

# Rapporti tecnici

## INGV

**La campagna di telerilevamento  
alle isole Eolie: validazione dei dati  
acquisiti da un sensore aereo  
multispettrale**

# 241



## **Direttore**

Enzo Boschi

## **Editorial Board**

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Simona Masina (BO)

Mario Mattia (CT)

Nicola Pagliuca (RM1)

Umberto Sciacca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

[redazionecen@ingv.it](mailto:redazionecen@ingv.it)



# Rapporti tecnici INGV

## LA CAMPAGNA DI TELERILEVAMENTO ALLE ISOLE EOLIE: VALIDAZIONE DEI DATI ACQUISITI DA UN SENSORE AEREO MULTISPETTRALE

Laura Colini<sup>1</sup>, Claudia Spinetti<sup>1</sup>, Valerio Lombardo<sup>1</sup>, Maria Fabrizia Buongiorno<sup>1</sup>, Iole Serena Diliberto<sup>2</sup>,  
Giovannella Pecoraino<sup>2</sup>, Lorenzo Brusca<sup>2</sup>, Roberto Guida<sup>2</sup>, Paolo Cafaro<sup>3\*</sup>, Sergio Liardo<sup>3\*</sup>,  
Marco Mancini<sup>3\*\*</sup>, Salvatore D'Andrea<sup>3\*\*\*</sup>, Francesco Bellella<sup>3\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti)

<sup>2</sup>INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Palermo)

<sup>3</sup>Comando Generale del Corpo delle Capitanerie di Porto (Guardia Costiera)

\* Capitano di Vascello, Pilota

\*\* Capitano di Vascello

\*\*\* Capo di 1° Classe, Nocchiere di porto, Operatore di volo

\*\*\*\* Sergente

# 241



## Indice

Introduzione	5
1. Obiettivi della missione	6
2. Strumentazione utilizzata per le misure in situ	6
2.1 Thermo-radiometro EVEREST 130-2L	7
2.2 Termocoppia K-TYPE, OMEGA-HH506R	7
2.3 ASD FieldSpec Pro FR	7
2.4 Camera Termica VisIR 640	8
2.5 Fotometro portatile	9
2.6 Rete Geochimica INGV-PA	10
3. Siti di misura	10
4. Misure in situ effettuate il 10/09/2010	12
4.1. AREA 1 (Cratere la Fossa)	12
4.2. AREA 2 (Molo di attracco dei traghetti di Vulcano)	14
4.3 AREA 6: (Misure in mare)	14
5. Misure in situ effettuate il 12/09/2010	15
5.1. AREA 1: (Cratere La Fossa)	15
5.2. AREA 2: (Molo di attracco dei traghetti di Vulcano)	15
5.3. AREA 3: (Spiaggia di Levante)	17
5.4. AREA 4: (Spiaggia delle Sabbie Nere)	17
5.5. AREA 5: (Piazzale dell'Eliporto di Vulcano)	18
5.6 AREA 6: (Misure in mare)	18
6. Campagna di misure aerea	19
7. Conclusioni	24
Ringraziamenti	25



## Introduzione

Le sette Isole Eolie sono tutte di origine vulcanica e comprendono un vulcano attualmente in attività (Stromboli), due vulcani con un record di eruzioni storiche (Vulcano e Lipari), nonché un vulcano interessato da attività fumarolica (Panarea). L'arcipelago eoliano costituisce una zona molto complessa dal punto di vista geodinamico, rappresenta una peculiarità nel nostro territorio nazionale e richiede una particolare attenzione principalmente in ragione delle attività vulcanica e sismica ivi presenti che rappresentano un rischio potenziale significativo che interessa sia il bacino antropico stanziale sia l'ingente bacino di utenza turistica stagionale.

Il 30 dicembre 2002 l'eruzione del vulcano Stromboli causò il distacco di una frana parzialmente subacquea, generando un'onda anomala che provocò ingenti danni alle abitazioni dell'isola (Figura 1) ma fortunatamente nessuna vittima, essendo il periodo invernale poco frequentato dai turisti. Più recentemente, il 16 agosto 2010, si è verificato un evento sismico di magnitudo 4.5, con epicentro poco ad ovest della parte nord di Vulcano. Il terremoto ha provocato il distacco di alcune frane nelle porzioni meridionale dell'isola di Lipari e settentrionale di Vulcano. Le frane da crollo sono avvenute in zone costiere lungo i costoni fortemente acclivi della costa sud-occidentale e sud-orientale dell'isola di Lipari (Figura 2) determinando la necessità di interdire tali aree ai visitatori.



**Figura 1.** Danni provocati dal maremoto a Stromboli (foto del 04/01/2003).

Eventi quali quello legato allo tsunami di Stromboli del 2002 hanno spinto le Autorità competenti a focalizzare l'attenzione sulla necessità di un monitoraggio efficace e continuo dei fenomeni legati all'attività vulcanica delle isole Eolie con particolare attenzione a Stromboli e Vulcano.

L'INGV segue costantemente l'attività sismica e vulcanica dell'arcipelago eoliano. Per mezzo di efficaci e innovativi sistemi di monitoraggio sismico, geochimico, geodetico, termico, ecc, si possono individuare e misurare i fenomeni indotti dal movimento di magma in profondità, permettendo di conoscere costantemente lo stato dell'attività vulcanica. In tale contesto assumono particolare rilevanza lo studio e l'identificazione dei cosiddetti fenomeni precursori di un'eventuale ripresa dell'attività vulcanica, questi precursori possono essere di natura sismica, geodetica, geochimica, termica, ecc. volendo citare solo i più ricorrenti nella casistica delle eruzioni recenti e per i quali sono disponibili osservazioni strumentali continue. Attraverso l'analisi e interpretazione di dati acquisiti tramite misure effettuate in maniera continua è possibile determinare con un certo anticipo se un vulcano sta evolvendo verso una ripresa dell'attività

eruttiva. Il rilevamento dei fenomeni citati è effettuato utilizzando diverse reti di strumenti installate sul territorio esaminato. Il loro studio richiede spesso sofisticate tecniche di analisi sviluppate dai ricercatori dell'INGV e dall'intera comunità scientifica internazionale coinvolta nella mitigazione del rischio vulcanico e dei rischi ad esso correlati (frane costiere, onde anomale).



**Figura 2.** Frane sulle spiagge di Lipari (foto del 11/09/2012).

## **1. Obiettivi della missione**

Nel periodo 10-12 settembre 2010 si è svolta la campagna di misure aeree e di terra nell'ambito delle applicazioni del protocollo d'intesa esistente tra l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ed il Comando Generale del Corpo delle Capitanerie di Porto - Guardia Costiera. Tale campagna è stata caratterizzata da misure effettuate dal sensore aereo multispettrale Sensytech AA1268 – ATM (imbarcato a bordo dell'ATR42 MP) e da misure *in situ* effettuate tramite strumentazione di terra sia su superfici marine che terrestri. Gli scopi principali della missione sono stati: verificare l'allineamento e la congruenza delle misure eseguite dal sensore aereo con quelle effettuate dalla strumentazione a terra; acquisire informazioni circa la temperatura del mare e di alcuni siti di interesse geochimico ubicati sull'isola di Vulcano; verificare lo stato delle coste con la rilevazione aerea delle frane per definire i possibili effetti del terremoto di magnitudo 4.5 avvenuto con epicentro Vulcano.

## **2. Strumentazione utilizzata per le misure in situ**

La campagna di misure a terra è stata condotta dal personale dell'INGV proveniente dalle sedi di Roma e di Palermo, avvalendosi di una strumentazione costituita da diverse tipologie di sensori. In particolare sono stati utilizzati, per le misure di temperatura, un termo-radiometro Everest 130-2L, una Camera Termica VisIR 640 ed una Termocoppia K-TYPE; per le misure di radianza è stato utilizzato uno Spettrometro portatile FieldSpec Pro FR; per le misure atmosferiche un fotometro Microtops II. Inoltre, nell'area del cratere La Fossa di Vulcano è installata una rete di sensori geochimici gestiti dalla sezione INGV di Palermo. Durante le acquisizioni aeree sono state effettuate numerose misure per la rilevazione della temperatura della fumarole sede dei capisaldi della rete INGV.

Il personale dell'Ufficio Circondariale Marittimo di Lipari, contestualmente ai sorvoli aerei, ha provveduto a rilevare da un natante la temperatura superficiale dell'acqua utilizzando un termometro a immersione e, durante le misure *predawn* del 12 settembre, anche il termo-radiometro Everest in dotazione al personale INGV.

Di seguito viene riportata una descrizione sintetica degli strumenti utilizzati.

### 2.1 Termo-radiometro EVEREST 130-2L

L'EVEREST 130-2L (figura 3) è un termo-radiometro in grado di acquisire nel range spettrale 8 -14  $\mu\text{m}$ . Lo strumento registra la radianza emessa da un corpo e la converte in temperatura previa assegnazione di una data emissività al corpo stesso. La temperatura misurata viene quindi visualizzata in tempo reale su un display a cristalli liquidi. L'accuratezza dello strumento è di  $0.1^\circ\text{C}$  ad una distanza massima di circa 300 m, caratteristiche che lo rendono ideale per misure di temperatura di campioni non facilmente accessibili o in condizioni climatiche sfavorevoli che renderebbero difficoltosa una misurazione di contatto. Lo strumento è dotato di un elevato numero di funzioni che permettono la registrazione continua o discreta delle misure eseguite.



Figura 3. Termometro IR: modalità di acquisizione in mare.

### 2.2 Termocoppia K-TYPE, OMEGA-HH506R

La Termocoppia K-TYPE può operare in un intervallo di temperatura tra i  $-200^\circ\text{C}$  e i  $1372^\circ\text{C}$  con un'accuratezza di circa  $0.3^\circ\text{C}$ . La lettura della misure avviene attraverso un *data logger* a 4 cifre ed un decimale (massimo valore 9999,9) che permette la lettura dei valori di temperatura in gradi Celsius o Fahrenheit.

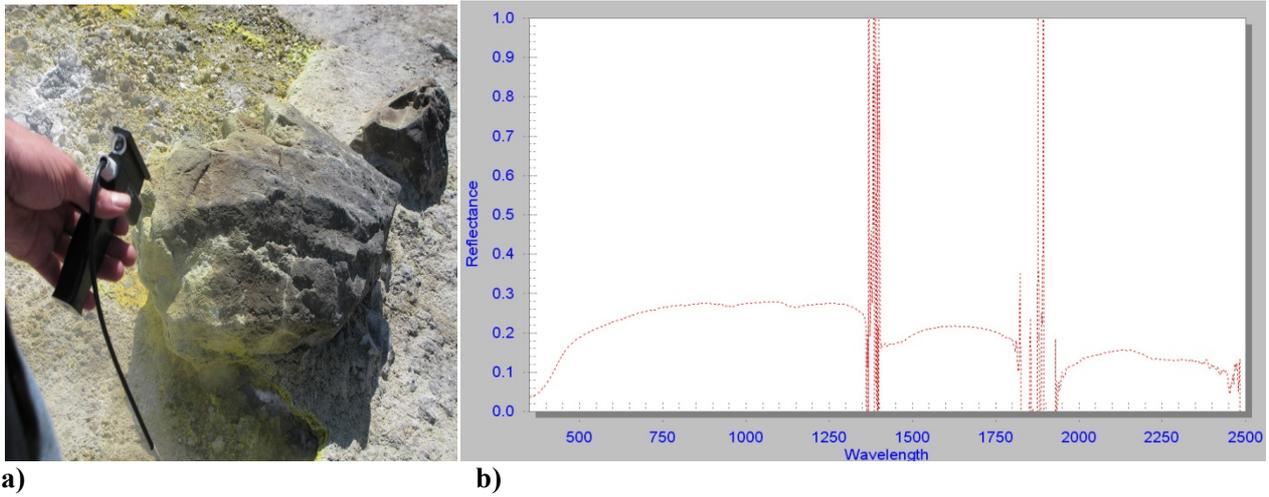
### 2.3 ASD FieldSpec Pro FR

L'ASD FieldSpec Pro FR è uno Spettroradiometro portatile del peso complessivo di circa 15 kg in grado di acquisire l'energia radiante nel range spettrale  $0.35\text{-}2.50 \mu\text{m}$ . La radianza emessa/riflessa da un campione viene registrata da tre diversi spettrometri (VNIR, SWIR1, SWIR2) attraverso una fibra ottica avente un *Field Of View* (FOV) originale di  $25^\circ$ . Gli spettri acquisiti (sino ad un numero di 10 al secondo) vengono visualizzati attraverso un interfaccia (RS3) su un computer portatile sia per una immediata analisi degli stessi sia per le eventuali successive elaborazioni.

Lo strumento può lavorare in tre diverse modalità:

- radianza: l'energia viene calibrata in radianza espressa in  $[\text{W}/\text{cm}^2 \text{ sr nm}]$
- riflettanza: usando una superficie di riferimento (spectralon)
- irradianza

Al fine di ridurre la superficie dell'area investigata, è possibile utilizzare delle ottiche aggiuntive che permettono di portare il FOV dello strumento a  $18^\circ$ ,  $8^\circ$ ,  $3^\circ$ ,  $1^\circ$  rispettivamente.



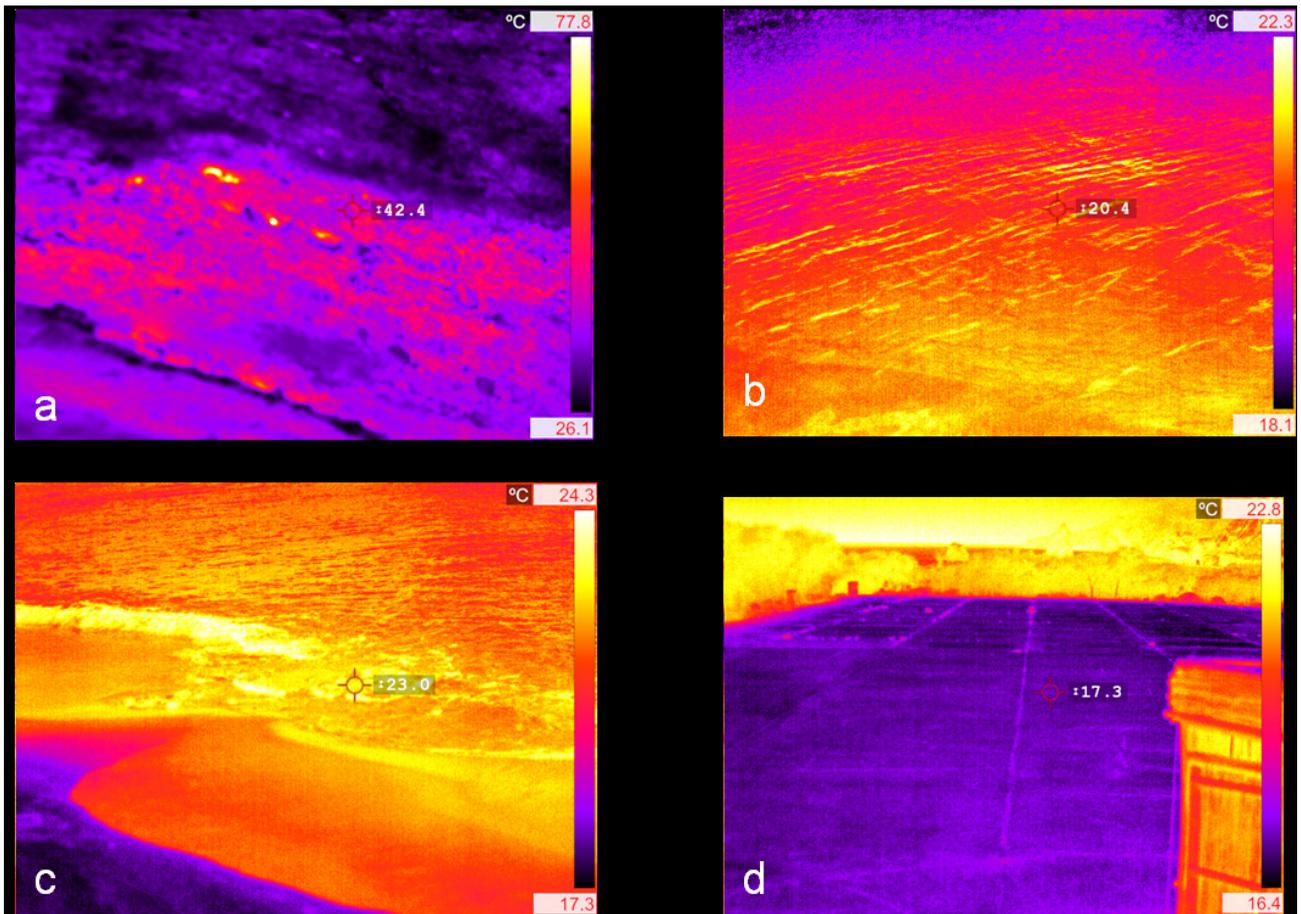
**Figura 4.** Spettrometro portatile Fieldspec a) modalità di acquisizione, b) spettro di riflettanza associato acquisito nella zona del Cratere la Fossa (12/09/2010).

#### 2.4 Camera Termica VisIR 640

Durante la campagna di misure è stata utilizzata una Camera Termica, modello VisIR 640 della Thermoteknix System Ltd, con range spettrale 8-14  $\mu\text{m}$ . Tale modello è dotato di un *case* in policarbonato adatto alle acquisizioni in aree caratterizzate da alta contaminazione come le aree vulcaniche. Nelle successive figure vengono illustrate la modalità di ripresa e le immagini in temperatura acquisite nei diversi siti.



**Figura 5.** Camera Termica: acquisizione di dati nella zona del Cratere La Fossa.



**Figura 6.** Immagini rilevate della Camera Termica a) temperatura di una fumarola della zona craterica di Vulcano, rilevata il 10/09 (AREA 1); b) temperatura della superficie del mare rilevata il 10/09 nella zona del molo di attracco dei traghetti di Vulcano (AREA 2); c) temperatura della superficie del mare sede di attività fumarolica e antistante la spiaggia di Levante di Vulcano rilevata il 12/09 (AREA 3); d) temperatura dell'asfalto del piazzale dell'eliporto di Vulcano (AREA 5) rilevata il 12/09.

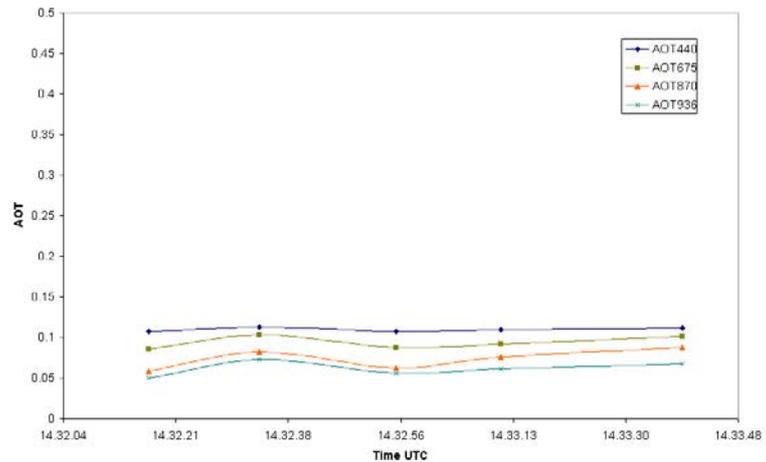
## 2.5 Fotometro portatile

Ai fini della caratterizzazione del particolato atmosferico presente durante le acquisizioni aeree è stato utilizzato il fotometro portatile Microtops II della casa Solar Light. Il Microtops è un fotometro Volztype che utilizza la tecnica della misura radiometrica con uno stretto campo di vista di 2.5°. Microtops è molto utilizzato grazie alla sua facilità di trasporto essendo compatto e leggero. Lo strumento dispone di 5 canali spettrali che dipendono dai tipi di filtri montati: le lunghezze d'onda sono rispettivamente di 440 nm, 675 nm, 870 nm, 936 nm e 1020 nm.

Lo strumento fornisce la misura di spessore ottico dell'aerosol atmosferico a diverse lunghezze d'onda ed il contenuto colonnare di acqua precipitabile (o contenuto colonnare).



a)



b)

**Figura 7.** a) Fotometro portatile Microtops II. b) Spessore ottico misurato nella zona del molo di attracco dei traghetti di Vulcano (10/09/2010).

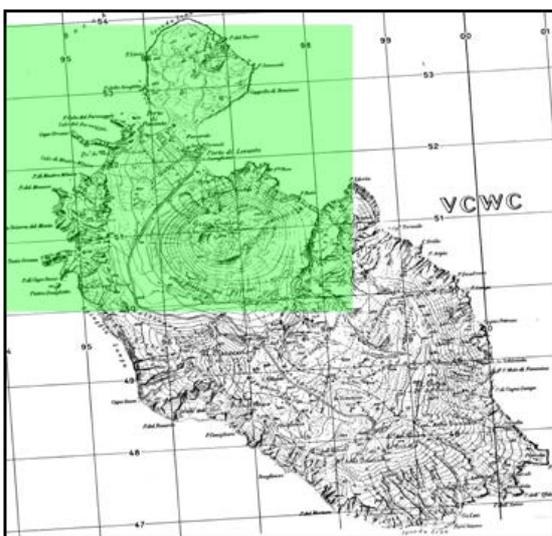
## 2.6 Rete Geochimica INGV-PA

La rete di monitoraggio geochimico a Vulcano è soggetta a frequenti interventi di manutenzione per mantenere i sistemi di rilevamento operativi in relazione ai problemi di alimentazione ma soprattutto alle condizioni ambientali ostili determinate dalla presenza temperature operative estreme, di gas acidi di origine vulcanica, ed elevata umidità. La rete è collegata alla sala di monitoraggio di Palermo attraverso ponti radio su frequenza dedicata e rete GSM. I dati del monitoraggio continuo, utilizzati per il controllo a terra delle acquisizioni, provengono da stazioni che registrano le temperature superficiali di 3 siti dell'area craterica del cono attivo La Fossa, ubicati in 3 fumarole di alta temperatura (F5, F5AT, FA).

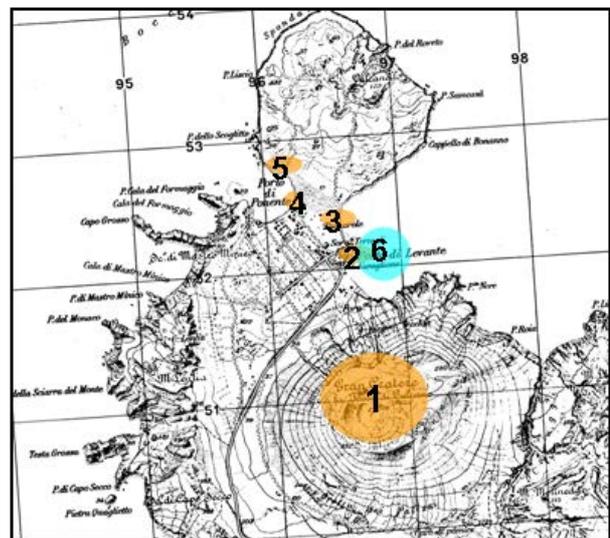
Periodicamente vengono effettuati campionamenti delle fumarole per valutare lo stato di attività esalativa in relazione a modelli geochimici basati su parametri intensivi (composizione chimica ed isotopica dei fluidi fumarolici), e parametri estensivi (flusso di vapore, flusso di SO<sub>2</sub>, flusso di CO<sub>2</sub> diffusa dai suoli e flussi di energia ad essi associati).

## 3. Siti di misura

La scelta dei siti di misura a terra è stata determinata da un insieme di fattori, ed in primo luogo dall'accessibilità di siti caratterizzati da anomalie termiche facilmente individuabili sulle immagini riprese dal sensore aereo (Figure 8 e 9).



**Figura 8.** Isola di Vulcano, in verde l'area esaminata.



**Figura 9.** Particolare delle aree sede dei rilievi.

I rilievi in situ hanno riguardato le seguenti aree (Figure 9):

**AREA 1:** zona sommitale del cratere La Fossa di Vulcano. Qui sono ubicati i capisaldi della rete INGV-PA dove è stato possibile misurare i valori di Temperatura delle fumarole significative dell'attività vulcanica.

**AREA 2:** molo di attracco dei traghetti di Vulcano. Sono state effettuate misure della superficie del molo e del mare.

**AREA 3:** Spiaggia di Levante. Sono state effettuate misure della superficie sabbiosa e della zona termale in mare.

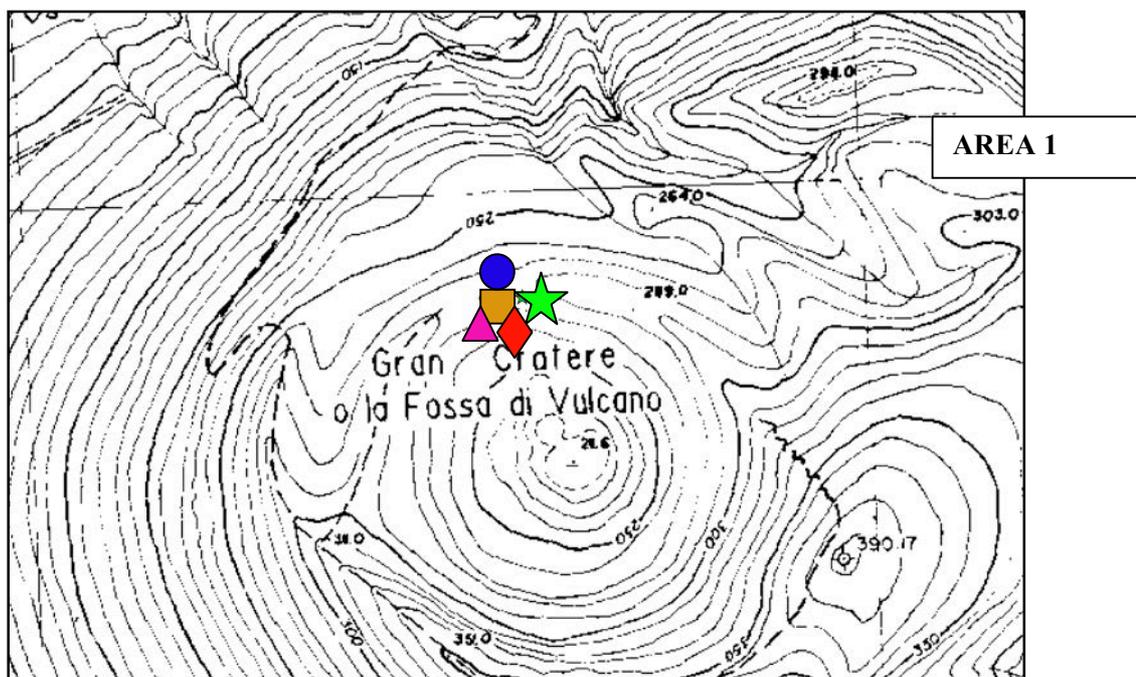
**AREA 4:** Spiaggia di Ponente. Sono state effettuate misure della superficie sabbiosa.

**AREA 5:** Eliporto. Sono state effettuate misure della superficie asfaltata.

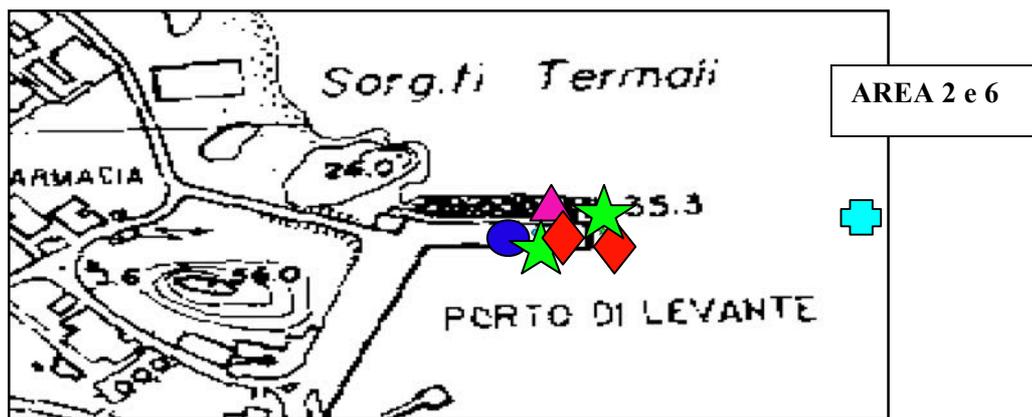
**AREA 6:** mare antistante il molo dov'è stata rilevata la temperatura superficiale dell'acqua mediante un termometro a bordo di un natante.

Sono stati selezionati infatti alcuni punti di misura ubicati sia sull'orlo del cratere La Fossa di Vulcano che al suo interno (Area 1, Figura 10). La maggior parte di questi punti sono sede di attività fumarolica e alcuni ospitano inoltre la strumentazione della rete di monitoraggio INGV - Palermo che normalmente restituisce al server della sala di acquisizione 1 dato ogni ora ma che in occasione dei rilievi ha registrato le temperature delle fumarole monitorate con il minimo intervallo di tempo possibile (ogni 2 minuti). Al fine di poter confrontare le temperature al suolo con i dati rilevati dal sensore aereo durante il sorvolo, le misure di temperatura nell'Area 1 sono state effettuate contestualmente al volo utilizzando le diverse tipologie di strumenti descritte nel precedente paragrafo. Ulteriori rilievi sono stati effettuati sul molo di attracco dei traghetti (Area 2, Figura 11) sia sulla superficie di asfalto del molo che in acqua e contestualmente al sorvolo diurno del 10 settembre e di quello predawn del 12. Sulle spiagge di Levante (Area 3, Figura 12) e di Ponente (Area 4, Figura 12) e sul piazzale di asfalto dell'eliporto (Area 5, Figura 12) i rilievi sono stati eseguiti contestualmente al sorvolo aereo predawn del 12 settembre.

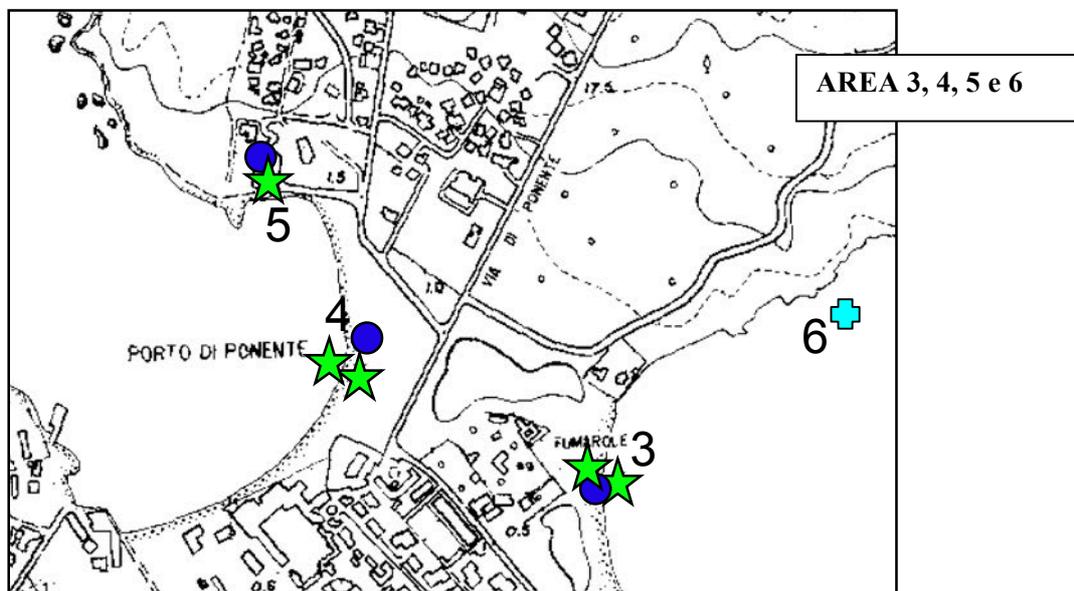
Inoltre sono stati effettuati rilievi in mare da un natante della Guardia Costiera contestualmente alle acquisizioni aeree (Area 6, Figure 11 e 12) utilizzando un termometro ad immersione ed il Termoradiometro.



**Figura 10.** Siti di misura dell'Area 1. I simboli corrispondono ai seguenti strumenti: Termocoppia (cerchio); Camera Termica (stella); Fotometro (triangolo); FieldSpec (quadrato); Rete geochimica (rombo).



**Figura 11.** Siti di misura dell'Area 2. I simboli corrispondono ai seguenti strumenti: Termocoppia (cerchio); Camera Termica (stella); Fotometro (triangolo); Everest (rombo); termometro a bordo del natante (croce).



**Figura 12.** Siti di misura dell'Area 3, 4, 5 e 6 I simboli corrispondono ai seguenti strumenti: Termocoppia (cerchio); Camera Termica (stella), misure in mare dal natante (croce)

#### 4. Misure in situ effettuate il 10/09/2010

Il giorno 10/09/2010 per l'intera giornata sono stati effettuate misure in situ sia contestuali che non ai passaggi aerei. Si riportano di seguito le misure in situ suddivise per aree.

##### 4.1. AREA 1 (Cratere la Fossa)

Sono state effettuate misure di temperatura utilizzando la Termocoppia (TCP) e la Camera Termica (TC) sul bordo del cratere. Le rilevazioni riportate in TABELLA 1 non sono state effettuate contestualmente al sorvolo aereo pomeridiano ma hanno avuto inizio alle 13:56 (ora locale) e sono terminate alle 14:45 (ora locale). La rete geochimica INGV-PA ha effettuato campionamenti ogni 2 minuti registrando le temperature delle fumarole FA (T4), F5 (T3) e F5At (T1, T2).

Codice misura	Punto GPS	TCP (°C)	TC (°C) centro scena	Distanza suolo di TC	Descrizione Target
TT1	N 38.40506 E 14.96045	36-37	36	0,40 m	Punto sito sul bordo interno del cratere (altezza e direzione della fumarola FA)
TT2	N 38.40528 E 14.96087	28-29	61	1 m	Fumarola da frattura la TCP ha misurato il bordo e TC la fumarola con varie geometrie
TT3	-	72-90	-	1 m	Fumarole doppie
TT4	-	-	-	1 m	Fumarola FA
TT5	N 38.40506 E 14.96045		-	-	Panoramica del bordo craterico

**TABELLA 1.** Misure nell'AREA1 Criteri di codifica delle misure: TT temperatura misurata a terra espressa in gradi centigradi.

Durante i rilievi sono state effettuate le misure discontinue all'interno delle fumarole F5At e F5 ubicate sull'orlo del cratere La Fossa e nella fumarola FA lungo il versante interno.

Le misure all'interno della fumarola FA sono riportate in TABELLA 2 dove le coordinate riportate rappresentano vertici del rettangolo che inscrive l'area a più alta temperatura all'interno della quale sono state effettuate 11 misure. Lungo l'orlo craterico settentrionale sono invece state effettuate 25 misure, in TABELLA 2 è rappresentato il range riscontrato.

Posizione	FT Max	FT min
33 S 496620 4250800	269	110
33 S 496620 4250800	269	110
33S 496670 4250820	269	110
33 S 496670 4250820	269	110
North edge	423	271

**TABELLA 2.** Misure di temperatura (FT: temperatura della fumarola) massima e minima ottenute in 4 punti dalla rete geochimica INGV-PA il 10/09/2010 tra le ore 10:00 e le ore 13:00 (ora locale).

La TABELLA 3 contiene una sintesi delle registrazioni effettuate ogni 2 minuti in fumarola F5At (T1 e T2) ed F5 (T3), ubicate sull'orlo, ed in fumarola FA (T4) lungo il versante interno.

	T1	T2	T3	T4	Tcase
<b>T min</b>	384	364	308	244	24
<b>T max</b>	409	405	339	254	35
<b>HF record start</b>	09/09 16.31	10/09 16.31	11/09 16.31	09/09 16.34	10/09 16.34
<b>HF record stop</b>	13/09 07.30	14/09 07.30	15/09 07.30	13/09 07.37	14/09 07.37

**TABELLA 3.** Registrazioni effettuate ogni 2 minuti in fumarola F5At (T1 e T2) ed F5 (T3), ubicate sull'orlo ed in fumarola FA (T4) lungo il versante interno. (Tcase: temperatura interna dello strumento di misura).

#### 4.2. AREA 2 (Molo di attracco dei traghetti di Vulcano)

Sono state effettuate misure di temperatura utilizzando il Termoradiometro Everest (E), la Termocoppia (TCP) e la Camera Termica (TC) con inizio alle ore 16:00 e fine alle ore 16:45 (ora locale) contestualmente al sorvolo aereo. Le misure sono state effettuate sia a terra (asfalto del molo e lastra di metallo ossidato presente in parte della pavimentazione del molo), sia puntando gli strumenti (Camera Termica e Termoradiometro) sulla superficie del mare. È da rimarcare che contestualmente alle misure ivi descritte, un natante della Guardia Costiera provvedeva alla rilevazione della temperatura del mare a poche centinaia di metri di distanza dal molo. Sono state inoltre effettuate misure fotometriche.

Codice misura	Punto GPS	TCP (°C)	E (°C)	TC centro scena (°C)	Ora locale	Descrizione Target
TT6	N 38 24 56 E 14 57 41	38.8-39	-	-	16:08	Asfalto del molo durante il primo passaggio aereo (rilevamento ottimale)
TM1	N 38 24 56 E 14 57 41	-	20.4-20.5	20	16:08	Mare: superficie del mare di fronte al molo
TM2	N 38 24 56 E 14 57 41	-	20.5-21.1	21.4	16:10	Mare: superficie del mare a distanza di qualche metro dal molo
TM3	N 38 24 56 E 14 57 41	-	20-20.3	-	16:23	Panoramica della superficie del mare
MF1	N 38 24 56 E 14 57 41	-	-	-	16:08	Misura fotometrica effettuata sul molo.
MF2	N 38 24 56 E 14 57 41	-	-	-	16:32	Misura fotometrica effettuata sul molo contestualmente al passaggio aereo. (rif. grafico Fig.7)

**TABELLA 4.** Criteri di codifica delle misure per la TABELLA: TT temperatura misurata a terra espressa in gradi centigradi; TM temperatura misurata sulla superficie del mare in gradi centigradi; MF misura effettuata con il fotometro.

#### 4.3 AREA 6: (Misure in mare)

Nell'Area 6 (Figure 11 e 12) antistante il molo del traghetto di Vulcano sono state effettuate misure di temperatura della superficie del mare. Le misure riportate in TABELLA 5 sono state contestuali ai rilievi aerei.

<b>PUNTO 1</b> 38°24'916N 014°57'866E	Ora locale di inizio misure	Ora locale di fine misure	Temperatura della superficie del mare (°C)
1	15:57	16:00	25
2	16:03	16:06	25
3	16:14	16:17	25
4	16:20	16:23	25
5	16:28	16:31	25
<b>PUNTO 2</b> 38°25'133N 014°58'083E	Ora locale di inizio misure	Ora locale di fine misure	Temperatura della superficie del mare (°C)
1	16:42	16:45	25
2	16:50	16:53	25
3	16:55	16:58	25
4	17:02	17:05	25
5	17:08	17:11	25

**TABELLA 5.** Rilievi in mare.

## **5. Misure in situ effettuate il 12/09/2010**

Il giorno 12/09/2010 sono state effettuate diverse misure sia contestuali al passaggio aereo che non contestuali. Le misure sono state suddivise con riferimento alle aree campionate che si riportano di seguito.

### **5.1. AREA 1: (Cratere La Fossa)**

Nell'Area 1 (Figura 9) sulla sommità del Cratere La Fossa di Vulcano sono state effettuate misure utilizzando il Fieldspec (Figura 4), misure fotometriche (Figura 6) e misure della rete geochimica INGV. Le misure hanno avuto inizio alle ore 8:00 (UTC) e sono terminate alle ore 10:30 (UTC), contestualmente ad esse la rete geochimica INGV ha effettuato campionamenti in continuo nella fumarola FA.

### **5.2. AREA 2: (Molo di attracco dei traghetti di Vulcano)**

Nell'Area 2 (Figura 10) sul molo del traghetti di Vulcano sono state effettuate misure di temperatura per mezzo della Termocoppia (TCP) e Camera Termica (TC) contestuali alle acquisizioni del sensore aereo. Le misure riportate in TABELLA 6 hanno avuto inizio alle ore 04:15 (ora locale) e si sono concluse alle ore 05:15 (ora locale).

Codice misura	Punto GPS	TCP (°C)	TC centro scena (°C)	Ora locale	Descrizione Target
TM4	N 38 24 56 E 14 57 41	-	21.7	04:29	Superficie del mare: temperatura acqua antistante molo traghetti
TM5	N 38 24 56 E 14 57 41	-	-	4:30	Traghetto ormeggiato
TM6	N 38 24 56 E 14 57 41	-	-	4:34	Acqua, lato sud del molo in corrispondenza delle scalette per accedere alle imbarcazioni.
TM7	N 38 24 56 E 14 57 41	-	21.5	4:38	Immagine ripresa dal molo che visualizza la superficie del mare ed il gommone della Guardia Costiera
TT7	N 38 24 56 E 14 57 41	22.5	21.2	4:41	Piastra di metallo ossidato posato sull'estremità del molo verso il mare aperto
TT8	N 38 24 56 E 14 57 41	-	21.1	4:45	Piastra di metallo ossidato sull'estremità del molo verso il mare aperto
TM7	N 38 24 56 E 14 57 41	-	22.5	4:53	Superficie del mare ripresa dal molo
TM8	N 38 24 56 E 14 57 41	-	21	5:07	Superficie del mare ripresa dal molo mentre l'aereo si trova sulla verticale delle misure a terra
TT10	N 38 24 56 E 14 57 41	21.8	21.1	5:09	Piastra metallo sul molo (lunghezza del molo e larghezza 3m)
TT11	N 38 24 56 E 14 57 41	21.1	19.3	5:12	Cemento nella zona centrale del molo
TT12	N 38 24 56 E 14 57 41	21.1	-	-	Piazzale cemento come TT11
TM9	N 38 24 56 E 14 57 41	-	21.9	-	Superficie del mare ripresa dal molo (tratto tra le due scalette di accesso imbarcazioni)
TM10	N 38 24 56 E 14 57 41	-	22.2	5:25	Mare di fronte molo

**TABELLA 6.** Criteri di codifica delle misure per la TABELLA: TT temperatura misurata a terra espressa in gradi centigradi; TM temperatura misurata sulla superficie del mare in gradi centigradi; MF misura effettuata con il fotometro.

### 5.3. AREA 3: (Spiaggia di Levante)

Nell'Area 3 (Figura 11) sulla spiaggia di Levante di Vulcano sono state effettuate misure di temperatura tramite la Termocoppia (TCP) e la Camera Termica (TC) contestuali alle acquisizioni del sensore aereo. Le misure riportate in TABELLA 7 hanno avuto inizio alle ore 05:30 (ora locale) e fine alle ore 05:45 (ora locale).

Codice misura	Punto GPS	TCP (°C)	TC(°C) centro scena	Ora locale	Descrizione Target
TT13	38 25 01 14 57 34	20.4	18.7	5:35 (passaggio aereo sulla verticale)	Sabbia spiaggia di Levante
TM11	38 25 01 14 57 34	-	21.7	5:36	Mare antistante la spiaggia
TM12	38 25 01 14 57 34	-	22.8	5:43	Mare antistante la spiaggia
TM13	38 25 01 14 57 35	-	-	5:44	Fumarole in mare

**TABELLA 7.** Criteri di codifica delle misure: TT (temperatura misurata a terra in gradi centigradi); TM (temperatura misurata sulla superficie del mare in gradi centigradi); MF (misure fotometriche).

### 5.4. AREA 4: (Spiaggia delle Sabbie Nere)

Nell'Area 4 (Figura 11) sulla spiaggia delle Sabbie Nere di Vulcano sono state effettuate misure di temperatura tramite la Termocoppia (TCP) e la Camera Termica (TC) contestuali alle tratte in acquisizione del sensore aereo. Le misure riportate in TABELLA 8 hanno avuto inizio alle ore 05:30 (ora locale) e fine alle ore 05:45 (ora locale).

Codice misura	Punto GPS	TCP (°C)	TC (°C) centro scena	Ora locale	Descrizione Target
TT14	38 25 09.7 14 57 23.0	19.8	19.4	6:01	Sabbia nera umida
TM14	38 25 09.7 14 57 23.0	-	20.2	6:03	Superficie mare
TT15	38 25 09.7 14 57 23.0	-	18.5	6:07 (aereo sulla verticale delle misure)	Sabbia nera
TT16	38 25 09.7 14 57 23.0	-	19.3	6:10	Sabbia nera

**TABELLA 8.** Criteri di codifica delle misure: TT (temperatura misurata a terra in gradi centigradi); TM (temperatura misurata sulla superficie del mare in gradi centigradi); MF (misure fotometriche).

### 5.5. AREA 5: (piazzale dell'eliporto di Vulcano)

Nell'Area 5 (Figura 11) sul piazzale dell'eliporto di Vulcano sono state effettuate misure di temperatura con Termocoppia (TCP) e Camera Termica (TC) contestuali alle tratte in acquisizione del sensore aereo. Le misure riportate in TABELLA 9 con inizio alle 06:20 (ora locale) e fine alle 06:30 (ora locale).

Codice misura	Punto GPS	TCP (°C)	TC (°C) centro scena	Ora locale	Descrizione Target
TT17	38 25 39.5 14 57 22.2		17.3	6:20 (rilievo aereo)	Asfalto eliporto
TT18	38 25 40.5 14 57 21.1	19.3		6:23	Piazzale interno eliporto
TT19			17.4	6:25	Piazzale interno eliporto

**TABELLA 9.** Criteri di codifica delle misure: TT (temperatura misurata a terra in gradi centigradi); TM (temperatura misurata sulla superficie del mare in gradi centigradi); MF (misure fotometriche).

### 5.6 AREA 6: (Misure in mare)

Nell'Area 6 (Figura 11 e 12) antistante il molo del traghetti di Vulcano sono state effettuate misure di temperatura della superficie del mare con il Termoradiometro Everest (E). Le misure riportate in TABELLA 10 sono state contestuali ai rilievi aerei.

<b>PUNTO 1</b> 38°24'916N 014°57'866E	Ora inizio misure (GMT)	Ora Fine misure (GMT)	Quota di volo del passaggio aereo contestuale alla misura (m asl)	(E) Temperatura (°C)
1	02:45	02:47	1219	22.5
2	02:50	02:52	1219	22.4
3	02:51	02:53	1219	22.4
4	03:05	03:07	1219	23.8
5	03:23	03:25	1219	22.5
			Media	22.72
<b>PUNTO 2</b> 38°25'133N 014°58'083E	Ora inizio misure (GMT)	Ora fine misure (GMT)	Quota di volo del passaggio aereo contestuale alla misura (m asl)	(E) Temperatura (°C)
1	03:36	03:38	1219	21.9
2	03:44	03:46	1219	22.2
3	03:55	03:57	1219	22.1
4	04:04	04:06	2743	22.0
5	04:08	04:10	2743	22.0
			Media	22.04

**TABELLA 10.** Rilievi in mare.

## 6. Campagna di misure aerea

La missione di Telerilevamento aereo è stata condotta dall'equipaggio di un aeromobile della Guardia Costiera, un velivolo ATR 42, con installato a bordo un sistema a scansione SENSYTECH AADS 1268 ATM-E. (Airborne Thematic Mapper). Tale sensore consiste in uno scanner passivo per il telerilevamento aereo che registra la radiazione terrestre riflessa ed emessa; la radiazione intercettata viene suddivisa fra 11 differenti bande spettrali che vanno dal blu all'infrarosso termico.

Durante la campagna aerea sono state rilevate le caratteristiche di riflettanza dei depositi prodotti dall'attività eruttiva presente nelle isole di Vulcano e Stromboli e sono state acquisite immagini in temperatura superficiale del mare.

A causa delle condizioni meteo sfavorevoli che hanno caratterizzato quasi interamente la finestra temporale designata per la campagna di misure, non è stato possibile attenersi rigidamente alla pianificazione precedentemente stabilita e di conseguenza i piani di volo ed il timing dei passaggi aerei hanno subito delle variazioni.

Il volo *predawn* sull'isola di Vulcano pianificato per il giorno 10/09/2010 non è stato eseguito ma rimandato al 12 settembre in ragione del miglioramento delle condizioni meteo in quella data. Il volo diurno su Vulcano è stato eseguito, come precedentemente pianificato, il 10/09/2010 ma nelle prime ore del pomeriggio con inizio alle ore 15.00 (ora locale).

Relativamente alla campagna su Stromboli, a causa del perdurare delle pessime condizioni meteo sull'isola, è stato possibile effettuare un sorvolo con acquisizioni solo nella mattinata del 12/09/2010 durante il volo di rientro del velivolo alla base di Pescara. Non è stato invece possibile effettuare alcun tipo di misura a terra né tantomeno in mare dall'imbarcazione della Guardia Costiera.

Di seguito si riportano le tabelle (TABELLE 8 e 9) delle tratte effettuate e le relative vedute d'insieme delle tratte eseguite alle diverse quote di volo (Figure 11-13).

Le figure 14 e 15 rappresentano rispettivamente i dati del canale IR in temperatura di brillanza della zona della Fossa dell'isola di Vulcano e la punta Sud di Lipari acquisiti in *predawn* e la combinazione RGB dei dati acquisiti dal sensore SENSYTECH su Stromboli.

Data	Tratta	GPS inizio acquisizione (Lat - Long)	GPS fine acquisizione (Lat - Long)	Ora d'inizio e fine (GMT)	Altezza d'inizio e fine (m a.s.l.)
10-9-2010	I 1	38°19'.56253052-14°56'.85653687	38°26'.42936707-14°56'.81066513	13:52:49-13:55:35	1603-1581
	I 2	38°19'.78034973-14°57'.70044327	38°26'.53274536-14°57'.80324936	14:05:05-14:07:44	1575-1573
	I 3	38°19'.08302307-14°58'.82959366	38°26'.51062012-14°58'.81080627	14:18:01-14:20:57	1581-1574
	I 4	38°20'.04547119-14°59'.78422165	38°26'.09405518-14°59'.79614258	14:29:39-14:32:00	1579-1579
	I 5	38°20'.01419067-14°57'.71522522	38°26'.91116333-14°57'.73925781	14:41:00-14:43:33	2914-2824
	I 6	38°20'.49140930-14°58'.93135071	38°27'.55622864-14°58'.89492035	14:51:10-14:53:45	2808-2805
	I 7	38°20'.83702087-14°58'.25223923	38°26'.99623108-14°58'.37364197	15:13:50-15:16:03	4049-4047
	I 7 bis	38°21'.15554810-14°58'.30039978	38°27'.00309753-14°58'.25386047	15:05:05-15:07:10	4132-4089
12-9-2010	I 1	38°21'.02317810-14°56'.86779022	38°27'.03323364-14°56'.61897659	03:07:08-03:09:31	1575-1574
	I 1 bis	38°21'.40808105-14°56'.80665970	38°26'.91764832-14°56'.90431595	03:21:42-03:23:47	1256-1259

I 2	38°20'.90682983- 14°57'.83996582	38°27'.31819153- 14°57'.77368546	03:34:02- 03:36:31	1259-1261
I 3	38°20'.88546753- 14°58'.83350372-	38°26'.75552368- 14°58'.75768661	03:45:10- 03:47:26	1259-1257
I 4	38°20'.39947510- 14°59'.8549842	38°26'.66664124- 14°59'.78755951	03:55:37- 03:58:03	1255-1255
I 5	38°20'.70693970- 14°57'.68651962	38°29'.04014587- 14°57'.66649246	04:08:03- 04:11:18	2876-2841
I 6	38°21'.18377686- 14°58'.94174576	38°27'.47230530- 14°58'.78343582	04:20:07- 04:22:23	2842-2836
I 6 bis	38°20'.79391479- 14°58'.90464783	38°28'.98292542- 14°59'.03244019	04:30:09- 04:33:07	2843-2844
I 7	38°20'.06874084- 14°58'.24489594	38°31'.59790039- 14°58'.60776901	04:44:47- 04:49:05	4156-4114
I 7 bis	38°20'.04699707- 14°58'.22753906	38°27'.26860046- 14°58'.29906464	04:57:25- 05:00:10	4114-4112

**TABELLA 11.** Riprese aeree Isola di Vulcano.

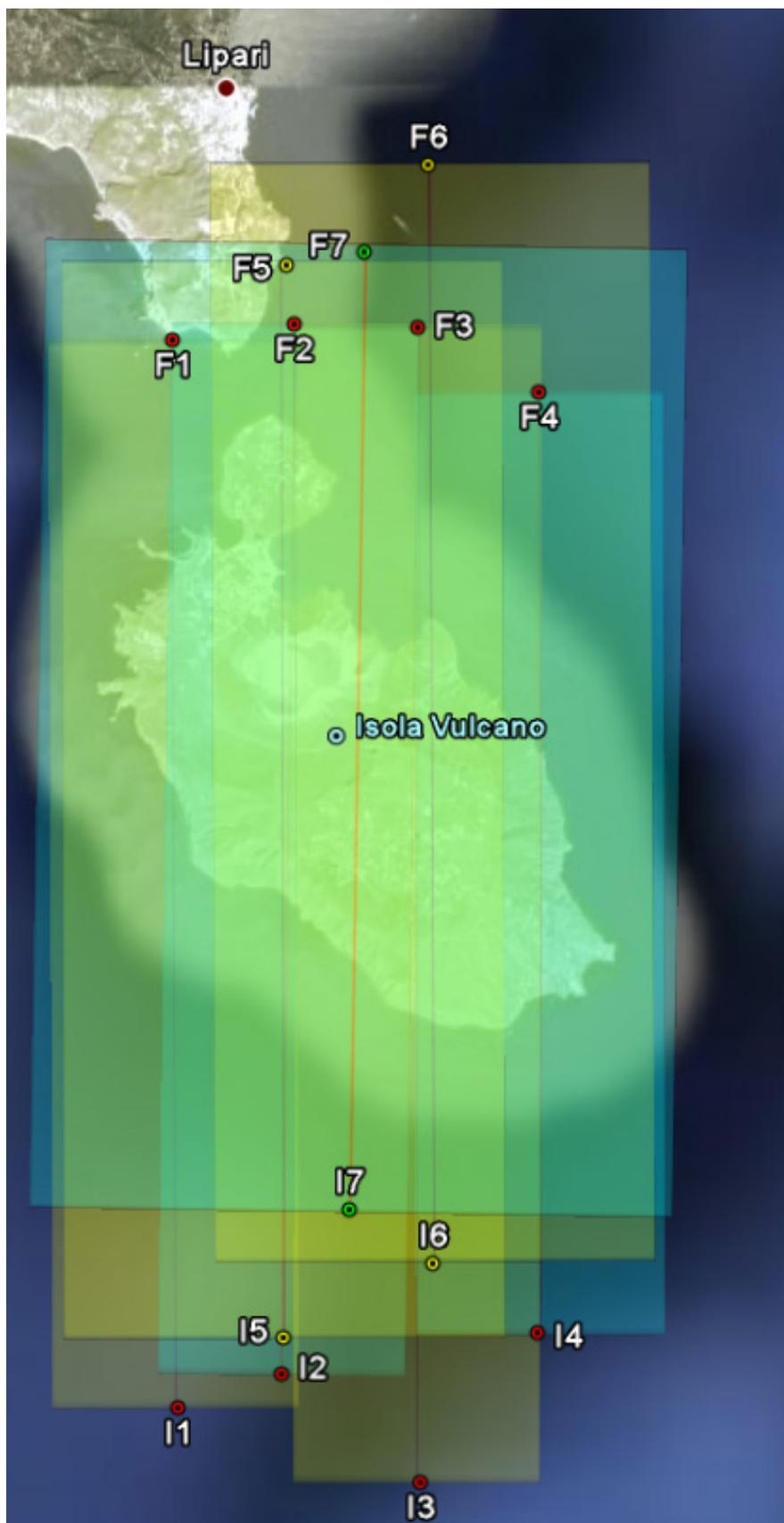
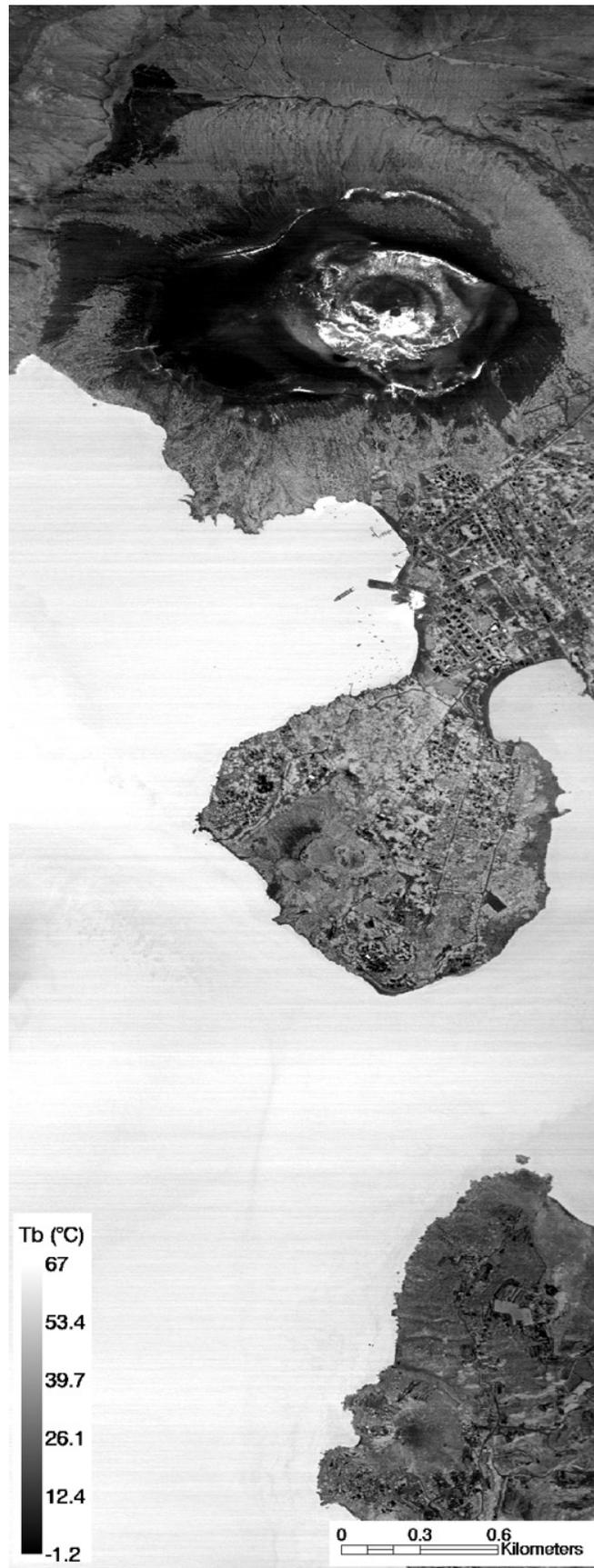


Figura 12. Visione d'insieme dell'isola di Vulcano, acquisizioni del 10/09/2010.



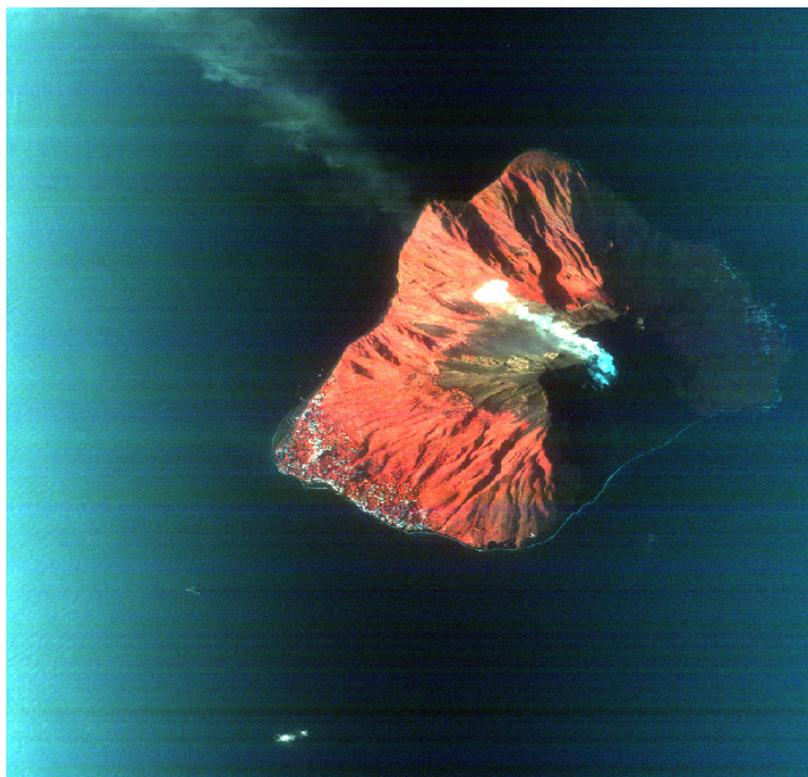
**Figura 13.** Visione d'insieme dell'isola di Vulcano acquisizioni del 12/09/2010.



**Figura 14.** Immagine IR in Temperatura di brillantezza della Fossa all'isola di Vulcano e della parte sud dell'isola di Lipari. I dati sono stati acquisiti durante il volo *predawn* del 12/09/2010.

Data	Tratta	GPS inizio acquisizione (Lat - Long)	GPS fine acquisizione (Lat - Long)	Ora d'inizio e fine (GMT)	Altezza d'inizio e fine (m a.s.l.)
12-9-2010	I 1	38°42'.11921692-15°13'.81864548	38°51'.27792358-15°13'.74378204	05:07:44-05:11:02	4111- 4108

**TABELLA 12.** Riprese aeree Isola di Stromboli.



**Figura 15.** Immagine in composizione RGB dell'Isola di Stromboli, acquisizioni del 12/09/2010.

## 7. Conclusioni

La campagna di misure aeree e di terra condotta dal personale INGV e della Guardia Costiera ha dimostrato l'importanza della collaborazione tra i due enti; tale collaborazione rientra nell'ambito delle applicazioni del Protocollo d'Intesa siglato il 23 settembre 2009. Le acquisizioni di dati telerilevati da sensore aereo e di dati in situ contestuali alle riprese aeree ha permesso una efficace validazione dei diversi datasets. Particolarmente utili si sono dimostrate le misure di temperature delle fumarole in mare e in terra per la possibilità di validare i dati telerilevati nell'infrarosso termico. Poiché le immagini aeree sono state acquisite a varie quote di volo, si prevede inoltre di analizzare e confrontare le anomalie termiche rilevate sull'isola di Vulcano in mare a diverse risoluzioni spaziali. In particolar modo si applicheranno ai dati IR acquisiti alle quote di volo più elevate tecniche multi-spettrali per definire la porzione sub-pixel occupata dalla frazione calda delle fumarole. Il risultato sarà quindi confrontato con l'informazione spaziale contenuta nelle immagini a più alta definizione e miglior dettaglio. Inoltre i dati IR a maggiore risoluzione spaziale verranno elaborati anche al fine di individuare le frane che si sono verificate all'isola di Lipari.

## **Ringraziamenti**

Si ringrazia tutto il personale delle Capitanerie di Porto - Guardia Costiera, elencato di seguito e coinvolto nella missione, per la straordinaria disponibilità e collaborazione mostrate che hanno permesso di raggiungere gli obiettivi prefissati nonostante le avverse condizioni meteorologiche che hanno determinato significativi cambiamenti rispetto alla missione aerea originariamente pianificata. Il successo della missione è dovuto senz'altro alla tempestiva operatività del personale di MARICOGECAP, degli equipaggi di volo e del Circomare Lipari che hanno dimostrato come una fattiva ed utile collaborazione tra i due enti sia possibile ed auspicabile in futuro.

Gli autori, infine, ringraziano il Dott. Francesco Mazzarini per i preziosi suggerimenti.

### **Equipaggio di volo:**

Capo Equipaggio: C.F. (CP) Pil Massimo Motta;  
2° Pilota: T.V. (CP) Pil Saverio Coco;  
OCS: G.M. (CP) Pil Alessandro Santone.

### **Operatori di volo:**

1° M.Ilo Lgt Np/Ov Mario Mignani;  
1° M.Ilo Lgt Np/Ov Antonio Gentile;  
C° 1^ cl Np/Ov Salvatore Iacullo;  
2° C° Np/Ov Alessio Leocata;  
Sc. Nicola Patanè

### **Tecnici di bordo:**

1° M.Ilo Roberto Spagnolo;  
C° 1^ cl Gabriele Gagliano;  
2° C° Salvatore Rugnone;  
2° C° Gioacchino Buscemi;  
C° 1^ cl Vincenzo Calabretta;  
Sc Andrea Amato;  
Sc Nicola Liuzzi

### **Personale Circomare Lipari:**

C.te T.V. (CP) Giuseppe Donato;  
C° 1^ cl Massimo La Fauci;  
SC° 2^ cl Salvo Tinaro;  
SGT. Np Giovanni Buccigrossi;  
C° 1^ cl Marco Miuccio;  
SC° 2^ cl Fabio Vento;  
SC° 3^ cl Paolo Mastropasqua



**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2012 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

**<http://www.ingv.it>**



**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**