

# Rapporti tecnici

## INGV

**Sviluppo di un sistema strumentale per  
il rilievo speditivo della temperatura su  
superfici esposte**

# 316



## **Direttore Responsabile**

Stefano Gresta

## **Editorial Board**

Luigi Cucci - Editor in Chief (INGV - RM1)

Andrea Tertulliani (INGV - RM1)

Nicola Pagliuca (INGV - RM1)

Umberto Sciacca (INGV - RM2)

Alessandro Settimi (INGV - RM2)

Aldo Winkler (INGV - RM2)

Salvatore Stramondo (INGV - CNT)

Milena Moretti (INGV - CNT)

Gaetano Zonno (INGV - MI)

Viviana Castelli (INGV - BO)

Antonio Guarnieri (INGV - BO)

Mario Castellano (INGV - NA)

Mauro Di Vito (INGV - NA)

Raffaele Azzaro (INGV - CT)

Rosa Anna Corsaro (INGV - CT)

Mario Mattia (INGV - CT)

Marcello Liotta (INGV - PA)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860068

redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:

Barbara Angioni (RM1)



# Rapporti tecnici INGV

## **SVILUPPO DI UN SISTEMA STRUMENTALE PER IL RILIEVO SPEDITIVO DELLA TEMPERATURA SU SUPERFICI ESPOSTE**

Santo Cappuzzo, Paolo Cosenza, Antonina Lisa Gagliano e Iole Serena Diliberto

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Palermo)

# 316



## Indice

Introduzione	7
1. Principi operativi	8
2. Descrizione dello strumento di misura	9
2.1 Funzionamento	9
2.2 Sensori di temperatura	9
2.2.1 Sensore di temperatura all'infrarosso (pirometro)	9
2.2.2 Termocoppia K	10
2.2.3 Sensore di temperatura ambiente	11
2.3 Global position system	11
2.4 Datalogger	11
3. Calibrazione e test di laboratorio	12
3.1 Verifica della calibrazione	12
3.2 Descrizione del sito	14
4. Test sul campo	17
4.1 Baia di Levante	18
4.2 Campo fumarolico del cratere della Fossa	20
5 Conclusioni	21
Ringraziamenti	22
Bibliografia	22



## Introduzione

In un'area vulcanica attiva la presenza di superfici con temperature superiori rispetto alla norma locale è determinata dal flusso di calore prodotto in profondità. Un elevato flusso di calore orientato verso la superficie è la risultante di più processi naturali che tendono a controbilanciare gli elevati gradienti fisici (di pressione e temperatura) e chimici (differenze di composizione) inevitabilmente presenti fra il corpo magmatico e l'ambiente circostante. Il rilievo delle anomalie termiche di superficie dovrebbe suscitare quindi interesse scientifico, offrendo la possibilità di monitorare nel dettaglio uno dei parametri che ci permette di finalizzare un modello del sistema in esame, per la corretta interpretazione dei fenomeni naturali connessi all'attività magmatica ed idrotermale. Oltre alla finalità scientifica, il rilievo delle temperature di superficie in un'area vulcanica è una procedura utile per rispondere tanto a questioni legate alla sorveglianza vulcanica, quanto alla fruizione delle aree a scopo turistico. Spampinato et al. [2011] hanno pubblicato una revisione degli strumenti utilizzati in ambienti vulcanici per il rilievo delle temperature. Riportando diversi esempi in bibliografia la revisione ha posto l'attenzione sulla varietà di fattori che concorrono a sottostimare sensibilmente le temperature di superficie, rispetto alla reale condizione termodinamica del sistema quando si scelgono metodologie di remote sensing. Fra i diversi fattori si citano ad esempio effetti atmosferici di rifrazione e riflessione, presenza di aerosol, gas e vapore vulcanico lungo il cammino ottico dalla superficie al sensore, eterogenea distribuzione della temperatura all'interno del singolo pixel.



**Figura 1.** Foto scattata durante il test effettuato nel campo fumarolico di alta temperatura sul cono attivo della Fossa di Vulcano.

Il presente Rapporto Tecnico descrive un sistema strumentale, denominato Pirogips, dedicato all'acquisizione speditiva di dati termici di superficie [Diliberto et al., 2014]. Rispetto ad una telecamera ad infrarosso questa strumentazione risulta meno costosa, e di più facile utilizzo in prossimità di bocche esalative. La funzionalità ed operatività del sistema sono state testate mediante specifici test effettuati sia in ambienti controllati, sia in condizioni reali di acquisizione. Pirogips associa un sensore all'infrarosso ad un rilevatore di posizione satellitare ed è stato realizzato per consentire un rilievo di temperatura con caratteristiche intermedie, in termini di accuratezza della temperatura misurata e risoluzione areale, rispetto ai metodi di acquisizione diretta della temperatura con sensore termico di contatto (termocoppia) e di acquisizione indiretta, ottenuta attraverso il telerilevamento prossimale con il sensore ottico montato su telecamera. Il sensore del pirometro offre una risoluzione spaziale adeguata alla elevata variabilità areale

della temperatura delle emanazioni fumaroliche. L'accuratezza è stata testata su diverse superfici esposte ed è risultata accettabile per la identificazione delle anomalie termiche di superficie in aree vulcaniche. Un datalogger preparato nel laboratorio elettronico di Palermo combina i parametri acquisiti e restituisce una stringa di dati per la visualizzazione su mappe georeferenziate. I dati registrati sono la posizione (latitudine e longitudine, WGS84), temperatura (derivata dal pirometro e/o da una termocoppia), temperatura ambiente, pressione barometrica e umidità dell'aria. I rilevamenti preliminari sono stati effettuati per verificare se le caratteristiche strumentali di Pirogips risolvono le problematiche derivanti dalla disomogeneità del terreno da rilevare. In particolare nel presente lavoro i dati riportati non sono stati rilevati lungo maglie geometriche, ma sono rilievi effettuati lungo percorsi predefiniti (strade e/o sentieri naturali). L'utilizzo di Pirogips consente di ridurre notevolmente i tempi del rilievo di temperatura superficiale, rispetto all'acquisizione del parametro con metodo di contatto. L'uso di Pirogips inoltre aumenta la possibilità di identificare anomalie termiche intense, ma poco estese, in quanto l'accuratezza del rilievo è determinata dalla posizione rispetto al piano di campagna (lente perpendicolare al piano e distanza inferiore ad 1 metro).

## 1. Principi operativi

La figura 2 mostra Pirogips in assetto di misura, il bersaglio chiaro (3) posto alla base mette in evidenza la superficie rilevata dalla lente del sensore. La posizione dello strumento rispetto al sistema di riferimento globale (GPS) viene acquisita contemporaneamente alla temperatura superficiale e ad alcuni parametri che definiscono le condizioni ambientali al momento del rilievo (temperatura, pressione ed umidità dell'aria). Pirogips è stato preventivamente utilizzato in un'area di test, su superfici a temperatura controllata e verificata. Successivamente è stato anche testato in aree naturali caratterizzate da anomalie termiche, come il campo fumarolico del Gran Cratere de La Fossa e la spiaggia del porto di Levante (Vulcano, Arcipelago delle isole Eolie, Italia). Dopo una modifica suggerita dall'esito dei primi test sui campi fumarolici di Vulcano, Pirogips è stato anche presentato a ricercatori del Servizio Geologico Colombiano (SGS, Bogotá, CO) ed utilizzato per il primo rilievo di temperatura dell'area fumarolica del vulcano Machin (Colombia, ottobre 2013) e anche per un rilievo effettuato sulla cima del vulcano Teide (Isole Canarie, Spagna, giugno 2014).



**Figura 2.** Immagine del sistema di rilevamento in assetto di misura: 1 - Unità di controllo contenente il datalogger, l'alimentatore, il sensore di umidità ed il rilevatore di posizione satellitare (GPS); 1a - Antenna del GPS; 1b - Visualizzatore: All'accensione mostra le condizioni dello strumento e durante il rilievo mostra i dati memorizzati nell'ultimo punto; 2 - Corpo del pirometro; 3 - Superficie radiante rilevata alla distanza di 800 mm.

## 2. Descrizione dello strumento di misura

L'acronimo Pirogips associato allo strumento ne identifica le componenti essenziali:

S = sistema; Piro = pirometro; G = global; P = position

Di seguito vengono descritti i componenti utilizzati con i relativi dati tecnici.

Il pirometro è collegato ad una batteria al litio, che alimenta oltre al pirometro anche una pompetta. La pompetta serve a raffreddare la lente del pirometro e ad evitare la deposizione di condensati e sublimati fumarolici che comprometterebbero il sensore. L'accensione della pompetta e l'alimentazione dello strumento avvengono in contemporanea innestando un connettore amphenol alla scatola di alimentazione. La batteria può essere ricaricata attraverso un cavetto con connettore amphenol (tensione 15V, en 500mA), non è necessario disconnetterla dallo strumento.

Le parti principali che compongono il sistema di misura e memorizzazione sono:

- Microcontrollore (Mod. ADuC845);
- Memoria SPI;
- Orologio con quarzo termostato (Mod. DS3234) con interfaccia SPI;
- Modulo Global Position System (GPS);
- Sensore di pressione atmosferica (Mod. MPX2100AP), con elettronica di condizionamento appositamente progettata per Pirogips;
- Sensore di temperatura ambiente (Mod. AD592CN);
- Sensore di temperatura esterna, termocoppia tipo K (0-1000)°C corredata di scheda elettronica di condizionamento per Pirogips;
- Sensore di temperatura esterna, Pirometro;
- Visualizzatore a 4 righe per 20 colonne;
- Alimentazione con pacco batterie al litio ricaricabili;
- Interfaccia di comunicazione RS232 per programmare l'acquisizione e scaricare i dati memorizzati.

### 2.1 Funzionamento

Un microcontrollore analogico (mod. ADuC845, core 8052), è stato programmato per interrogare in maniera ciclica tutti i sensori, controllare l'integrità della stringa \$GPRMC del GPS, mostrare i dati sul visualizzatore dello strumento, leggere la data, e salvare il tutto sulla memoria SPI. Un connettore seriale RS232C permette la connessione del microcontrollore ad un computer per la trasmissione della stringa di dati generata.

Il microcontrollore dispone quindi delle seguenti periferiche hardware:

- Modulo ADC a 24bit su multiplex ad 8 ingressi analogici, per la lettura dei sensori con uscita analogica (temperatura ambiente, pressione atmosferica, pirometro);
- Modulo SPI, per la lettura e programmazione del modulo contenente l'orologio;
- Orologio Ds3234;
- Modulo per termocoppia tipo K;
- Modulo UART per l'interfaccia di comunicazione e la lettura dei dati dal GPS.

### 2.2 Sensori di temperatura

Pirogips è dotato di un sensore termico all'infrarosso, di una termocoppia di tipo K e di un sensore per la misura della temperatura ambiente.

#### 2.2.1 Sensore di temperatura all'infrarosso (pirometro)

Il pirometro è il componente principale del Pirogips, esso rileva la temperatura di una superficie attraverso la misura dell'energia termica irradiata. L'irraggiamento è uno dei tre processi di trasferimento del calore (irraggiamento, convezione e conduzione), non richiede il contatto fra i corpi, e si propaga attraverso ogni stato di aggregazione della materia, ma anche nel vuoto, sotto forma di onde elettromagnetiche.

Il pirometro è un rilevatore ottico all'infrarosso entro cui converge la radiazione emessa da una superficie. La temperatura radiante viene determinata in base alla legge di Stefan - Boltzmann applicata ai corpi reali, secondo l'equazione:

$$T = S_2/S_1 \times 4\pi/\Delta\Omega \times (\varepsilon(T_2)/k \times T_2^4 + \varepsilon(T_1)/k \times T_1^4)^{1/4}$$

Dove  $T_1$  è la temperatura media radiante della sorgente,  $T_2$  quella dell'assorbitore ( $^{\circ}\text{K}$ ),  $\varepsilon(T_1)$  e  $\varepsilon(T_2)$  sono i coefficienti di emissività dei due corpi,  $S_1$  è la superficie della sorgente,  $S_2$  la superficie dell'assorbitore,  $\Delta\Omega/4\pi$  è la frazione di angolo solido vista dall'assorbitore,  $k$  un coefficiente che tiene conto dell'emissività della sorgente.

Il sensore ottico ha una risposta spettrale da 8 a 14  $\mu\text{m}$ , con un tempo di risposta di 240 ms.

Il Pirometro, modello PC151 HT-4, è stato progettato per operare in temperatura ambiente (da 0 a 70 $^{\circ}\text{C}$ ) ed è configurato per misurare l'intervallo di temperatura compreso fra 0 e 500  $^{\circ}\text{C}$ , con un'accuratezza pari all'1% della lettura. La risoluzione ottica (H:D) del sensore è pari a 15:1, con: H = distanza fra il sensore e l'obiettivo da rilevare e D = Diametro dello spot da cui viene emesso il 90% dell'energia radiante rilevata al sensore.

Il diagramma ottico del sensore è definito dalla relazione seguente:

$$D_x = 11.9 + [(H_x) \cdot 0.667]$$

In cui

$D_x$  = diametro dello spot da calcolare

$H_x$  = distanza fra il sensore e l'obiettivo da rilevare

Per questo modello di pirometro viene suggerita una distanza massima di rilevamento pari a 1000 mm a cui corrisponde un diametro massimo di 78.6 mm per la superficie da rilevare.

Nel nostro caso i rilievi di campo sono stati effettuati ad una altezza fissa dal suolo 800 mm ( $H_x$ ) ed il diametro dello spot ( $D_x$ ) misura 65.26 mm (superficie rilevata = 3343  $\text{mm}^2$ ). In relazione alla risoluzione ottica del sensore, il 90% della radianza misurata viene emessa da una superficie di 2235  $\text{mm}^2$ , corrispondente ad un cerchio concentrico allo spot  $D_x$ , avente diametro  $D = 53.36$  mm. Infine il sistema strumentale è dotato di una pompetta che fa scorrere un flusso continuo d'aria parallelamente alla lente in modo da evitare che vapori o polveri possano sporcare la lente e causare errori nel rilevamento della temperatura.

### 2.2.2 Termocoppia K

La termocoppia è un sensore di contatto che in Pirogips viene utilizzato come accessorio. Il suo impiego è utile per confermare la massima temperatura dell'emissione fumarolica e per valutare la differenza di temperatura fra la principale superficie radiante (substrato solido) ed il vapore emesso da una fumarola.

La termocoppia K presenta una sensibilità di 41  $\mu\text{V}/^{\circ}\text{K}$ , il sensore è posto alla punta di una sonda in acciaio inossidabile che viene introdotta nel suolo per migliorare il contatto termico con il sistema fisico di cui si intende misurare la temperatura. Un limite tecnico della termocoppia, che risulta evidente quando si misurano temperature molto diverse dalle normali condizioni ambientali, è determinato dai contatti fra la termocoppia ed altri metalli eventualmente presenti in connettori e giunzioni; ogni contatto metallico genera infatti una differenza di potenziale che nulla ha a che vedere con la temperatura del sito di misura. Per effettuare la compensazione del giunto freddo viene applicato un procedimento elettronico secondo la tecnica "coldjunctioncompensation" (CJG). Il procedimento elettronico consiste nell'individuare e sottrarre le differenze di potenziale determinate dal connettore (giunto freddo).

L'integrato Mod. MAX6675 contiene il necessario per una corretta acquisizione della misura:

- Circuito di compensazione del giunto freddo (CJG);
- Convertitore ADC a 12 bit;
- Rilievo della condizione sensore OPEN;
- Uscita SPI-compatibile.

I dati della termocoppia con circuito di condizionamento sono infine i seguenti:

Temperatura nell'intervallo	0-1024 $^{\circ}\text{C}$ ;
Risoluzione	0,25 $^{\circ}\text{C}$ ;

Accuratezza

8LSBs per T 0°-700°C.

È bene ricordare che la termocoppia agisce per conduzione e necessita di un tempo di contatto dell'ordine dei minuti per permettere alla sonda di raggiungere l'equilibrio termico con il substrato e per fornire l'esatta temperatura del punto di contatto. Durante il rilievo speditivo il passo di misura (2s) è stato selezionato per corrispondere in primo luogo sul tempo di restituzione del pirometro e secondariamente sull'accuratezza del GPS. Il passo di misura utilizzato nei test operativi è risultato quindi più veloce del tempo di acquisizione della termocoppia, ma l'inserimento della termocoppia nel datalogger permette la localizzazione del punto, la memorizzazione delle temperature acquisite e la loro visualizzazione automatica in un'unica tabella, come mostrato più avanti nel test operativo effettuato presso il campo fumarolico di Vulcano.

### 2.2.3 Sensore di temperatura ambiente

Il sensore di temperatura ambiente è posto all'esterno dell'unità che contiene il data-logger ed il sistema di alimentazione del Pirogips.

Il sensore utilizzato è il trasduttore attivo AD592CN con le seguenti caratteristiche:

- Range operativo -25 ÷ 105° C.
- Accuratezza max 0.5° C a 25° C.
- Linearità di 0,15° C max (da 0 ÷ 70° C).
- Tensione di alimentazione 4 > V < 30.
- Corrente in uscita 1u A/K.
- Resistenza di precisione di 10K 0.1%, che trasforma la corrente in uscita in un range di tensione compatibile con quella accettata dall'ingresso analogico (ADC) del microcontrollore AduC845.

### 2.3 Global Position System (GPS)

Il ricevitore satellitare installato è un modulo GPS610F. Il ricevitore segue le tracce di tutti i satelliti in vista in modalità continua e presenta un breve tempo di startup ed una veloce acquisizione del segnale.

Il modulo GPS ha le seguenti caratteristiche:

- GPS L1 codice C/A a 65 canali;
- 8 milioni di test tempo-frequenza per secondo;
- 1s partenza a caldo, 29s partenza a freddo, a cielo libero;
- 2.5 m accuratezza CEP;
- 10Hz massima frequenza di aggiornamento;
- 36 mA corrente di input;
- Sistema di riferimento WGS-84;
- Abilitato per migliorare l'accuratezza mediante il rilievo di satelliti WAAF ed EGNOS (se visibili).

### 2.4 Datalogger

All'accensione dello strumento il datalogger inizia a visualizzare i parametri su una tabella, con una velocità di campionamento di 1 dato ogni 2 secondi. Il GPS è lo strumento con il tempo di startup maggiore rispetto agli altri elementi del Pirogips, necessita di alcune decine di secondi per agganciare i satelliti in orbita. Il display mostra in tempo reale tutti i parametri registrati e i campi relativi alle coordinate (LAT e LONG) mostreranno il valore di zero fino a quando il GPS non aggancia i satelliti. Il percorso di acquisizione deve essere effettuato con passo lento e cadenzato, poggiando il supporto del pirometro sempre in posizione ortogonale al suolo e avendo cura di non coprire l'antenna del GPS. L'acquisizione termina spegnendo l'interruttore principale dello strumento. I dati memorizzati sul datalogger vengono scaricati sul pc con il programma TERMINAL mediante il connettore amphenol - rs232. Il file dati in formato \*.Log deve essere convertito in formato \*.txt utilizzando il programma Multi Edit. Le ultime 2 colonne del file acquisito durante la prospezione riportano la longitudine e la latitudine secondo il sistema WGS 84 in coordinate geografiche, espresse in gradi e decimi di grado, es: Long E 13.314000; Lat N 38.160030. Il programma freeware Quantum-GIS converte il file txt in KLM. Il layer in formato. KLM può essere caricato su Google Earth (Google Inc.) per visualizzare il percorso effettuato durante l'acquisizione come una serie di segnapunti ad ognuno dei quali è associata la tabella di informazioni. Posizionando il puntatore del mouse sul singolo segnapunti la tabella di tutti i dati relativi al

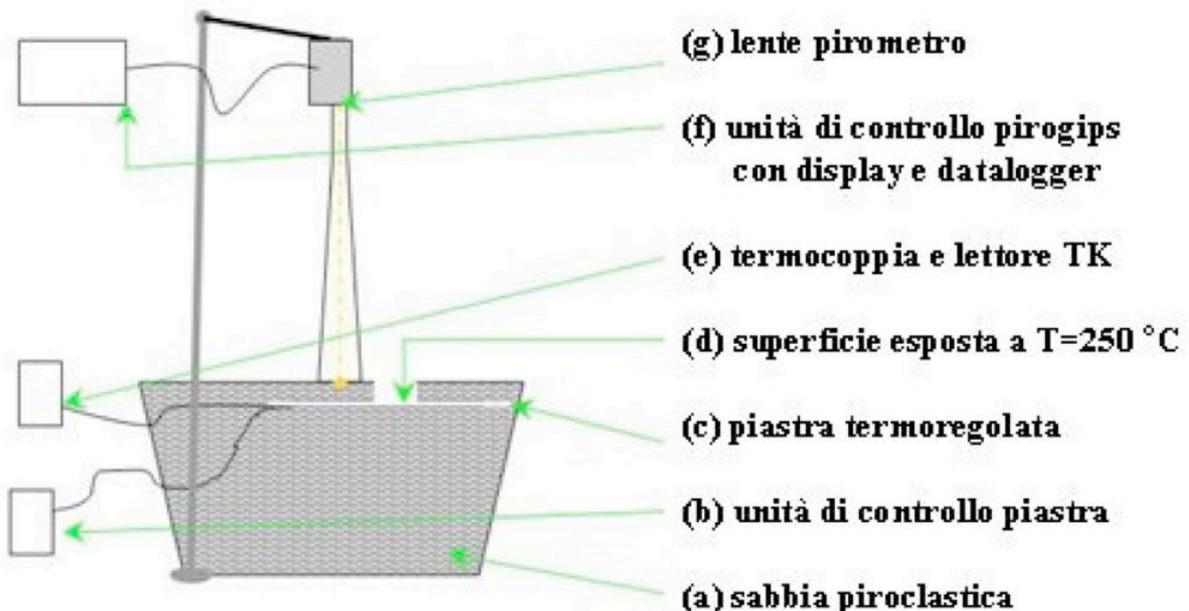
punto si rende visibile sul monitor: Numero punto, temperatura ambiente, temperatura del pirometro, temperatura della termocoppia, coordinate geografiche ecc.

### 3. Test operativi di calibrazione strumentale

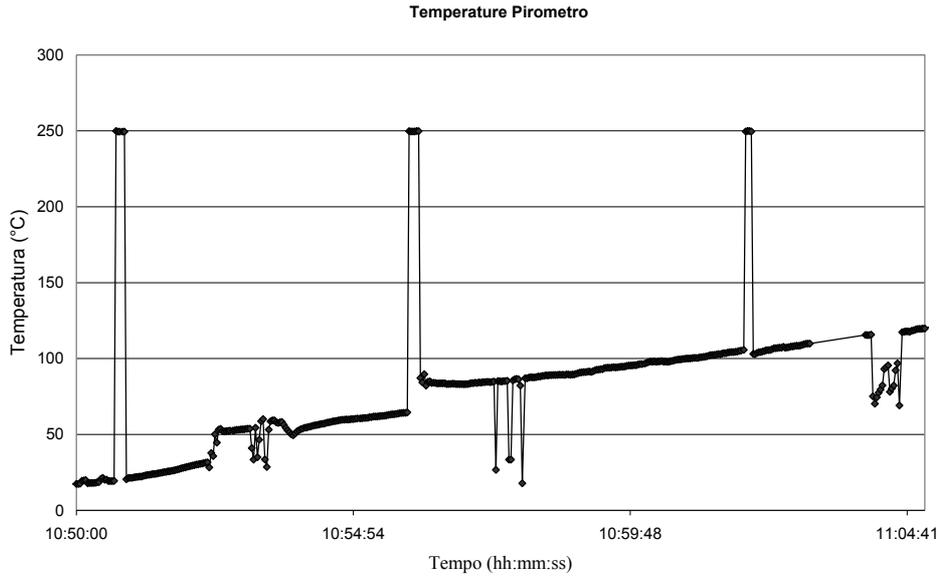
I test operativi sono stati effettuati per verificare il funzionamento di Pirogips in un ambiente conosciuto e controllabile, per selezionare un passo di acquisizione calibrato sulle caratteristiche tecniche dei sensori utilizzati e per adattare le caratteristiche geometriche di Pirogips al rilievo speditivo sul campo. Il test operativo è stato realizzato in uno spazio aperto all'interno di un'area industriale. Durante i test è stata utilizzata una frequenza di memorizzazione  $0.5 \text{ s}^{-1}$  e lo strumento si è spostato all'interno dell'area di test con una velocità media di  $1.5 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$ , secondo il passo dell'operatore.

#### 3.1 Verifica della calibrazione

In questa prima fase di test sono state verificate la taratura del sensore ottico e la velocità di risposta del sistema di acquisizione. Il test è stato realizzato registrando la variazione di temperatura superficiale di un campione del diametro di circa 500 mm di sabbia piroclastica (a in fig. 3), sovrapposto ad una piastra conduttiva (b, c in fig.3), termoregolata alla temperatura di  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ . Gran parte della piastra è stata ricoperta con sabbia, ad eccezione di una piccola superficie (d in figura 3, diametro di 50 mm), lasciata esposta per testare la temperatura restituita dal pirometro su una superficie a temperatura costante e controllata. Il pirometro è stato posizionato ad una altezza di rilievo pari a  $H=500 \text{ mm}$  ed ha registrato la fase di riscaldamento della superficie della sabbia, che dalla temperatura ambiente ( $14 - 17^\circ\text{C}$ ) ha raggiunto  $120^\circ\text{C}$  dopo 15 minuti dall'accensione della piastra. I grafici di figg. 4 e 5 mostrano i risultati del test. In tre occasioni il sensore all'infrarosso è stato puntato direttamente sulla superficie esposta della piastra termoregolata, come rivelano i tre picchi positivi in fig. 4: il valore rilevato è di  $250 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5$  e si è verificato che il tempo di risposta è inferiore all'intervallo di campionamento predisposto nel datalogger (2s).



**Figura 3.** Schema del primo test di verifica dell'operatività di Pirogips.

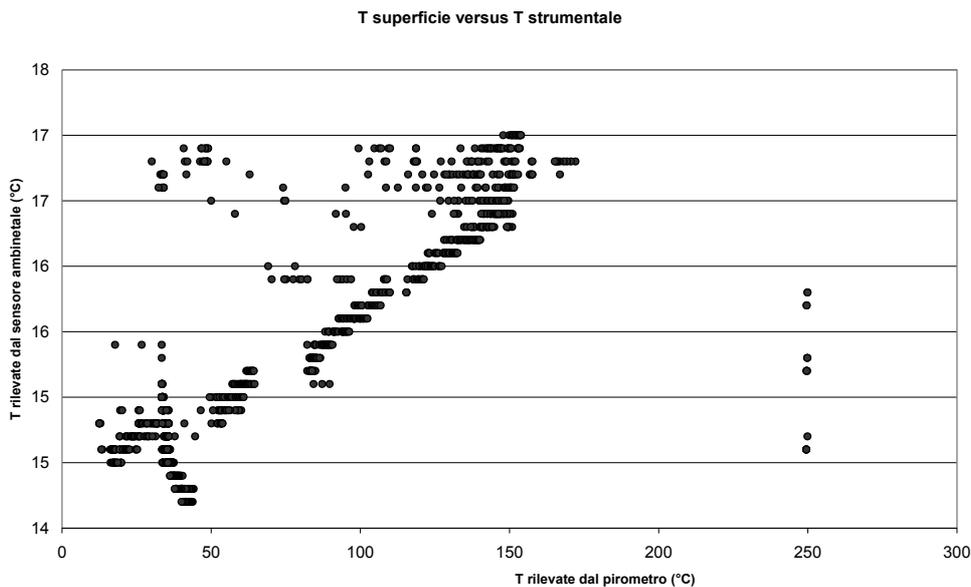


**Figura 4.** Registrazione della temperatura di superficie durante il riscaldamento del campione di sabbia.

Come si evince osservando il primo e il terzo picco, quando il sensore è stato orientato sulla superficie di partenza la temperatura si è riposizionata sul trend. La differenza alla base del secondo picco è dovuta ad un inesatto riposizionamento del sensore sulla superficie (la temperatura di superficie non è perfettamente omogenea in quanto la piastra termoregolata ha una sezione superficiale inferiore a quella della sabbia).

La termocoppia di controllo inserita nella piastra termoregolata ha confermato il valore di temperatura rilevato dal sensore all'infrarosso sulla superficie radiante. Non si sono verificati spikes di carattere elettronico, gli altri scostamenti minori dal trend generale, visibili in figura 4, corrispondono alla variazione della temperatura sulla superficie esposta e sono stati ottenuti orientando il sensore infrarosso, per brevi intervalli di tempo, su porzioni diverse della superficie sabbiosa.

Nel grafico in figura 5 i dati rilevati dal pirometro possono essere confrontati con i dati rilevati dal sensore di temperatura ambiente, posto sull'unità di registrazione e controllo (datalogger) per fornire un parametro di riferimento per le condizioni strumentali. La correlazione lineare predominante deriva dall'effetto della piastra termoregolata e del campione di sabbia sull'ambiente circostante.

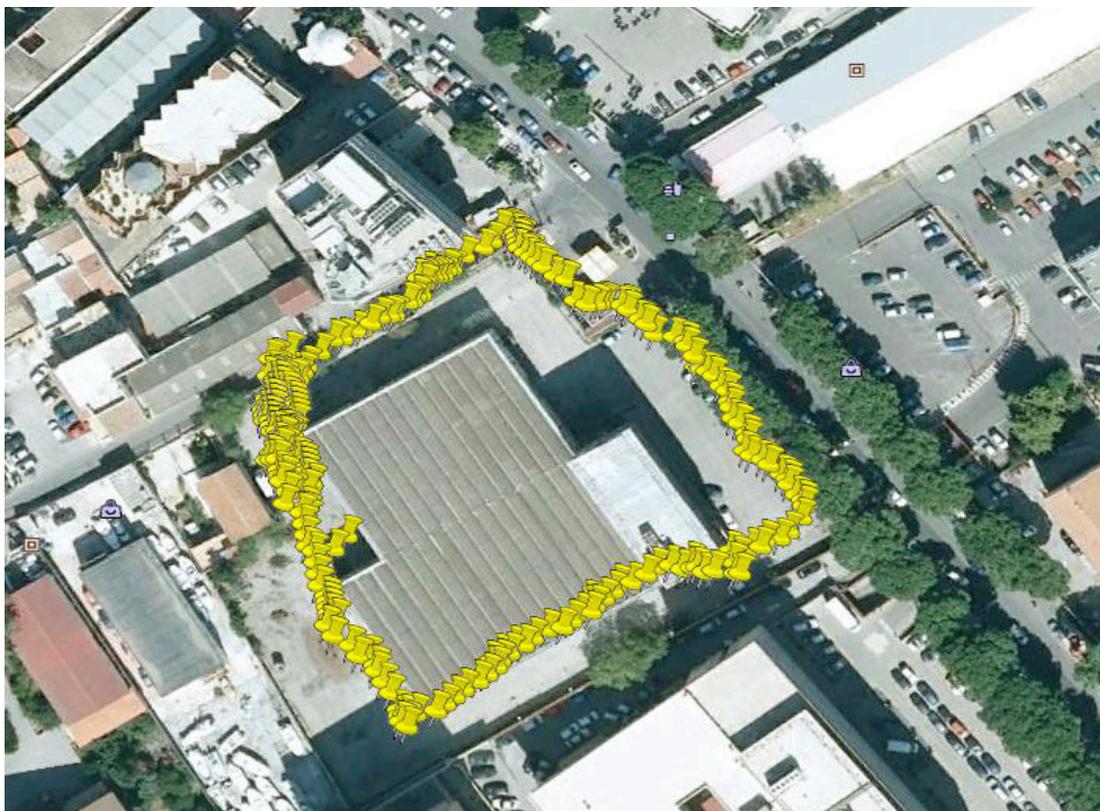


**Figura 5.** Variazione di temperatura dell'aria e variazione di temperatura della superficie di irradiante registrate durante il primo test operativo.

I valori posti a distanza dalla retta di regressione corrispondono alle registrazioni effettuate quando il pirometro è stato spostato dalla posizione fissa, in particolare i massimi di temperatura registrati dal pirometro corrispondono alla temperatura della porzione esposta della piastra a temperatura controllata (250°C, come da schema in figura 3). Dopo 20 minuti dall'accensione del regolatore di temperatura la superficie del campione di sabbia ha raggiunto una temperatura media di 150 °C, mostrando un incremento totale di 132 °C, mentre all'altezza del sensore l'incremento totale di temperatura ambiente è stato di 2.2 °C. Il datalogger è impostato per tutti i sensori con lo stesso intervallo di misura (2 secondi) e durante il test operativo la variazione media della temperatura ambientale è stata di  $1.7 \times 10^{-2}$  °C/s. Dalla visualizzazione dei dati in figura 5 l'aumento di temperatura ambientale appare discontinuo. La discontinuità, solo apparente, è dovuta al fatto che nell'intervallo di misura la risoluzione termica del sensore di contatto è inferiore alla capacità di trasporto del calore in aria dalla superficie irradiante all'altezza del datalogger (unità di registrazione e controllo).

### 3.2 Verifica della risposta del sistema durante il rilievo in movimento

Il Pirogips è stato testato su una superficie mista, possibilmente caratterizzata da diversi valori di emissività. Il percorso è infatti avvenuto su diverse superfici esposte, quali acqua, terreno incolto, terreno ricoperto da vegetazione, cemento bianco e asfalto nero. Un primo rilievo è stato effettuato in una condizione "normale". Le condizioni "normali" di temperatura al suolo ricadono in un intervallo fra  $20 < ^\circ\text{C} < 40$  e derivano dall'effetto della radiazione solare sulle diverse superfici, ma soprattutto dalle condizioni di esposizione stessa (al sole o in ombra). Un altro rilievo è stato effettuato posizionando corpi con caratteristiche fisiche diverse e temperature "anomale" in seguito a riscaldamento condizionato. Le temperature anomale dipendono da 2 contenitori con sabbia riscaldata, posizionati nel settore nordovest del percorso. Un corpo caldo aveva temperatura omogenea (55°C), l'altro temperature nell'intervallo  $70 < ^\circ\text{C} < 138$  (con i valori minimi ai suoi limiti esterni). La figura 6 mostra il percorso effettuato durante il secondo rilievo, la maggiore densità dei punti nel settore nordovest deriva da passaggi ripetuti in corrispondenza dei punti più caldi.



**Figura 6.** Restituzione dei dati sul programma Google Earth (Google Inc.), i segnaposti gialli indicano la sequenza di punti acquisiti da Pirogips.



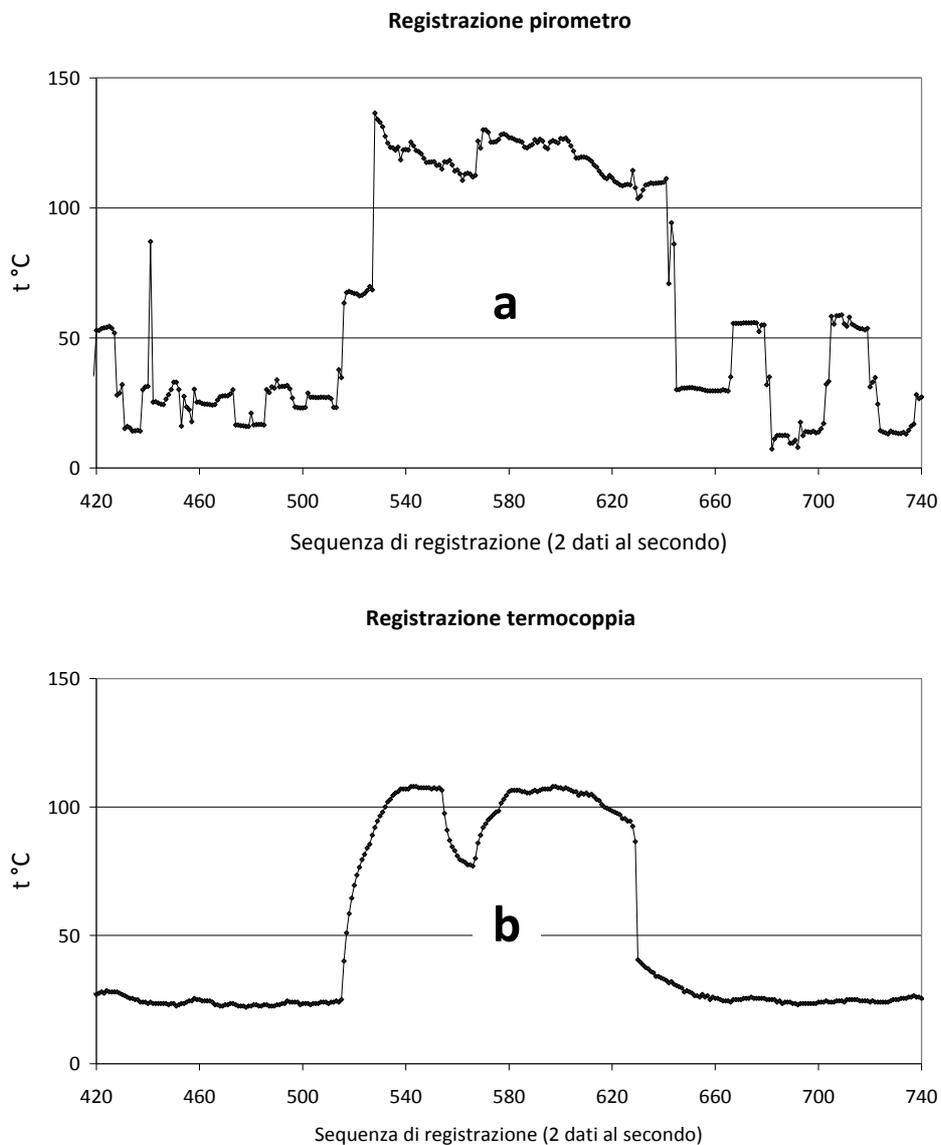
**Figura 7.** Mappa della temperatura rilevata con il pirometro. I punti sul percorso lineare, non idonei per un interpolazione, sono stati rappresentati in modo puntiforme. In alto a sinistra è stato applicato il metodo d'interpolazione Inverse Distance Weighted (IDW).

I Dati di temperatura sono stati elaborati su piattaforma GIS usando ArcMAP 9.3 (ESRI). La mappa mostrata nell'angolo in alto a sinistra della figura 7 è stata ottenuta interpolando i punti di misura con il metodo Inverse Distance Weighted (IDW), che determina i valori per cella usando una combinazione linearmente pesata dei punti. Le celle della mappa sono 5x5 m, la misura equivale alla precisione del rilevatore GPS; i punti con una distribuzione spaziale lungo un percorso lineare, quindi non distribuiti per effettuare una corretta interpolazione intorno al rilievo, sono stati rappresentati in modo puntiforme. In questo caso per ogni punto il valore di temperatura rilevato dal pirometro corrisponde al colore in legenda.

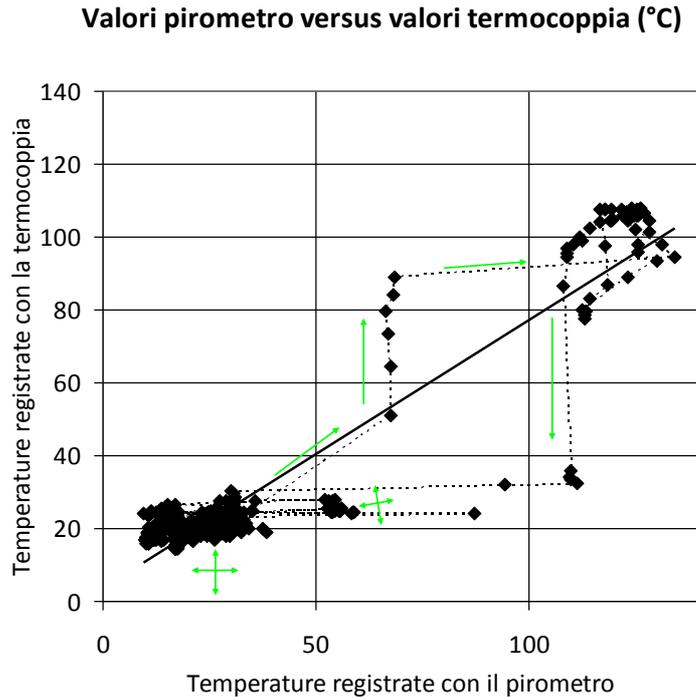
Si è trattato di un rilievo speditivo e la mappa termica definisce esattamente la temperatura delle superfici incontrate lungo il perimetro dell'edificio, in termini di ubicazione, estensione ed intensità. Sul percorso la distribuzione della temperatura è cambiata in modo discontinuo ed è stata caratterizzata da salti termici, in modo simile a quanto riscontrabile nei campi fumarolici. Le figure 8a e 8b riportano la sequenza di memorizzazione di dati registrati dal sensore pirometro (Fig. 8a) e dal sensore termocoppia (Fig. 8b) ed il confronto dei due grafici nelle figure 8a e 8b mette in evidenza la differenza fra i tempi di risposta della termocoppia e del pirometro. I dati di temperatura  $>50^{\circ}\text{C}$  rilevati nell'intervallo di campioni 660 – 700 e quelli nell'intervallo 700 – 740 rappresentano passaggi ripetuti sullo stesso settore, che hanno permesso una ulteriore verifica del posizionamento delle coordinate in carta. L'andamento della curva di figura 8a risponde alla reale variazione di temperatura incontrata lungo il percorso. Il grafico di figura 8b evidenzia che dal campione n° 517 al campione 540 (fra i quali è intercorso un tempo di registrazione pari a 46 s) la temperatura alla termocoppia indica un aumento graduale, mentre il pirometro individua per gli stessi punti una temperatura costante di  $T=70^{\circ}\text{C}$  (Fig. 8a) rispondente alla temperatura effettiva. Dal confronto dei grafici delle figure 8a e 8b si osserva inoltre che, nell'intervallo di tempo intercorso fra 540 e 630 secondi, la temperatura registrata con la termocoppia è nel range  $77\text{-}108^{\circ}\text{C}$  mentre i valori del pirometro corrispondenti rientrano nel range  $104\text{-}130^{\circ}\text{C}$ . Anche in questo caso imputiamo la migliore rispondenza del rilievo con pirometro, in gran parte al tempo di acquisizione impostato (2 secondi), che è senz'altro inferiore al tempo di stabilizzazione dell'equilibrio termico e possibilmente anche ad un contatto non ottimale fra la punta del sensore e la superficie da rilevare.

Il grafico in figura 9 mostra la correlazione fra temperature rilevate con pirometro e temperature rilevate in contemporanea con la termocoppia. Si precisa che per effettuare il rilievo con entrambi i sensori (infrarosso e di contatto) la sonda della termocoppia è stata fissata al supporto del pirometro. Le frecce indicano il verso del percorso tratteneggiato, che ha compreso passaggi ripetuti sulle stesse zone. La differente correlazione fra i dati è causata dalla velocità del passo e dal diverso tempo di risposta dei 2 sensori.

Anche il confronto dei dati in figura 9 mette in risalto una elevata incertezza nella relazione fra le temperature misurate con termocoppia e quelle misurate con pirometro che è causata dal breve tempo di contatto della termocoppia prima della misura. In conclusione per il rilievo speditivo delle temperature superficiali il metodo basato sulla misura della radiazione termica applicato con l'uso del sensore all'infrarosso (pirometro) ha risposto in maniera soddisfacente mentre il metodo di contatto, applicato con l'uso di una termocoppia ha confermato problematiche legate al tempo richiesto per l'equilibrio termico fra sensore termocoppia e superficie (in questo test  $t > 46$  s) e al contatto con la superficie che spesso non può essere penetrata dalla punta del sensore (roccia). L'uso della termocoppia, non si presta al rilievo speditivo, ma rimane utile sul campo per verificare eventuali problemi del pirometro legati a variazioni dell'emissività, o a cause strumentali (come accidentale deposizione di condensato o di polveri sulla lente, problemi di connessione).



**Figura 8.** Sequenza di memorizzazione dei valori di temperatura rilevati lungo l'angolo nordoccidentale del percorso: (a) dati del pirometro; (b) dati della termocoppia.



**Figura 9.** Confronto fra temperature rilevate con pirometro e temperature rilevate con la termocoppia. Le frecce verdi indicano il verso del percorso indicato dal tratteggio, la doppia freccia indica passaggi ripetuti sulle stesse zone. La retta nera indica il best fitting per l'intero insieme di dati, e presenta una certa corrispondenza per le temperature più elevate. La relazione lineare fra i dati è definita dall'equazione  $t_{Tk} = 0.7368 \times t_{py} + 3.63$ ;  $R^2 = 0.871$ .

#### 4. Test sul campo

L'Isola di Vulcano (ME) è la più meridionale delle isole dell'Arcipelago Eoliano. L'interesse per l'intensa attività esalativa che caratterizza questa area ha un duplice obiettivo, infatti le fenomenologie in atto permettono di interpretare le dinamiche in corso per una valutazione dei rischi naturali, ma è anche possibile testare teorie e nuove strumentazioni di interesse geofisico, per la facilità di accesso ad un esteso campo fumarolico di alta temperatura. Il test sul campo è stato effettuato in 2 aree in cui le temperature del suolo sono elevate a causa del flusso di vapore dal sistema idrotermale [Capaccioni et al., 2001 e riferimenti interni]. Le due aree sono ubicate ad est della Baia di Levante ed alla sommità del cono attivo. La figura 10 riporta, alla scala dell'isola, l'ubicazione dei settori in cui è stato testato il sistema Pirogips: i segnaposti gialli indicano la porzione orientale della Baia di Levante, il settore del cono attivo La Fossa in cui sono presenti le fumarole di alta temperatura, e 2 aree a temperatura normale all'interno dell'abitato di Vulcano Porto (residence Lanterna Blu e Centro M. Carapezza in Via Porto di Ponente). Per questa serie di test sul campo il rate di registrazione è stato programmato ad 1 valore ogni 2 secondi, che associato al passo lento ha determinato una velocità media di rilevazione pari a 0.4 m/s. La termocoppia è stata utilizzata solo in alcuni punti. I dati di temperatura rilevati con il Pirogips sono stati elaborati su piattaforma GIS usando ArcMAP 9.3 (ESRI). La mappa è visualizzata nelle figura successiva (Fig. 12). Per il rilievo effettuato al cratere lungo il sentiero, la distanza dei punti fra sentieri paralleli non consente alcuna interpolazione, la figura 13 riporta quindi i valori puntiformi, registrati con il pirometro.

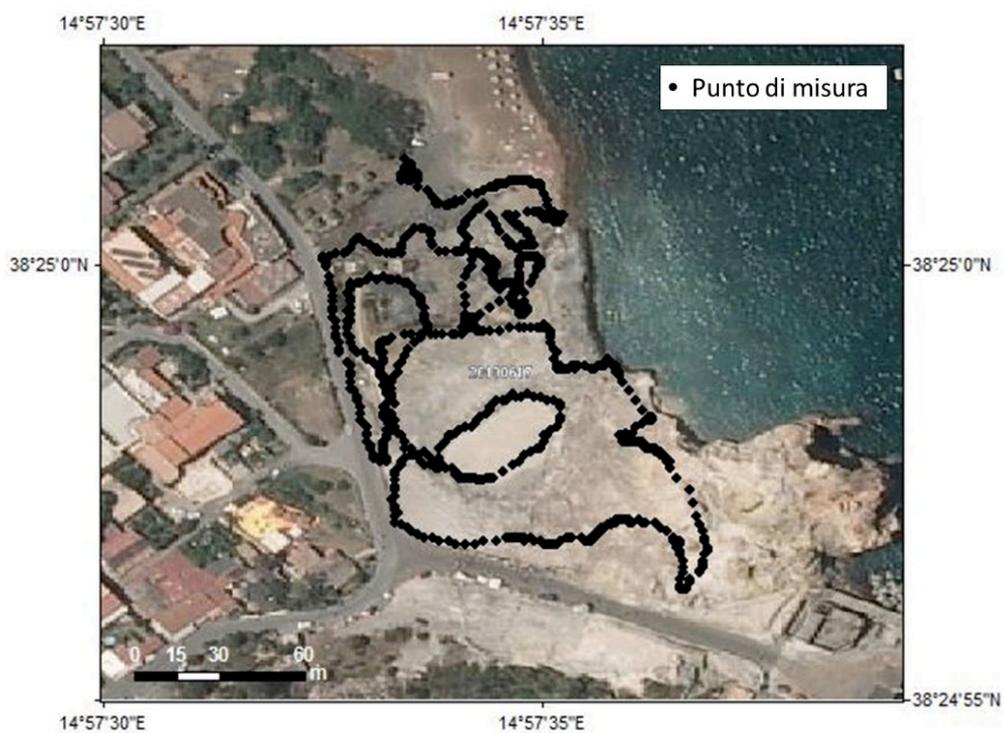


**Figura 10.** Restituzione dei rilievi effettuati a Vulcano sul programma Google Earth (Google Inc.).

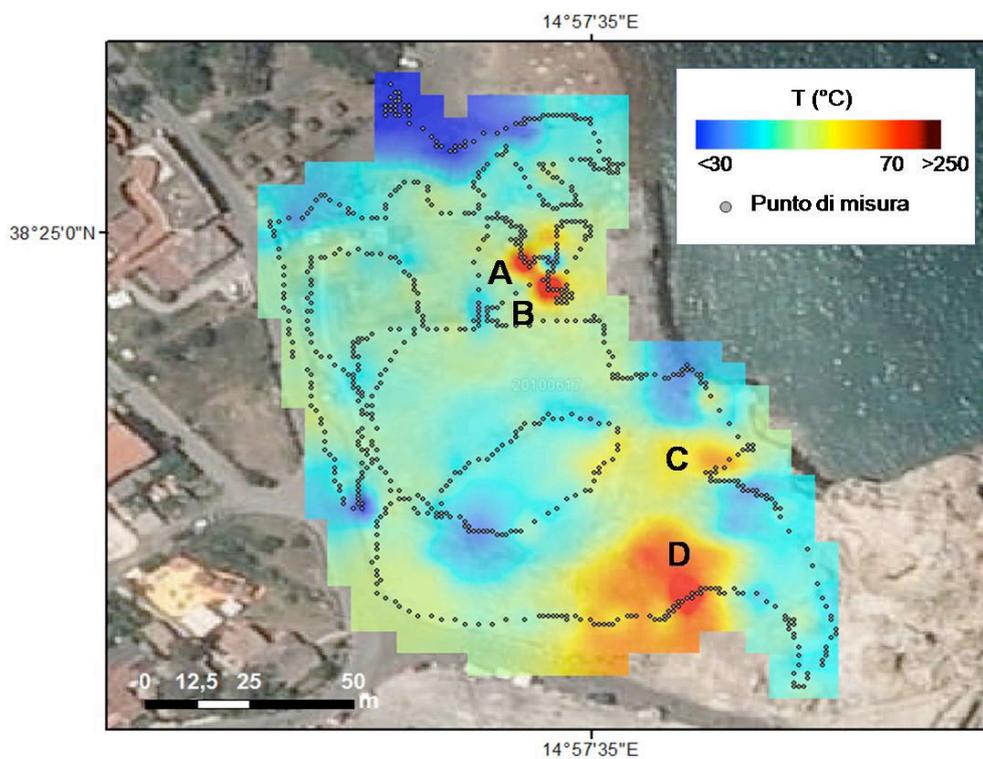
#### 4.1 Baia di Levante

L'area della Baia di Levante rilevata con Pirogips comprende il perimetro della vasca di fango e le fumarole principali a ovest e ad est della vasca (Fig. 11). La vasca è utilizzata per cure termali, contiene acqua sulfurea a temperatura variabile e pH molto acido, ed intercetta fluidi di origine idrotermale [Capaccioni et al., 2001]. È rilevata la temperatura del suolo in corrispondenza della base del faraglione, delle fumarole e della parte lambita dal fango della vasca, seguendo il limite dell'acqua. Il dataset completo può essere caricato su oogleoogle Earth (Google Inc.) e posizionando il puntatore su un segnaposto viene visualizzata la tabella di valori registrati da Pirogips per quel punto. Il rilievo è stato effettuato in 15 minuti e la restituzione automatica è stata immediata, la mappa termica ottenuta (Fig. 12) mette in evidenza correttamente il limite dell'acqua nella vasca di fango e la distribuzione della temperatura di superficie.

La massima temperatura rilevata dal pirometro nell'intera area è stata 86° C in una fumarola utilizzata per inalazioni di vapori solforosi (area B in Fig. 12) mentre la termocoppia, inserita all'interno della bocca esalante, ha indicato a regime 96° C. Per permettere alla termocoppia di raggiungere un valore di temperatura stabile è stata utilizzata una termocoppia non collegata a Pirogips e la sonda è rimasta in fumarola qualche minuto. La differenza di temperatura misurata con la termocoppia e con il pirometro può essere dovuta alla mancanza di equilibrio termico fra il vapore e la superficie esterna della fumarola ed è giustificata dal basso flusso di vapore convettivo, che espandendosi verso l'esterno e venendo a contatto con porzioni più esposte di suolo, può raffreddarsi. Per le misure effettuate sul perimetro della vasca la termocoppia immersa nel liquido ed il pirometro puntato sull'acqua hanno dato valori equivalenti.



**Figura 11.** Ubicazione dei punti di misura del rilievo del campo fumarolico della Baia di Levante.



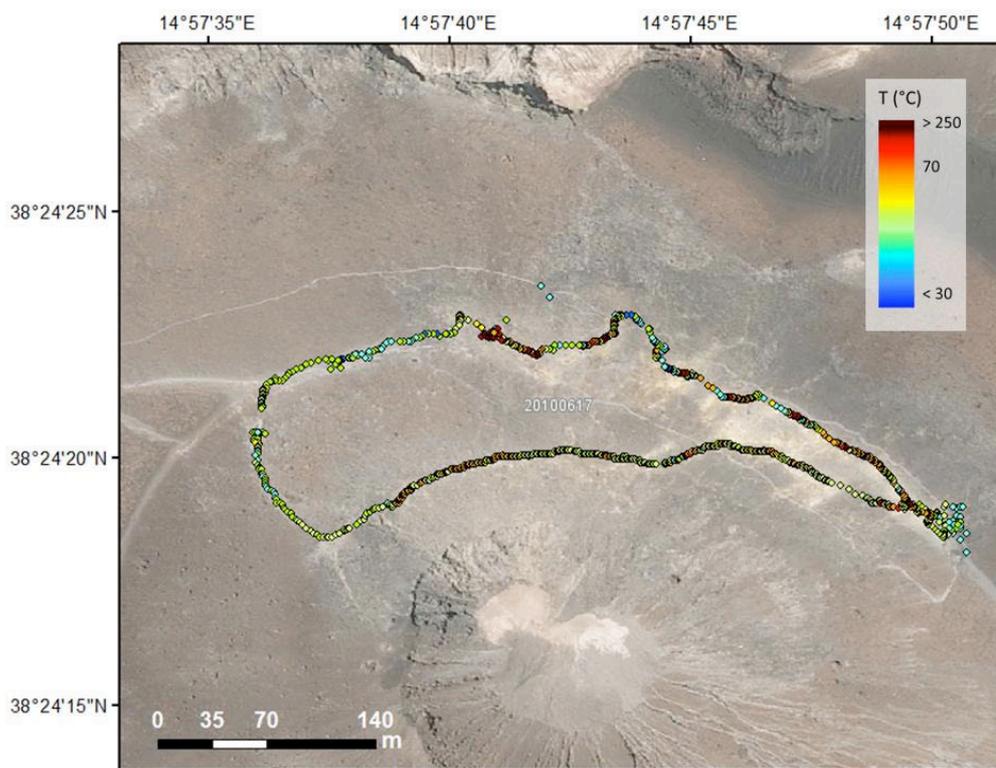
**Figura 12.** Mappa della temperatura rilevata con il pirometro sovrapposta alla immagine di figura 11. Metodo di interpolazione IDW.

In un'area caratterizzata dalla presenza delle fumarole di bassa temperatura il rilievo della superficie fornisce un parametro utile a seguire la distribuzione del calore smaltito dalla superficie ed i rilievi con Pirogips possono essere ripetuti nel tempo in modo sistematico poiché sono stati effettuati seguendo un percorso definito da barriere naturali e artificiali riconoscibili sul territorio, come la recinzione dell'area di fruizione della vasca di fango, la base del faraglione di levante, il contorno della vasca di fango, la linea di battigia, etc.. Le mappe ripetute nel tempo con lo stesso strumento lungo lo stesso percorso, possono essere confrontate fra loro per evidenziare variazioni nell'ubicazione ed estensione delle anomalie termiche. In quest'area di fumarole a bassa temperatura, per la presenza costante della fase liquida, la temperatura è tamponata sotto i 100 °C, quindi non ci si aspetta un aumento di temperatura delle fumarole oltre il punto di ebollizione. Il confronto di mappe termiche eseguite con un metodo sistematico appare un modo efficace per quantificare le variazioni del flusso di calore rilasciato verso la superficie. Un aumento dell'estensione delle superfici scaldate dal vapore idrotermale è infatti direttamente proporzionale all'aumento del flusso di calore smaltito dall'area. Un rilievo esteso permette di memorizzare anche le caratteristiche morfologiche dell'area (come il contorno della vasca di fango e la linea di battigia) e un confronto di mappe nel tempo fornisce in questo caso anche informazioni su variazioni di carattere geomorfologico. Il monitoraggio continuo del flusso di calore effettuato su numero limitato di punti di riferimento costituirebbe un'utile integrazione per seguire l'evoluzione dello smaltimento di energia nel dominio temporale.

#### **4.2 Campo fumarolico del cratere della Fossa**

Il cratere della Fossa di Vulcano mostra attività esalativa di tipo solfatarico da oltre un secolo, l'ultima eruzione si è conclusa nel 1890. Il monitoraggio continuo di alcune fumarole di alta temperatura ha registrato dal 2001 ad oggi un progressivo aumento della temperatura delle fumarole posizionate sull'orlo del versante settentrionale [Diliberto, 2013], mentre la più antica fumarola presente in corrispondenza di un "pit crater", che nel passato ha mostrato un progressivo allargamento dell'area esalante [Bukumirovich et al., 1997] e nel 1992 ha raggiunto la massima temperatura di 690 °C [Diliberto et al., 2002], ha mostrato negli ultimi anni un progressivo raffreddamento.

La progettazione di Pirogips risponde all'esigenza di effettuare una integrazione spaziale delle variazioni di temperatura evidenziate dal sistema di monitoraggio continuo operato dall'INGV sul campo fumarolico del cratere di Vulcano [Diliberto, 2011; 2013; Madonia et al., 2013]. Schopa et al. [2011] e Harris et al. [2009, 2012] hanno pubblicato dati di temperatura superficiale dell'area in questione fornendo una parziale risposta alla esigenza di integrazione areale dei dati del monitoraggio continuo. Un esempio si trova nelle figure 2a, 4 a-b del lavoro dal titolo "Time Series analysis of high temperature fumaroles monitored on the island of Vulcano (Aeolian Archipelago, Italy) [Diliberto, 2013]. Per rilevare l'ubicazione e l'estensione attuale delle principali fumarole ed avere una risoluzione adeguata alla variabilità effettiva delle temperature quegli autori hanno fatto ricorso all'utilizzo di una piattaforma aerea e/o hanno rilevato l'area con una termo-camera portatile da distanze ravvicinate, paragonabili a quelle effettuate con Pirogips. Le termocamere all'infrarosso sono strumenti tecnologicamente evoluti, adeguati a studiare la distribuzione delle temperature superficiali in area craterica e a fornire un quadro d'insieme delle aree esalanti. Esse forniscono dati di elevata qualità ma, consentono una minore agilità di movimento all'interno del campo fumarolico, hanno bisogno di una maggiore protezione ed inoltre sono strumenti che presentano un costo molto più elevato rispetto all'insieme dei componenti inseriti nel Pirogips. Nel campo fumarolico di alta temperatura il primo rilievo con Pirogips (Fig. 13) ha richiesto un tempo di percorrenza di circa 1.5 ore, un tempo più lungo, se paragonato al rilievo effettuato in prossimità di Vulcano Porto a causa delle pendenze incontrate e della difficoltà a muoversi e respirare a causa dell'elevato flusso di gas e vapori e alle condizioni estreme di temperatura. Le temperature restituite da Pirogips al passaggio delle bocche fumaroliche (Fig. 13) sono risultate equivalenti a quelle misurate inserendo la termocoppia pochi centimetri sotto il suolo, in alcuni punti di controllo dopo aver atteso un tempo di almeno 3 minuti. I punti con una distribuzione spaziale lungo un percorso lineare, quindi non distribuiti per effettuare una corretta interpolazione intorno al rilievo, sono stati rappresentati in modo puntiforme. In questo caso per ogni punto il valore di temperatura rilevato dal pirometro corrisponde al colore in legenda. L'esito di questa verifica sul campo è positivo e conferma la possibilità di un utilizzo sistematico di Pirogips. Effettuando il rilievo su una griglia più completa è possibile l'elaborazione di una mappa di temperature dell'intera area esalante ad alta risoluzione. Una prospezione effettuata con una maglia regolare che intersechi il pendio in più punti permette inoltre di quantificare l'estensione delle superfici riscaldate da vapore fumarolico, e quindi di effettuare una stima del flusso di calore smaltito dal sistema idrotermale verso la superficie.



**Figura 13.** Restituzione del rilievo termico eseguito lungo i sentieri che attraversano il campo fumarolico di alta temperatura presente sul cono attivo della Fossa di Vulcano. Il colore dei punti corrisponde alla temperatura del rilievo mostrata in legenda.

## 5. Conclusioni

Pirogips associa un sensore all'infrarosso ad un rilevatore di posizione satellitare ed è stato realizzato per consentire un rilievo di temperatura con caratteristiche intermedie, in termini di accuratezza della temperatura misurata e risoluzione areale, rispetto ai metodi di acquisizione diretta della temperatura con sensore termico di contatto (termocoppia) e di acquisizione indiretta, ottenuta attraverso il telerilevamento prossimale con il sensore ottico montato su telecamera. Durante i test operativi la differenza fra le temperature rilevate con il sensore di contatto ed il pirometro è risultata inferiore al 5 % per i valori massimi.

I rilevamenti preliminari effettuati su anomalie termiche condizionate hanno evidenziato che per il rilievo speditivo il sensore all'infrarosso (pirometro) ha risposto in maniera soddisfacente. L'uso della termocoppia ha richiesto tempi di misura più elevati (in questo test il tempo di equilibrio è risultato maggiore di 46 secondi) per raggiungere l'equilibrio termico fra la termocoppia e la superficie. Inoltre si introduce nel dato rilevato in modo speditivo l'incertezza causata dalla limitata superficie di contatto, quando la punta della termocoppia non può essere inserita al di sotto del piano di campagna ed il flusso di calore è basso.

I test sul campo, a Vulcano, hanno dato risultati simili ma le misure con termocoppia sono state effettuate solo in pochi punti e non sull'intero rilievo, in quanto per l'equilibrio termico del sensore di contatto è necessario un tempo superiore all'intervallo di registrazione delle misure. Per un rilievo effettuato in campi fumarolici di alta temperatura il minore tempo di esposizione alle condizioni ambientali estreme e la facilità di restituzione dei dati in un sistema georeferenziato costituisce un vantaggio soddisfacente rispetto alla perdita di precisione riscontrata nella misura.

La possibilità di registrare sul campo anche le misure derivate dal contatto termico con la termocoppia rimane utile per la verifica di eventuali problemi del pirometro legati a variazioni dell'emissività, o a cause strumentali (come accidentale deposizione di condensato o di polveri sulla lente, problemi di connessione), e nel caso del superamento dei limiti di rilevabilità del pirometro.

Rispetto ai dati derivanti dal telerilevamento prossimale mediante telecamera termica, la possibilità di utilizzare il pirometro posto a poca distanza dalla superficie migliora la risoluzione a terra del rilievo (circa 3

$\times 10^{-3} \text{ m}^2$ , quando Schopa et al. [2011] riportano un intervallo compreso fra 0.02 e 0.43  $\text{m}^2$  per i propri rilievi) ma ancor più rispetto al telerilevamento distale, effettuato tramite l'utilizzo di supporto aereo o satellitare. Inoltre l'uso di Pirogips, elimina problemi di variazione di scala determinati dalla restituzione di affioramenti disposti lungo superfici non piane, come è il caso del campo fumarolico di alta temperatura che sul cratere della Fossa di Vulcano si estende su una superficie convessa e presenta un dislivello di oltre 60 m. Infine la breve distanza ( $<1000 \text{ mm}$ ) fra la lente del sensore e la superficie da rilevare riduce tutti gli effetti di distorsione causati dalla dispersione (rifrazione) delle onde elettromagnetiche lungo il cammino ottico.

I test di laboratorio effettuati su Pirogips hanno evidenziato una ridondanza di dati legata alla velocità di acquisizione predeterminata (1 dato ogni 2 secondi) che è risultata generalmente eccessiva rispetto al passo dell'operatore. La ridondanza non ha creato problemi nella restituzione cartografica delle anomalie termiche ma ha fornito un numero eccessivo di dati in tabella. Nelle aree fumaroliche la problematica è risultata ancora più evidente a causa dell'ampio intervallo di temperature superficiali incontrato ( $20 - 370^\circ\text{C}$ ) e della difficoltà rappresentata da ostacoli e dislivelli affrontati lungo il percorso. Successivamente alle fasi di test qui presentate, è stato inserito un interruttore che invia al Pirogips il comando per eseguire l'acquisizione dei dati quando il sensore radiometrico è in posizione corretta rispetto alla superficie da rilevare. L'interruttore è posizionato sul manico del bastoncino in modo da essere agevolmente azionato, in questo modo si elimina il rischio di memorizzare valori di temperatura non esatti, nei casi in cui la posizione del pirometro non traguarda correttamente la superficie da rilevare. Inoltre, nei casi in cui è necessaria la verifica della temperatura per mezzo della termocoppia si ha l'opportunità di attendere il tempo necessario all'equilibrio termico del sensore di contatto, evitando la registrazione di un sovrannumero di misure derivate dal pirometro.

## Ringraziamenti

Ringraziamo il dott. Salvatore Inguaggiato per aver utilizzato il Pirogips per il primo rilievo di temperatura dell'area fumarolica del vulcano Machin (Colombia), effettuato in ottobre 2013 in collaborazione con ricercatori del Servicio Geologico Colombiano (SGS, Bogotá, CO) ed il dott. Manfredi Longo il quale, dopo aver utilizzato il Pirogips per il rilievo di temperatura dell'area craterica del vulcano Teide (effettuato in giugno 2014, in collaborazione con l'Istituto Geografico Nacional, Spagna) ha suggerito alcune modifiche che hanno reso ancora più agevole l'uso dello strumento.

## Bibliografia

- Bukumirovic T., Italiano F., Nuccio P.M., (1997). *The evolution of a dynamic geological system: support of a GIS for geochemical measurements at the fumarole field of Vulcano, Italy*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 79, 253-263.
- Capaccioni B., Tassi F., Vaselli O. et al., (2001). *Organic and inorganic geochemistry of low temperature gas discharges at the Baia di Levante Beach, Vulcano Island, Italy*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 108, 173-185.
- Diliberto I.S., (2011). *Long-term variations of fumarole temperatures on Vulcano Island (Italy)*. Annals of Geophysics, 54,2,2011; doi: 10.4401/ag-5183.
- Diliberto I.S., (2013). *Time series analysis of high temperature fumaroles monitored on the island of Vulcano (Aeolian Archipelago, Italy)*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2013.08.003.
- Diliberto I.S., Cappuzzo S., Inguaggiato S., Cosenza P., (2014). *Instrumental system for the quick relief of surface temperatures in fumarole fields and steam heated soils*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 16, EGU 2014-12189, 2014, EGU General Assembly
- Diliberto I.S., Gurrieri S., Valenza M., (2002). *Relationships between diffuse CO<sub>2</sub> emissions and volcanic activity on the island of Vulcano (Aeolian Islands, Italy) during the period 1984-1994*. Bulletin of Volcanology, vol. 64: 219-228.
- Harris A., Alparone S., Bonforte A., Dehn J., Gambino S., Lodato L., Spampinato L., (2012). *Vent temperature trends at the Vulcano Fossa fumarole field: the role of permeability* Bull. Volcanol. 74:1293-1311 DOI 10.1007/s00445-012-0593-1.

- Madonia P., Cusano P., Diliberto I.S., Cangemi M., (2013). *Thermal anomalies at Vulcano Island (Italy) and their relationship with seismic activity*. Physics and Chemistry of the Earth. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2013.06.001>.
- Schöpa A., Pantaleo M., Walter T.R., (2011). *Scale-dependent location of hydrothermal vents: Stress field models and infrared field observations on the Fossa Cone, Vulcano Island, Italy*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 203, 133-145, doi:10.1016/j.jvolgeores.2011.03.008.
- Spampinato L., Calvari S., Oppenheimer C., Boschi E., (2011). *Volcano surveillance using infrared cameras*. Earth-Sci. Rev. (2011), doi:10.1016/j.earscirev.2011.01.003.

# Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/>

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

# Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/>

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

# Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/>

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli ecc..

**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2015 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**