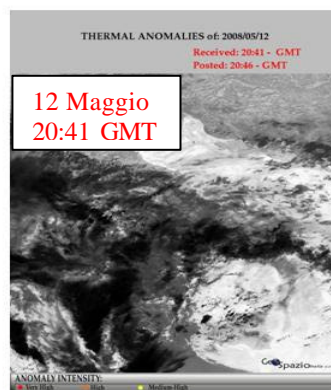
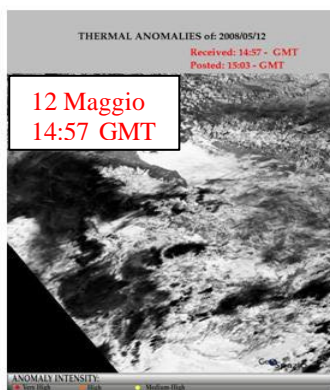
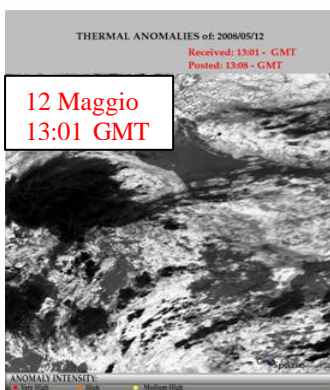
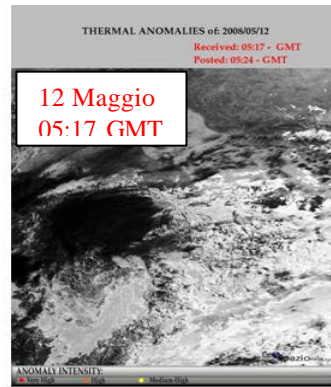
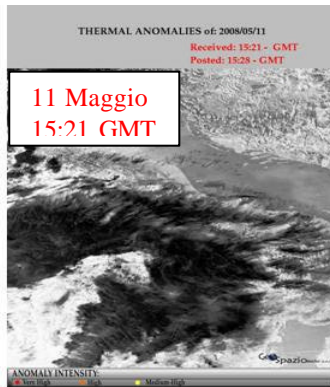
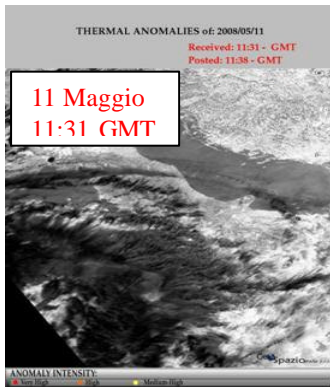
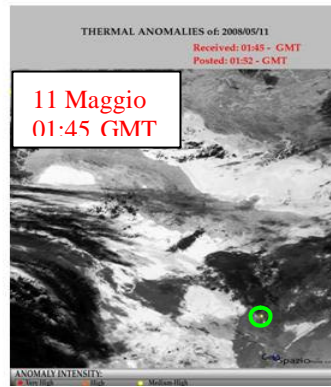
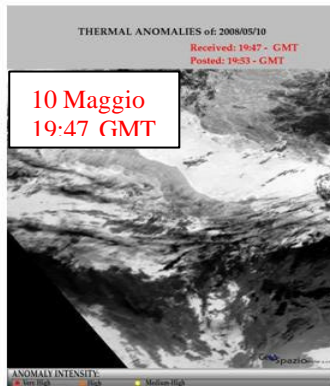
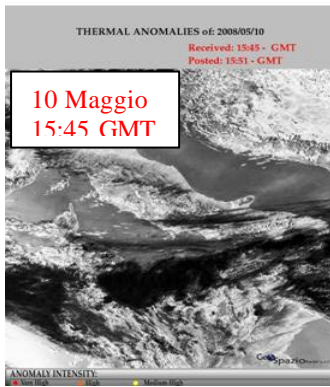
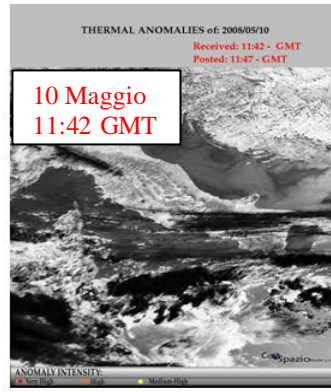
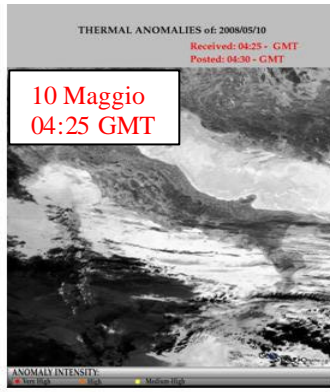
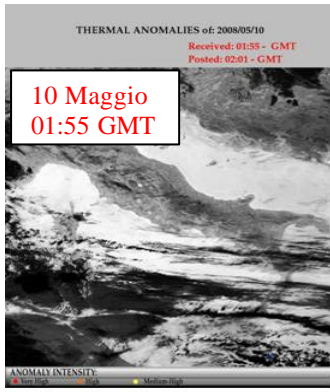
Riconoscimento delle anomalie termiche (Hot Spot Detection)

Di seguito sono riportate le osservazioni satellitari della nuova attività eruttiva in corso sull'Etna effettuate dal sistema automatico di monitoraggio sviluppato all'IMAA-CNR (Istituto di Meteorologie per l'Analisi Ambientale) tra il 10 e il 15 Maggio 2008. I prodotti satellitari sono stati generati processando sia dati NOAA-AVHRR che dati EOS-MODIS acquisiti direttamente dalla stazione di ricezione dell'IMAA, ed implementando un approccio multi-temporale di analisi dei dati satellitari (RST - Robust Satellite Techniques, Tramutoli 2005), che confronta ogni segnale termico acquisito da satellite con il suo comportamento "normale", derivato elaborando serie storiche di dati satellitari (Pergola et al., 2004; 2008; Marchese et al., 2008).

In Figura 1 è mostrata una sequenza temporale di dati AVHRR processati secondo l'approccio RST. La figura mostra come un'anomalia termica sia stata rilevata sull'Etna nell'immagine dell'11 maggio delle 01:55 GMT, dall'indice di variazione locale. Le condizioni estremamente nuvolose dell'area di osservazione hanno impedito infatti la possibile detection di eventuali segnali termici anomali sull'area del vulcano prima di tale data, e fino al 13 maggio, quando anomalie termiche vulcaniche sono state rilevate con maggiore continuità dall'indice di variazione locale ALICE (*Absolutely Local Index of Change of the Environment*).

Una migliore descrizione dei segnali termici anomali rilevati sull'Etna nel periodo 11-15 Maggio 2008, è riportata in Figura 1, in cui sono mostrate le mappe di anomalie termiche generate dal sistema di monitoraggio sviluppato all'IMAA, entro pochi minuti dall'acquisizione di un nuovo dato satellitare.

Le anomalie termiche rilevate sono state riproiettate su una mappa georeferenziata dell'Etna, e sono state riportate in diversi colori a seconda della loro intensità relativa. La Figura 2 mostra come l'anomalia termica rilevata l'11 Maggio nell'immagine delle 01:45 GMT fosse localizzata sul fianco orientale del vulcano e fosse caratterizzata da un basso livello di intensità. A partire dal 13 Maggio ed in particolare nelle immagini del 14 e 15 dello stesso mese è stato osservato un deciso incremento sia del numero che dell'intensità relativa dei segnali termici anomali, indicando un'attività effusiva in atto sul vulcano.



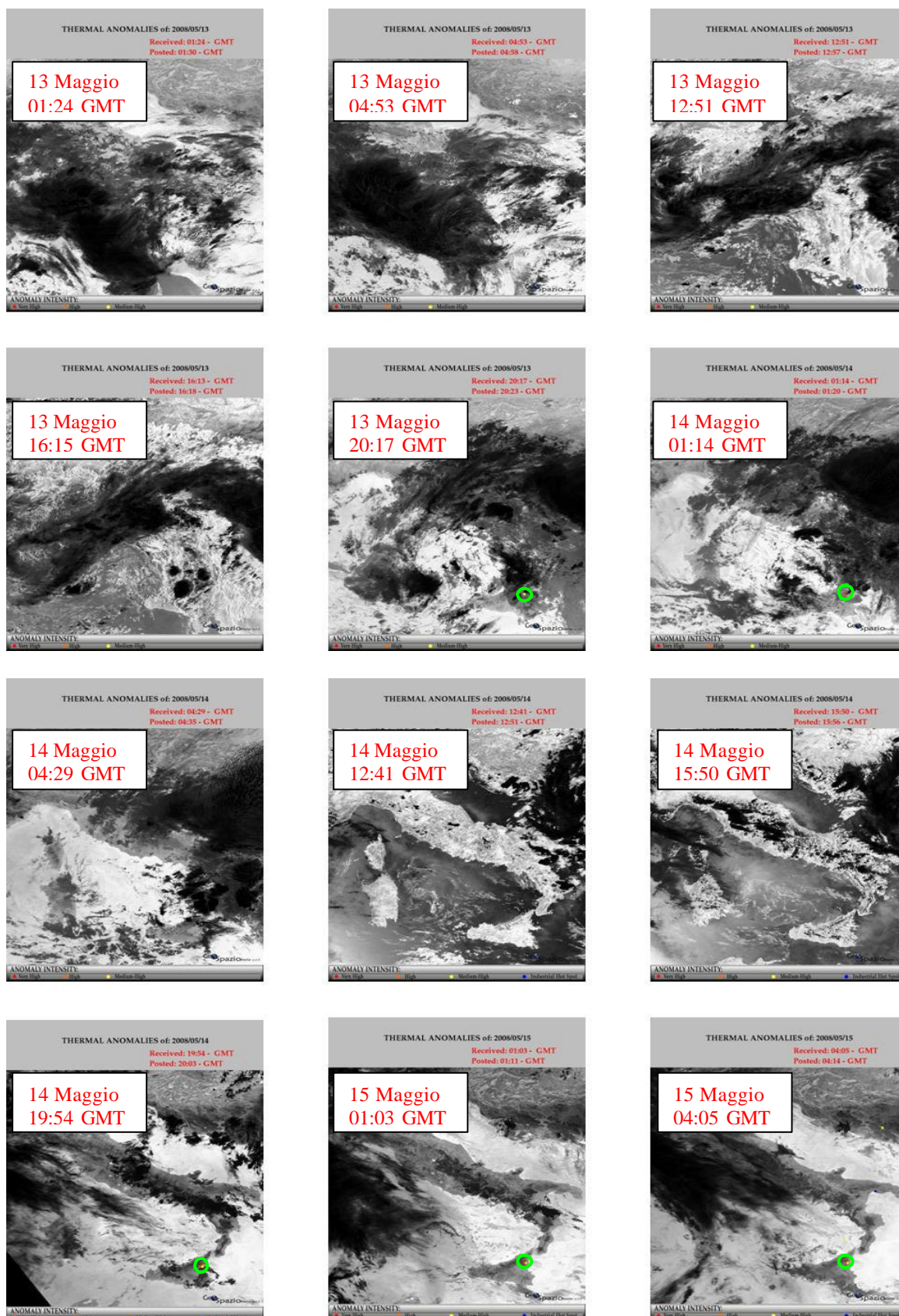


Fig 1: Sequenza temporale di dati NOAA-AVHRR direttamente processati all'IMAA nel periodo 10-15 maggio 2008. Le anomalie termiche rilevate sull'area dell'Etna sono riportate all'interno del cerchio verde in diversi colori.

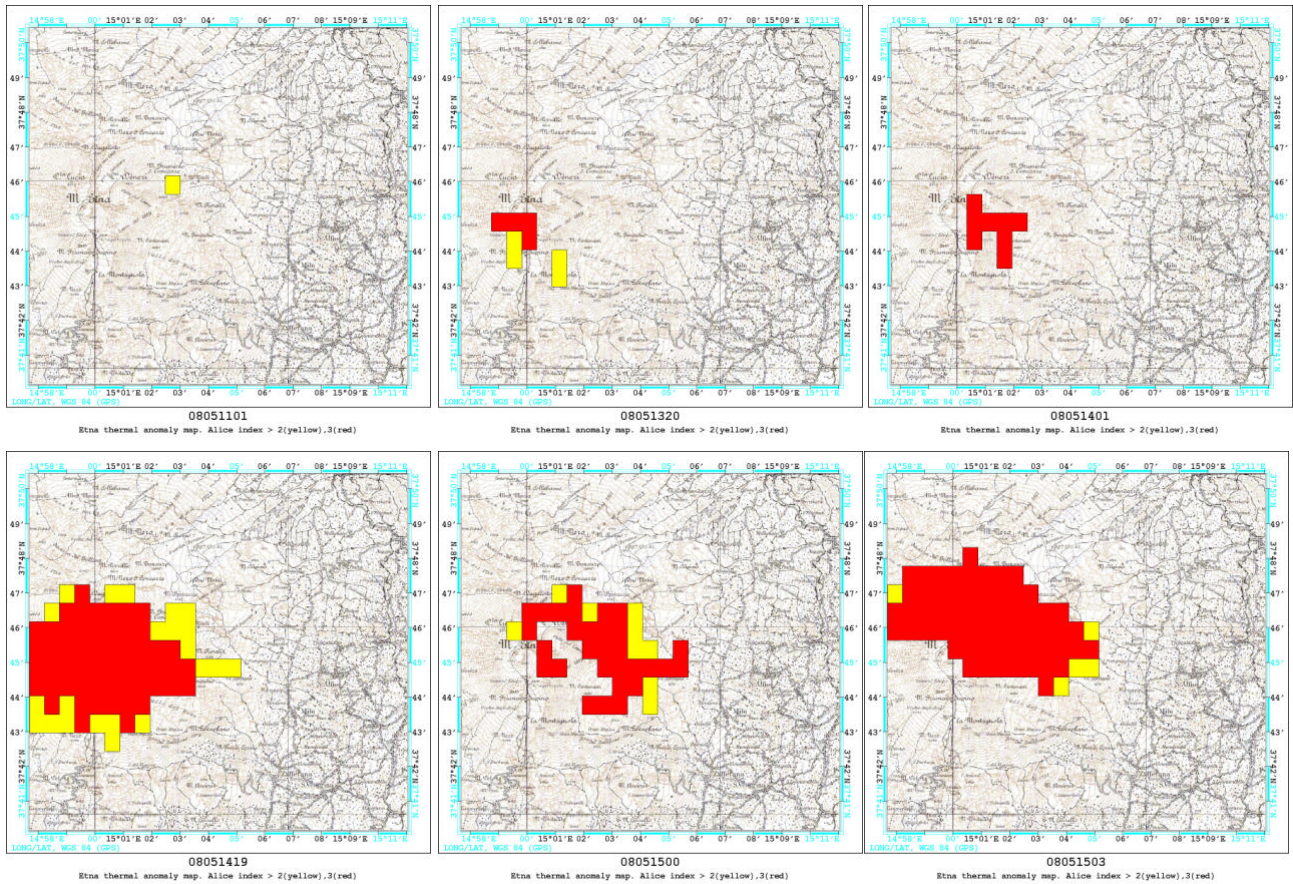


Fig 2: Sequenza temporale delle mappe di anomalie termiche generate in automatico nel periodo 11-15 Maggio 2008. Le anomalie termiche rilevate dall'indice di variazione locale ALICE sono state riportate in due colori sulla mappa sulla base della loro intensità relativa: medio-bassa (giallo), medio-alta (rosso).

Data	Ora	max	PC	n.pixel ALICE > 2	n. pixel ALICE >3
11/05/2008	01	2,29837	18	1	0
13/05/2008	03	9,48791	80	2	2
13/05/2008	20	6,04161	71	4	2
14/05/2008	01	4,19445	15	3	2
14/05/2008	04	4,03127	90	3	2
14/05/2008	15	2,66128	32	1	0
14/05/2008	19	13,9126	15	36	24
15/05/2008	00	10,5048	3	17	13
15/05/2008	03	12,6428	9	39	35
15/05/2008	03	11,105	19	41	28
15/05/2008	12	2,66741	52	2	0

Tabella 1: Descrizione delle anomalie termiche rilevate, all'interno di un box di 5*5 pixel, dalla tecnica RST tra l'11 ed il 15 maggio 2008 processando dati AVHRR. La terza colonna riporta il valore massimo dell'indice di variazione locale, la quarta colonna riporta la percentuale di nuvole all'interno del box, le ultime due colonne riportano il numero di pixel con ALICE >2 ed ALICE > 3.

Al fine di descrivere al meglio l'evoluzione spazio-temporale del fenomeno termico monitorato è stata effettuata un'ulteriore analisi sulle singole immagini AVHRR caratterizzate dalla presenza di anomalie termiche vulcaniche. La seguente tabella riporta per ogni dato satellitare considerato il valore massimo dell'indice di variazione locale all'interno di un box di pixel 5*5 centrato sull'area dell'Etna, la percentuale di copertura nuvolosa all'interno del box stesso, e il numero di pixel con ALICE >2 (anomalie termiche di bassa-media intensità) e ALICE >3 (anomalie termiche di media-alta intensità) rilevato.

Dall'analisi dei dati in Tabella 1 è possibile effettuare alcune considerazioni:

- Un chiaro incremento dell'attività termica vulcanica è registrato a partire dal 13 maggio quando l'indice di variazione locale assume un valore massimo di circa 9.5, quasi 5 volte più elevato rispetto all'osservazione precedente;
- L'attività termica vulcanica rimane pressoché costante (sia in termini di intensità che di numero di anomalie rilevate) fino alla sera del 14 maggio quando l'indice di variazione locale raggiunge un valore massimo di circa 14;
- Per tutto il 15 maggio la situazione rimane pressoché critica, come evidenziato dall'elevato numero di anomalie termiche rilevate nonché dall'elevato rapporto tra anomalie ad alta intensità e quelle a media-bassa intensità;
- Nell'ultima immagine elaborata, acquisita il 15 maggio intorno alle 12 GMT, il basso numero di anomalie termiche rilevate è probabilmente da imputare alla presenza di una nuova, cospicua copertura nuvolosa, come confermato anche dall'indice PC=52, anche per confronto con i giorni precedenti.

Molte delle osservazioni precedentemente illustrate ed effettuate tramite dati AVHRR sono state confermate anche dalle immagini EOS-MODIS, anch'esse processate secondo l'approccio RST. In figura 3 è riportato ad esempio il dato MODIS ricevuto il 12 maggio alle 20:10 GMT.

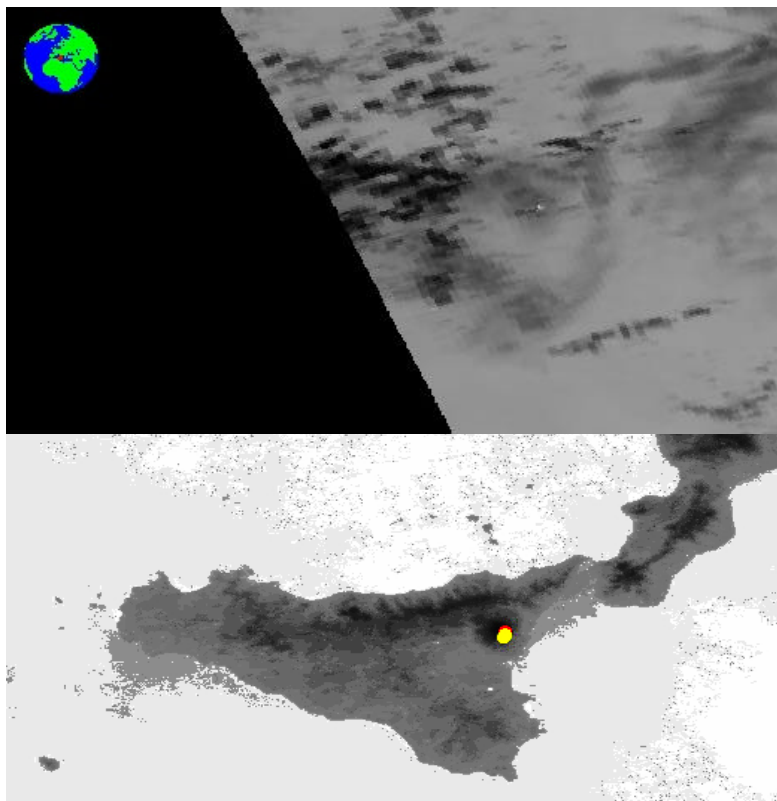


Fig 3: anomalie termiche, riportate in giallo e in rosso, rilevate processando l'immagine MODIS del 12 maggio ricevuta alle 20:10 GMT. Al top dell'immagine è riportato il canale 22 (MIR).

La Figura 3 evidenzia come alcune anomalie termiche di media e bassa intensità siano state rilevate sull'area del vulcano. Esse sono aumentate sensibilmente nelle immagini processate acquisite successivamente, come quelle del 14 e 15 maggio (figura 4).

Va considerato come in figura 4b, sebbene la presenza di anomalie termiche sia evidente, un effetto di duplicazione dei pixel è fortemente probabile a causa della posizione off-nadir dell'area dell'Etna nell'immagine.

Va infine sottolineato come l'utilizzo integrato di osservazioni multi-sensore (in questo caso AVHRR+MODIS) consente un monitoraggio più completo dell'evoluzione del fenomeno con tempi di "refresh" ottimizzati dall'uso sinergico delle osservazioni.

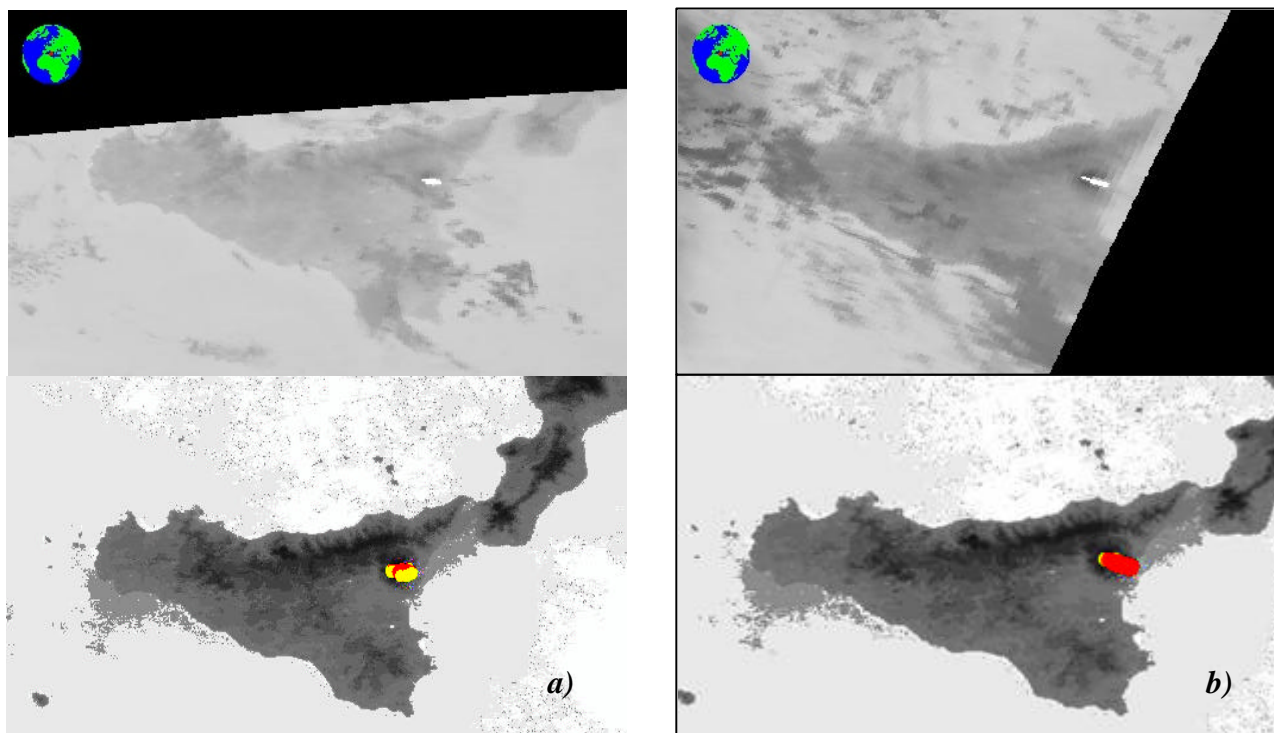


Fig 4: anomalie termiche, riportate in giallo e in rosso, rilevate processando i dati MODIS del (a) 14 maggio alle 21:36 GMT e (b) 15 maggio alle 01:24 GMT. Al top di ogni figura è riportato il canale 22 (MIR).

Bibliografia

- Marchese, F., D'Angelo, G., Ciampa, M., Filizzola, C., Pergola, N., Tramutoli V. (2008). Assessing the potential of a robust satellite technique for volcanic activity monitoring: possible impacts on volcanic hazard mitigation. *Journal Volcanology and Geothermal Research* (under review).
- Pergola, N., Tramutoli, V., Scaffidi, I., Lacava, T., Marchese, F. (2004). Improving volcanic ash clouds detection by a robust satellite technique. *Remote Sensing of Environment*, vol.90, no.1, 1-22.
- Pergola, N., Marchese, F., Tramutoli, V., Filizzola, C., Ciampa, M. (2008). Advanced Satellite Technique for the Monitoring and the Early Warning of volcanic activity. *Annals of Geophysics* (in press).
- Tramutoli V., Cuomo V., Filizzola C., Pergola N., Pietrapertosa C., (2005). Assessing the potential of thermal infrared satellite surveys for monitoring seismically active areas: The case of Kocaeli (I?zmit) earthquake, August 17, 1999 *Remote Sensing of Environment*, 96, 409 – 426.