



Rapporti tecnici INGV

**Installazione di un radiometro
nell'area sommitale del vulcano Etna**

259



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (INGV - RM1)

Luigi Cucci (INGV - RM1)

Nicola Pagliuca (INGV - RM1)

Umberto Sciacca (INGV - RM1)

Alessandro Settimi (INGV - RM2)

Aldo Winkler (INGV - RM2)

Salvatore Stramondo (INGV - CNT)

Gaetano Zonno (INGV - MI)

Viviana Castelli (INGV - BO)

Marcello Vichi (INGV - BO)

Sara Barsotti (INGV - PI)

Mario Castellano (INGV - NA)

Mauro Di Vito (INGV - NA)

Raffaele Azzaro (INGV - CT)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Mario Mattia (INGV - CT)

Marcello Liotta (Seconda Università di Napoli, INGV - PA)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 095 7165851

redazionecen@ingv.it



Rapporti tecnici INGV

INSTALLAZIONE DI UN RADIOMETRO NELL'AREA SOMMITALE DEL VULCANO ETNA

Filippo Murè, Graziano Larocca, Letizia Spampinato, Tommaso Caltabiano,
Giuseppe Giovanni Salerno, Placido Montalto, Luciano Scuderi

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania - Osservatorio Etneo)

259

Indice

Introduzione	5
1. La stazione radiometrica	6
2. Interfacciamento del radiometro con il digitalizzatore	7
3. L'installazione dello strumento presso il sito del Belvedere	10
4. L'acquisizione del segnale radiometrico della stazione EBEL	13
5. Archiviazione e visualizzazione del dato	17
6. Risultati	18
7. Conclusioni	20
Ringraziamenti	20
Bibliografia	20

Introduzione

Le tecniche di telerilevamento satellitare e da terra per la stima della temperatura di anomalie termiche delle superfici vulcaniche, della loro variazione nel tempo e per individuare attività parossistiche o l'inizio di una fase di colate di lava, sono ormai entrate a far parte della sorveglianza e del monitoraggio vulcanologico [es. Francis, 1979; Geraci et al., 1985; Lombardo et al., 2011; Spampinato et al., 2011]. I sensori in una banda spettrale dell'infrarosso quali radiometri e telecamere termiche, utilizzati in prossimità di bocche eruttive, hanno fornito cospicue quantità di dati di temperatura della superficie di corpi magmatici (colate laviche, laghi di lava, duomi lavici), plume vulcanici, fumarole, registrati a distanza di totale sicurezza [Spampinato et al., 2011]. In particolare, i radiometri, sia portatili che installati in stazioni permanenti, oltre che fornire dati da confrontare con misure geochimiche, permettono l'acquisizione di dati di temperatura ad elevata frequenza, tali da essere messi in relazione con le misure derivate da osservazioni geofisiche quali ad esempio il tremore sismico [es. Harris e Ripepe, 2007; Branan et al., 2008]. Inoltre, il costo relativamente modesto ed il basso assorbimento energetico rispetto ad altri tipi di sensori all'infrarosso, quali ad esempio le telecamere termiche, ne hanno incoraggiato l'installazione in aree prossimali alle sorgenti eruttive [es. Harris et al., 2005], diminuendo anche il danno economico in caso di perdita della strumentazione a causa di attività eruttive particolarmente energetiche. Così come nel caso di telecamere termiche, anche il radiometro ha trovato un ampio spettro di applicazioni in ambito vulcanologico e in particolar modo nello studio di fenomeni eruttivi di tipo esplosivo [Oppenheimer e Rothery, 1991; Flynn et al., 1993; Burgi et al., 2002].

In questo lavoro si descrivono i dettagli dell'installazione di una stazione radiometrica collocata nell'area sommitale dell'Etna in zona Belvedere, nel sito già utilizzato da una stazione multiparametrica (con sensori sismici e infrasonici) e denominato EBEL. Si descrivono anche la metodologia di trasmissione dati in continuo, il trattamento del dato convertito in temperatura apparente nel campo di vista del radiometro, la visualizzazione in tempo quasi reale del dato e la sua diffusione tramite WEB. La realizzazione di stazioni permanenti di radiometri è stata sviluppata nel quadro delle attività del Settore Tematico di Geochimica dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Etneo (INGV-OE) nell'ambito del Progetto APQ Sicilia ed è nata dall'esigenza di fornire un contributo allo studio delle dinamiche di degassamento dai crateri sommitali dell'Etna. Tale progetto è rivolto allo studio di fenomeni eruttivi, quali fontane di lava, attraverso l'integrazione tra dati di temperatura, flussi di calore, dati geochimici composizionali e di flusso (principalmente SO₂), dati sismici e dati infrasonici. I dati geochimici composizionali e di flusso sono misurati dalla rete di UV scanner "FLAME-Etna" dell'INGV-OE e con metodologia FTIR- Fourier Transform InfraRed spectroscopy.

Purtroppo, durante la stesura del presente rapporto, la stazione multiparametrica denominata EBEL, oggetto di questo lavoro, è andata perduta, sepolta dal flusso lavico emesso durante l'episodio eruttivo del 28 febbraio 2013.

1. La stazione radiometrica

Nell'ambito dello studio dei fenomeni di degassamento e dell'emissione termica durante fasi di normale degassamento, stromboliane o di fontane di lava, si è resa necessaria l'acquisizione di un dato ad alta frequenza che fornisse indicazioni termiche riguardo al comportamento emissivo ed eruttivo dei crateri dell'Etna. Si è individuata, nell'uso di un radiometro, la soluzione a questa necessità.

Il radiometro è, infatti, uno strumento che permette di acquisire informazioni termiche a distanza, sfruttando l'emissione che i corpi caldi hanno nella banda elettromagnetica dell'infrarosso termico, secondo la nota legge di Stefan-Boltzmann (1), che stabilisce che la potenza irradiata è proporzionale alla quarta potenza della temperatura:

$$E = \sigma \varepsilon T^4 \quad (1)$$

dove σ è la costante di Stefan-Boltzmann, T è la temperatura in gradi Kelvin ed ε è il coefficiente di emissività, dipendente dalla natura e superficie del corpo ed indica la capacità di tale corpo di irraggiare la stessa frazione di energia irraggiata da un corpo nero alla stessa temperatura. ε può variare da 0 (un corpo ideale che non emette nessuna radiazione termica in base alla sua temperatura) ad 1 che è il corpo nero, anch'esso ideale, che irradia totalmente la quantità di energia assorbita.

La radiazione termica ricevuta dal sensore del radiometro e, in generale da qualsiasi detector sensibile nel campo dell'infrarosso, non corrisponderà alla quantità reale emessa dal corpo caldo, in quanto durante la sua propagazione lungo la direzione corpo-detector, questa subirà un effetto di attenuazione dovuto a diversi fattori esterni (es. temperature e umidità del volume di atmosfera interposta, distanza oggetto-detector, angolo di misura, la presenza di eventuali lenti/schermi protettivi, ecc.; vedi [Spampinato et al., 2011]). Gli effetti di questi fattori, che intervengono inevitabilmente quando si opera da remoto, posso essere attenuati effettuando delle correzioni sia in fase di registrazione dati sia in fase di post-processing. Nel caso specifico del radiometro di EBEL, la misura effettuata tiene conto del fattore emissivo, della trasmissività e del fattore di assorbimento della lente protettiva; tuttavia non tiene conto delle variazioni dei parametri ambientali che sono presi in considerazione in fase di post-processing.

Il radiometro che necessitava per tale installazione doveva essere uno strumento a basso consumo, con una frequenza di aggiornamento abbastanza elevata, con una buona precisione, un costo contenuto ed essere abbastanza robusto da poter essere installato in un ambiente ostico come quello di alta quota ed esposto ad agenti corrosivi.

Per l'installazione è stato scelto un radiometro modello CTfast-LT15F prodotto dalla Optris® (Fig. 1). Lo strumento opera in un'unica banda dell'infrarosso termico nelle lunghezze d'onda comprese tra 8 e 14 μm (LWIR - Long Wave InfraRed), corrispondente ad un intervallo di temperatura misurabile tra -50 e 975 °C, una risoluzione di 0.2 °C, un'incertezza di $\pm 1\%$, un tempo di risposta di 9 ms ed un assorbimento in corrente di circa 25 mA a 12 V [Optris, 2002]. Lo strumento è provvisto di un piccolo display interno che permette di visualizzare in tempo reale il segnale nel formato "temperatura" (Fig. 1a); dispone inoltre di un'uscita in tensione (0...5V, 0...10V, quest'ultima da noi utilizzata) o in corrente (0...20mA, 4...20mA) che lo rendono

particolarmente versatile per la gestione del dato. L'ottica d'ingresso (Fig. 1b) ha una risoluzione di 15:1 (a 15 m di distanza dall'oggetto osservato, il campo di vista del radiometro ha diametro di 1 m), ha il sensore termico contenuto al suo interno ed è collegata all'elettronica di conversione (Fig. 1c) tramite un cavo elettrico; ciò permette di avere la parte ottica svincolata dalla parte elettronica, per poterla quindi montare su una superficie esterna. Questa caratteristica ha consentito la collocazione del radiometro in un ulteriore contenitore a tenuta stagna (IP66) con la parte ottica posta sulla parete del contenitore e protetta da un'opportuna lente.

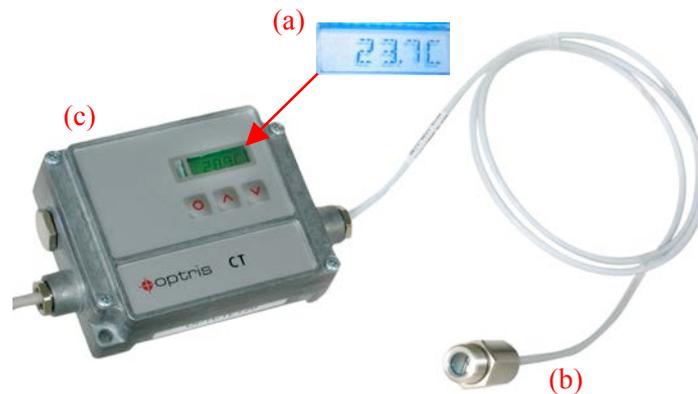


Figura 1. Il radiometro Optris® utilizzato sull'Etna: (a) display; (b) ottica e sensore; (c) elettronica di conversione.

2. Interfacciamento del radiometro con il digitalizzatore

Il segnale di uscita in tensione del radiometro (0...10V) è digitalizzato utilizzando un digitalizzatore a 24 bit, Nanometrics Trident, progettato per i segnali simici che, collegati in modo differenziale, limitano le eventuali interferenze causate da differenze di ground tra il sensore e la strumentazione di cui è costituita la stazione multiparametrica. Sono stati eseguiti diversi test in laboratorio al fine di ottimizzare la configurazione del digitalizzatore e le connessioni elettroniche con il radiometro. Infatti, dopo aver eseguito tali test, il sensore appariva chiaramente non connesso con il ground (*floating signal source*), quindi la configurazione corretta risultava quella di un digitalizzatore con ingressi differenziali come riportato nella figura 2. Si può osservare che la sorgente non ha punti connessi alla terra, mentre dalla parte del digitalizzatore, l'ingresso negativo è cortocircuitato ad una massa comune.

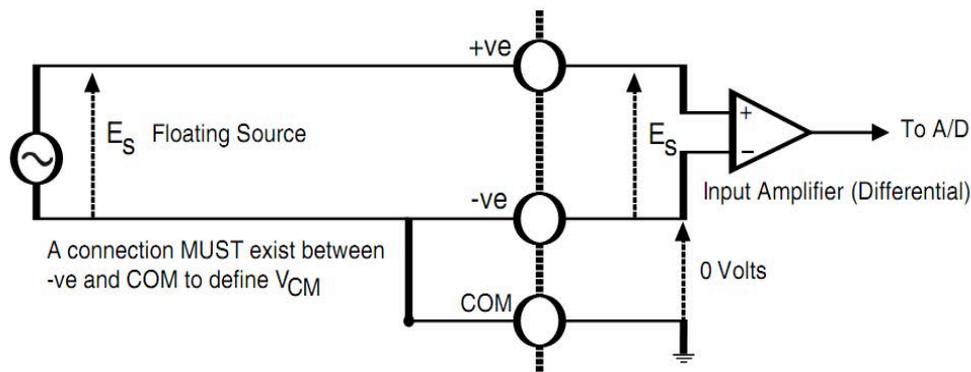


Figura 2. Connessione ottimale di una sorgente di segnale floating ad un ingresso differenziale.

Nel caso del sensore installato a EBEL, i canali del digitalizzatore sono condivisi da un sensore infrasonico e dal radiometro, che non dispongono di nessun punto di connessione al ground. Dopo alcuni test in laboratorio, la soluzione risultata più vantaggiosa per una corretta acquisizione dei segnali, è scaturita dal fatto di connettere il sensore infrasonico e il radiometro con la massa in comune (*shield*), come mostra la figura 2. Per quanto riguarda la configurazione del digitalizzatore, si è cercata una configurazione software tale da non influire negativamente sull'acquisizione del segnale infrasonico. La figura 3 mostra l'interfaccia GUI (Grafic User Interface) Nanometrics per la configurazione dei digitalizzatori Trident.

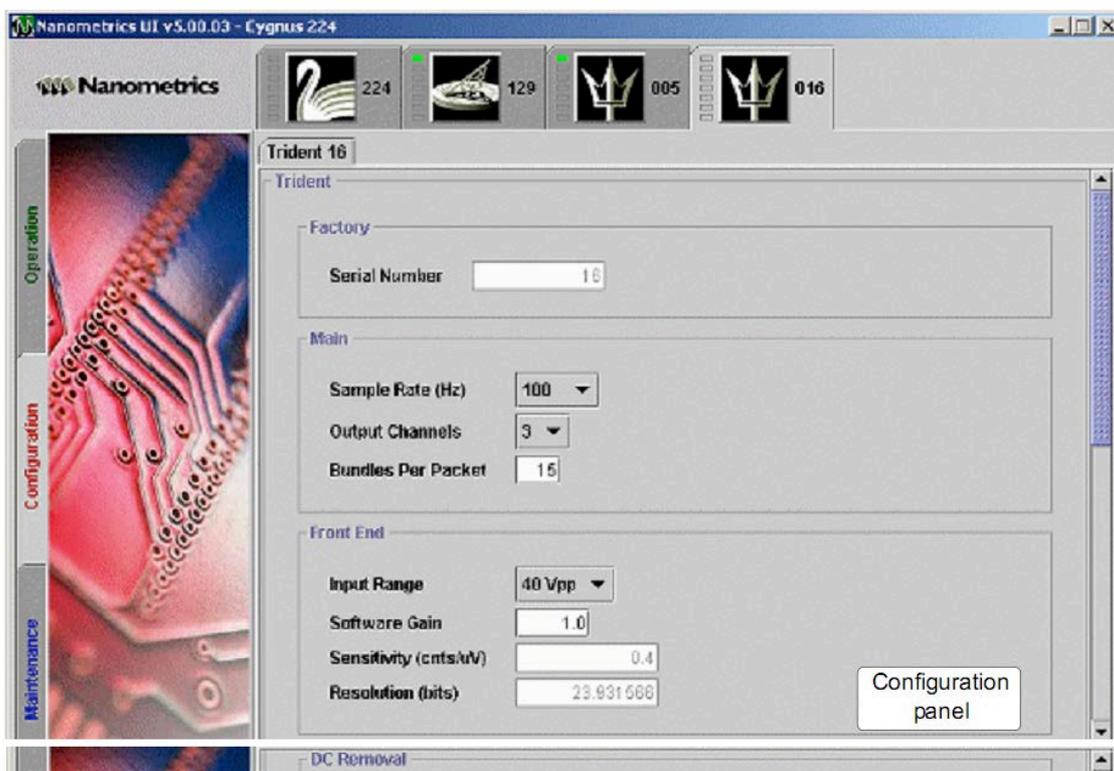


Figura 3. Interfaccia di configurazione del software del digitalizzatore Trident.

Molti parametri non possono essere applicati al singolo canale ma a tutti e tre contemporaneamente [Nanometrics Inc., 2004]. In particolare, la frequenza di campionamento è stata fissata a 50 Hz sia per il segnale infrasonico che per quello radiometrico. Questa scelta risulta compatibile per entrambe le grandezze acquisite in quanto ambedue i segnali contengono le informazioni necessarie al di sotto della frequenza di Nyquist (25 Hz nel caso in esame), in particolare i segnali infrasonici si definiscono tali essendo caratterizzati da frequenze inferiori alla soglia di udibilità dell'orecchio umano (20Hz). Il segnale radiometrico non necessita di un campionamento a frequenza superiore, essendo caratterizzato da un andamento temporale quasi costante. L'*input range*, che determina i limiti di tensione misurabile e contribuisce a determinare la risoluzione finale del segnale digitalizzato, è stato fissato a 40 Vpp. Considerando che il livello di tensione di uscita del radiometro può essere configurato per avere un *range* più ridotto da 0 a 5 V oppure un *range* più esteso da 0 a 10 V si è preferita la seconda configurazione utilizzando così la migliore risoluzione del sensore senza superare i limiti di range (± 20 V) del digitalizzatore. L'opzione *DC removal* attiva un filtro software passa alto che elimina armoniche con frequenze molto basse o segnali continui che possono interferire con segnali a frequenze decisamente più alte. Sebbene questa opzione sia comunemente utilizzata per i sensori sismici, i test in laboratorio hanno evidenziato che non si adatta ai segnali radiometrici, che vengono del tutto filtrati utilizzando tale opzione. Tutti i settaggi sono stati poi eseguiti durante l'installazione in campo (Fig. 4).



Figura 4. Configurazione e controllo software del digitalizzatore eseguita durante l'installazione in campo (EBEL).

3. L'installazione dello strumento presso il sito del Belvedere

Diversi sono gli aspetti che hanno condizionato la scelta del sito, in particolare:

- (i) aspetti tecnico-strumentali;
- (ii) esigenze legate al target di misura (quali la vicinanza alle bocche eruttive);
- (iii) la necessità di ottimizzare le risorse di alimentazione e trasmissione del segnale con l'accorpamento delle strumentazioni in un sito dell'INGV-OE già operante sul vulcano.

Considerando queste esigenze, come sito idoneo all'installazione sull'Etna è stato scelto quello del Belvedere (denominato EBEL, vedi mappa nella Fig. 14), sito dove è già presente una stazione multiparametrica (sismica ed infrasonica) gestita dall'Unità Funzionale di Sismologia, posizionata alla sommità del vulcano (2895 m s.l.m.) e con un ottimo campo di vista a soli 900 m dal Nuovo Cratere di Sud-Est (NCSE; Figg. 5 e 6). Il basso assorbimento energetico del radiometro (~25mA@12V) e la compatibilità del segnale in uscita con il sistema di trasmissione della stazione sismica, ha reso relativamente semplice la sua integrazione con la stazione multiparametrica EBEL.



Figura 5. Vista del Nuovo Cratere di Sud - Est dal sito del Belvedere (foto del 12 aprile 2012). Nel cerchio rosso è evidenziata la collocazione del radiometro. Il cerchio verde indica la zona inquadrata dal sensore termico del radiometro.



Figura 6. Sistema di alimentazione a pannelli solari della stazione multiparametrica EBEL (sismica, infrasonica, radiometrica) installata presso il Belvedere.

L'installazione in campo è stata preceduta da attività di preparazione e test dello strumento presso i laboratori di geochimica e di sismologia dell'INGV-OE di Catania. In particolare, lo strumento è stato collocato all'interno di un contenitore a tenuta stagna del tipo "Peli case" (Fig. 7) e successivamente è stato testato al fine di individuare la tipologia di connessione più idonea, verificando l'assenza di rumori elettronici dovuta alla simultanea acquisizione della stazione di dati sismici ed infrasonici. Successivamente, lo strumento è stato installato in campo sulla struttura portante dei pannelli solari presenti a EBEL. Il cavo di alimentazione e comunicazione è stato inserito all'interno di un cavidotto a guaina spiralata, opportunamente interrato, fino al vano delle strumentazioni di acquisizione sismica e trasmissione dati. Dopo aver eseguito il collegamento dello strumento con le apparecchiature della stazione sismica si è proceduto all'orientamento del radiometro verso il NCSE. Al fine di focalizzare l'osservazione sull'attività esplosiva il radiometro è stato puntato appena al di sopra del cono craterico (Figg. 5 e 8). I dati raccolti dal radiometro vengono trasmessi via telemetrica alla sede dell'INGV-OE di Catania. L'ottica del radiometro è stata protetta tramite una lente per preservarla dagli agenti abrasivi e corrosivi presenti nel sito di misura (Fig. 7). In particolare, l'abrasione è dovuta alle ceneri ed al particolato granulometrico prodotto dalle fontane di lava, mentre la corrosione è dovuta ad agenti chimici risultanti dall'idratazione dei gas vulcanici presenti in abbondanza nel sito di Belvedere, essendo la stazione EBEL collocata a breve distanza dal NCSE. L'uso della lente protettiva ha richiesto la modifica del coefficiente trasmissivo da 1.0 a 0.83, che è stato conseguentemente aggiornato nell'elettronica di conversione, come previsto dal manuale d'uso [Optris, 2002].



Figura 7. Il radiometro contenuto in un contenitore stagno del tipo “Peli case”, installato sulla struttura del pannello solare della stazione EBEL, con il sensore ottico (a) posto nella parte frontale del box con installata la lente protettiva.



Figura 8. Il radiometro puntato verso il NCSE presso il sito EBEL.

4. L'acquisizione del segnale radiometrico della stazione EBEL

Una volta completata l'installazione la stazione EBEL è una stazione multiparametrica digitale a tecnologia Nanometrics, così costituita:

- (i) Il movimento terrestre è registrato da un sensore velocimetrico Nanometrics Trillium.
- (ii) I segnali infrasonici, generati dal vulcano, sono registrati da un sensore infrasonico G.R.A.S.
- (iii) La temperatura della sommità del cratere di Sud-Est è registrata dal radiometro.
- (iv) Due digitalizzatori Nanometrics Trident sono usati per la conversione da analogico a digitale. In particolare ne si utilizza uno per il sensore velocimetrico e l'altro per il segnale radiometrico e infrasonico.
- (v) Un Nanometrics Janus, un dispositivo che riceve dati da digitalizzatori o da apparecchiature seriali, definito anche come "Communications Controller". Si occupa dell'incapsulamento del dato all'interno di pacchetti UDP e della spedizione di quest'ultimi attraverso le porte ethernet o seriale di cui è dotato. Esso si occupa anche della bufferizzazione dei segnali digitalizzati in una memoria circolare interna, sovrascrivendo i dati più vecchi con quelli più nuovi. Infine svolge il lavoro di temporizzazione del dato utilizzando un ricevitore GPS integrato ed un'antenna GPS Trimble di cui è dotata la stazione. L'informazione temporale è inviata al digitalizzatore che provvede a marcare i dati digitalizzati.
- (vi) La trasmissione della stazione è gestita da una radio in banda UHF, Nanometrics Telesto, che offre una larghezza di banda di 19200 bps. Utilizzando un'antenna di tipo *yagi*, i dati sono trasmessi al Centro Unificato Acquisizione Dati (CUAD) di Catania, a circa 25 km di distanza, dove è presente un'altra antenna *yagi* e un'altra radio ricevente.
- (vii) L'alimentazione della strumentazione della stazione è affidata ad un sistema composto da due batterie tampone da 100 Ah ciascuna. Queste sono caricate utilizzando due pannelli fotovoltaici da 180W ciascuno ed una cella a combustibile metanolo EFOY PRO che si attiva solo quando i pannelli fotovoltaici non riescono a fornire adeguata energia alle batterie. La stazione è provvista di una tanica di metanolo da 30 litri che permette l'autonomia di funzionamento della stazione per alcuni mesi. Le correnti di carica e di alimentazione vengono distribuite e regolate da un regolatore di carica Prostar da 30A.

La figura 9 mostra schematicamente la strumentazione utilizzata nella stazione EBEL, mentre nella figura 10 è mostrata una foto del vano strumentazione.

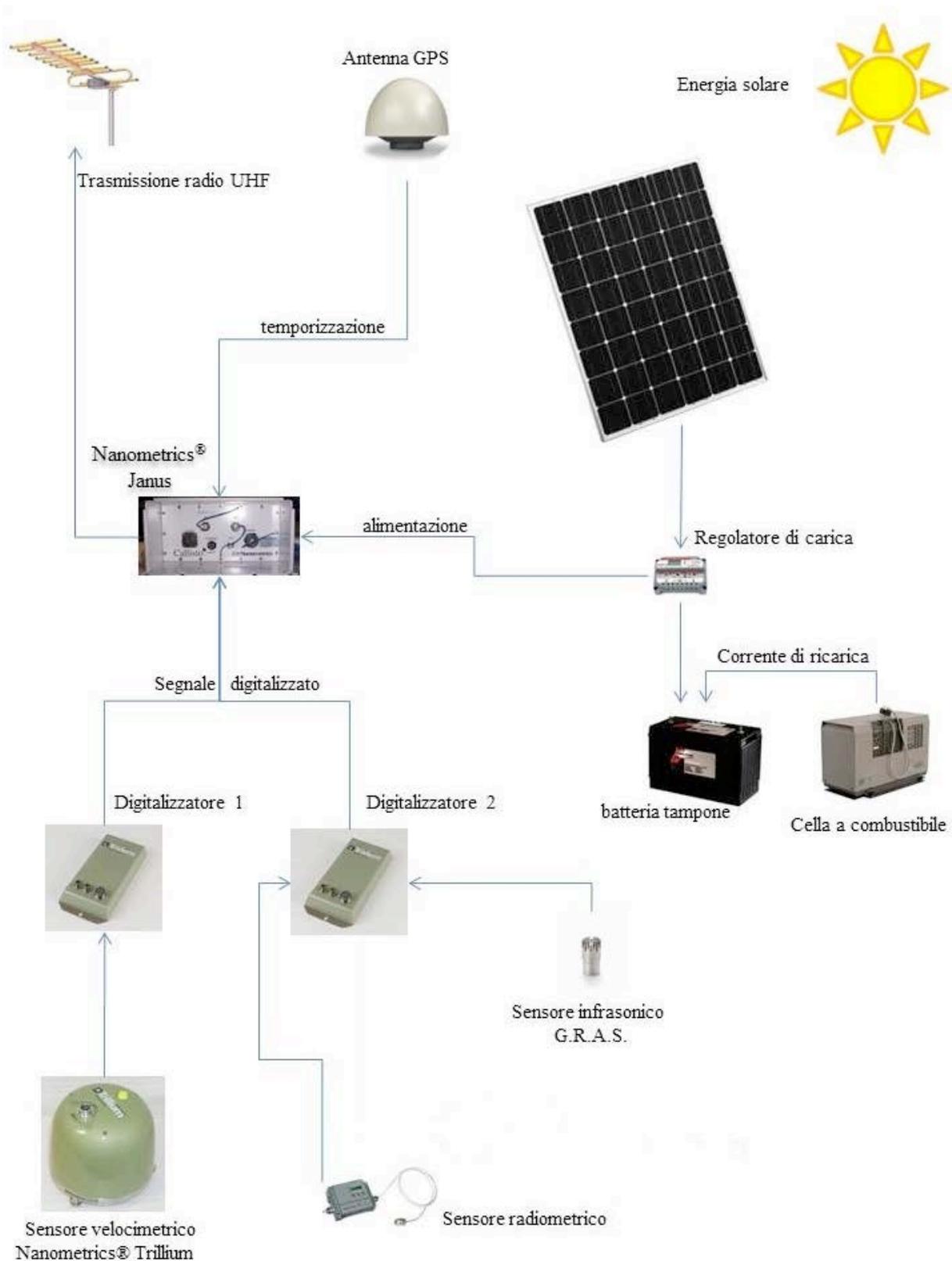


Figura 9. Schema di funzionamento della stazione sismica EBEL.



Figura 10. Vano strumentazione EBEL.

Il segnale radiometrico misurato deve quindi effettuare diversi passaggi prima di essere archiviato, elaborato e visualizzato presso la sede dell'INGV di Catania. Infatti, il segnale rilevato dal radiometro è convertito dal digitalizzatore Trident (Fig. 11) che, comprime il dato binario (*counts*), al fine di ottimizzare la larghezza di banda utilizzata, e si aggiunge il riferimento temporale fornito dal Nanometrics Janus [Nanometrics Inc, 2002].



Figura 11. Il digitalizzatore Nanometrics Trident.

Il dato così trasformato, è inviato al Nanometrics Janus che si occupa del suo incapsulamento in pacchetti UDP pronti per essere spediti attraverso un'interfaccia seriale o ethernet [Nanometrics Inc, 2003]. La trasmissione dei dati acquisiti avviene usufruendo di un link radio UHF tra la stazione e la sede CUAD utilizzando delle radio *Nanometrics Telesto* con larghezza di banda di 19200 bps che risulta adeguata all'invio dei dati acquisiti dalla stazione. I pacchetti, una volta trasmessi al CUAD sono immessi nella rete

locale intranet utilizzando un apparato che converte i dati ricevuti dalla porta seriale, in pacchetti UDP, per il loro successivo invio al server di acquisizione principale dei dati sismici denominato ADNAQS. Quest'ultimo provvede all'archiviazione temporanea su dei file ciclici chiamati *ringbuffers* e come in una struttura a coda circolare, le informazioni più vecchie vengono sovrascritte da quelle più recenti. Il dato in un file *ring* rimane per circa 8 giorni prima di essere sovrascritto. Il flusso dei dati radiometrici viene comunque duplicato per essere inviato ad un altro server gestito dal gruppo geochimica utilizzando il software *Nanometrics Internaqs*. Nel server di geochimica il dato in formato compresso viene convertito e salvato in file binari di 1 minuto in formato SUDS e infine inviato in un NAS per l'archiviazione, la successiva elaborazione e visualizzazione. La figura 12 illustra il percorso che il segnale radiometrico compie dalla stazione remota fino all'acquisizione e visualizzazione all'Osservatorio Etneo di Catania.

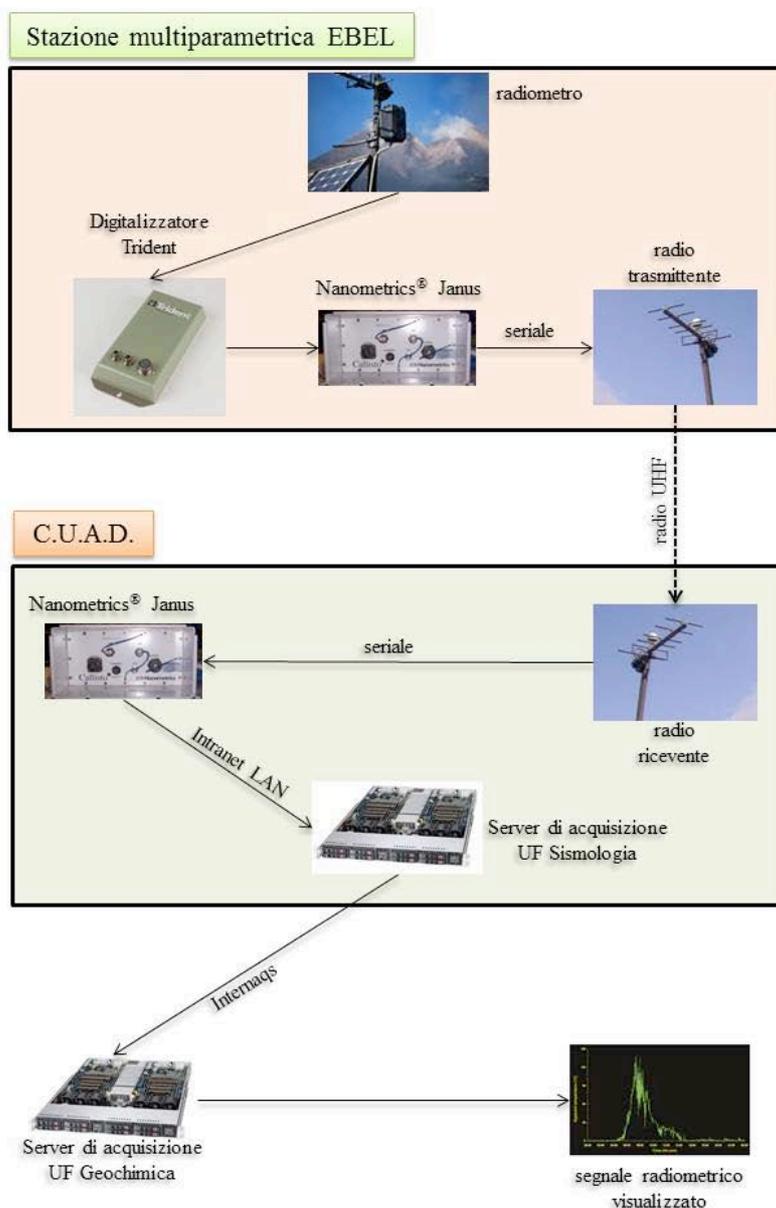


Figura 12. Il percorso effettuato dal segnale radiometrico dal sito di acquisizione (EBEL) alla sua visualizzazione finale presso l'INGV di Catania.

5. Archiviazione e visualizzazione del dato

Come accennato nel paragrafo precedente il flusso di dati viene archiviato in file binari contenenti buffer di un minuto. Il dato grezzo (detto dato *raw*) viene elaborato al fine di ottenere una serie temporale i cui campioni rappresentano la media dei valori calcolati su un intervallo temporale di 60 secondi. I valori così ottenuti sono convertiti da *counts* a mV, salvati all'interno di file ASCII giornalieri ed organizzati al fine di essere archiviati all'interno del database di sezione. Tale operazione è effettuata mediante un processo di caricamento (processo *loader*) che inserisce in automatico i dati presenti nei file ASCII all'interno del database. Lo schema a blocchi semplificato è riportato in Fig. 13. In particolare il sistema di archiviazione impiegato fa uso del Relational Database Management System (RDBMS) *opensource* MySQL [MySQL, 2013]. I dati all'interno del database sono logicamente connessi ai canali di acquisizione del sensore radiometrico archiviati all'interno della banca dati della rete strumentale dell'INGV-OE [Aliotta et al., 2010].

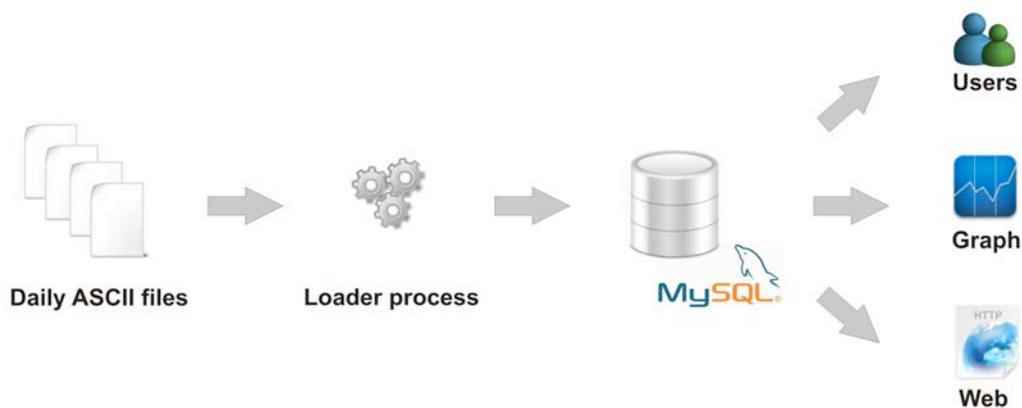
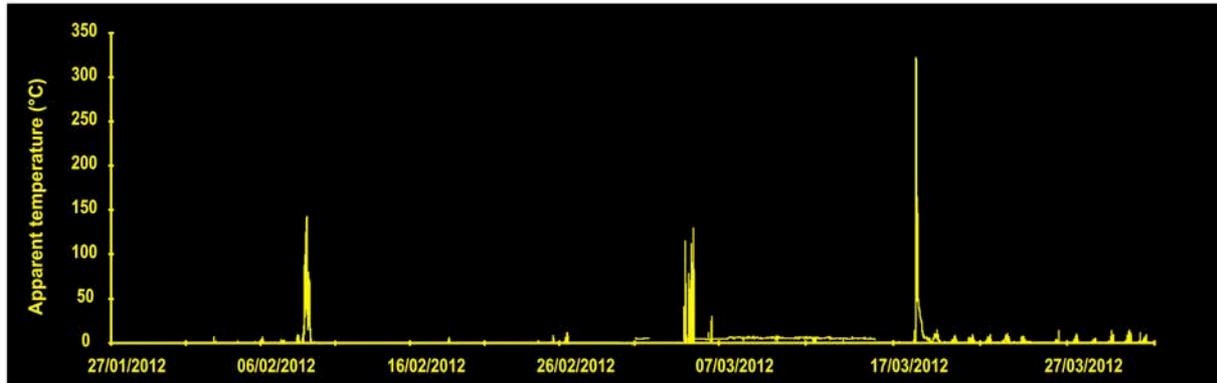


Figura 13. Schema a blocchi del sistema di interrogazione e visualizzazione del dato dal database.

Per la visualizzazione del dato termico archiviato nei file ASCII giornalieri, l'informazione è ulteriormente convertita da mV in °C. Il software impiegato per la visualizzazione è stato realizzato in modo da generare dei file immagine della serie dei dati considerando una finestra temporale di larghezza prefissata, comunque modificabile, con aggiornamento automatico ad intervalli prefissati dall'utente. La fruibilità del dato è garantita mediante l'impiego di una pagina WEB (Fig. 14) in cui viene riportato l'ultimo grafico disponibile ed un'immagine del sito presa da Google Earth. Quest'ultima riporta schematicamente la zona del Nuovo Cratere di Sud-Est inquadrata dal radiometro. Il grafico, fornito dal visualizzatore del dato, viene aggiornato ogni 60 secondi. Un opportuno programma di sincronizzazione presiede all'aggiornamento del grafico sul sito intranet, nel quale è presente la pagina WEB predisposta.

Dati Radiometro EBEL

GRAFICO: Radiometro EBEL su Nuovo Cratere di Sud Est



Localizzazione Radiometro EBEL



Figura 14. Pagina WEB nel sito intranet dell'INGV-OE che mostra in grafico il dato radiometrico ed in mappa la collocazione ed il campo di vista dello strumento (pallino giallo e linee gialle, rispettivamente).

6. Risultati

Tra novembre 2011 e marzo 2012, l'utilizzo della stazione radiometrica ha permesso di dettagliare l'attività eruttiva del NCSE fornendo dati di temperatura apparente ad alta risoluzione temporale e da breve distanza (~900 metri) inerenti agli episodi parossistici alimentati da questo cratere, e fornendo informazioni complementari a quelle acquisite dalle telecamere termiche di sorveglianza. La figura 15 mostra che nel

periodo compreso tra febbraio ed marzo 2012, il dato di temperatura è stato caratterizzato da tre incrementi associati agli eventi parossistici prodotti dal NCSE il 9 febbraio, il 4 ed il 17 marzo. In particolare, i tre incrementi di temperatura sono stati prodotti da fasi di fontanamento di lava, mentre i picchi di ampiezza minore che precedono e seguono le fontane del 9 febbraio e del 4 marzo, sono stati prodotti da attività esplosiva di tipo stromboliano. Le oscillazioni registrate tra l'evento di fontana del 18 marzo e la fine del mese sono invece probabilmente imputabili a variazioni di temperatura dovute al surriscaldamento e rilascio termico del cono nel corso della giornata, evidenziate dalle migliori condizioni meteo e in seguito alla variazione morfologica del NCSE. Difatti, l'accrescimento del cono dovuto alla sua attività eruttiva, ha fatto sì che la parte sommitale dell'edificio ricadesse all'interno del campo di vista del radiometro. Conseguentemente, questo ha causato l'osservazione degli incrementi di temperatura giornalieri dovuti alle fasi di rilascio termico dalle pareti sommitali del cono. La natura di queste oscillazioni è comprovata dall'orario di accadimento di queste ultime, comprese sistematicamente tra le 10:00 e le 15:00 (GMT). La figura 15 mostra il dettaglio della variazione di temperatura registrata durante l'evento di fontana di lava del 4 marzo 2012. Il grafico mostra l'andamento della temperatura apparente che in tre ore circa, passa da valori medi prossimi allo zero a ~ 150 °C, per poi diminuire gradualmente a valori di fondo in sette ore circa. La combinazione del segnale radiometrico con osservazioni vulcanologiche dirette e dalla rete delle telecamere di sorveglianza hanno permesso di discriminare l'inizio dell'attività eruttiva (~ 4:30 GMT), il passaggio da attività stromboliana (STR) a quella di fontanamento di lava (LF; ~ 6:40 GMT) e di graduale esaurimento dell'episodio parossistico dalle 9:50 GMT circa [INGV - Boll. Sett., 2012].

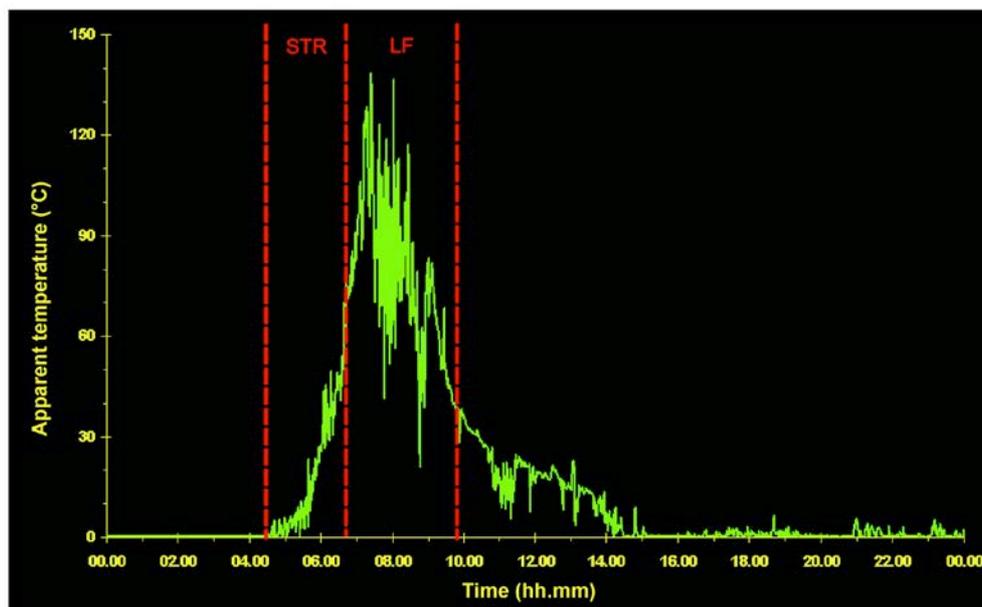


Figura 15. Dettaglio della variazione di temperatura apparente associata all'evento parossistico del 4 marzo 2012 (GMT). Le linee tratteggiate-rosse delimitano le fasi principali dell'attività eruttiva (STR: attività stromboliana; LF: fontana di lava).

7. Conclusioni

L'elevata risoluzione temporale del segnale radiometrico ha permesso la caratterizzazione degli eventi parossistici verificatisi all'Etna nel 2012-2013. L'integrazione di un sensore all'infrarosso come componente della stazione multi parametrica sismica-infrasonica potrebbe stabilmente contribuire allo studio di dettaglio delle dinamiche di degassamento dei crateri dell'Etna. Infatti, l'integrazione di questi dati con quelli geofisici e geochimici potrebbe offrire l'opportunità di tracciare e vincolare i parametri che governano l'innesco e l'evoluzione di fasi parossistiche, utile per la modellizzazione dell'attività eruttiva.

Ringraziamenti

Il progetto è stato finanziato su fondi APQ Sicilia, 'Progetto di estensione e potenziamento dei sistemi di monitoraggio vulcanico e sismico della Sicilia'. Gli autori ringraziano E. Privitera per la collaborazione scientifica, S. Di Prima per l'utilizzo del laboratorio di Sismologia e F. Ferrari per la visualizzazione del segnale ad alta frequenza e per il suo RMS. L. Spampinato ringrazia S. Giammanco per aver finanziato la sua attività di ricerca su fondi VIGOR (Valutazione del potenziale Geotermico delle regioni della convergenza). Si ringrazia inoltre il *referee* C. Spinetti per i preziosi consigli e suggerimenti forniti.

Bibliografia

- Aliotta M., Montalto P., Prestifilippo M., Cannata A., D'Agostino M., Ferrari F. e Torrisi O., (2010). *Banca dati per la gestione delle reti strumentali in dotazione all' INGV - Sezione di Catania: dalla progettazione concettuale al software applicativo*. Rapporti Tecnici INGV, 153.
- Branan Y.K., Harris A., Watson I.M., Phillips J.C., Horton K., Williams-Jones G., Garbeil H., (2008). *Investigation of at-vent dynamics and dilution using thermal infrared radiometers at Masaya volcano, Nicaragua*. J. Volcanol. Geother. Res., 169, pp. 34–47.
- Burgi P.Y., Caillet M., Haefeli S., (2002). *Field temperature measurements at Erta 'Ale Lava Lake, Ethiopia*. Bull. Volcanol., 64, pp. 472–485.
- Flynn L.P., Mougini-Mark P.J., Gradie J.C., Lucey P.G., (1993). *Radiative temperature measurements at Kupaianaha lava lake, Kīlauea volcano, Hawai'i*. J. Geophys. Res., 98, 6461–6476.
- Francis P.W., (1979). *Infra-red techniques for volcano monitoring and prediction — a review*. J. Geol. Soc. Lond., 136, pp. 355–359.
- Geraci A. L., La Rosa G., Caltabiano T., Lo Giudice E. (1985), *Monitoring of ground fractures caused by volcanic eruption using remote sensing techniques*. Proc. EARSel/ESA Symp. European Remote Sensing Opportunities, Strasbourg, 31 March-3 April, 221-227..

- Harris A.J.L. and Ripepe M., (2007). *Temperature and dynamics of degassing at Stromboli*. J. Geophys. Res., 112, B03205. doi:10.1029/2006JB004393.
- Harris A., Pirie D., Horton K., Garbeil H., Pilger E., Ramm H., Hoblitt R., Thomber C., Ripepe M., Marchetti E., Poggi P., (2005). *DUCKS: low cost thermal monitoring units for near-vent deployment*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 143, pp. 335–360.
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), (2012). *Bollettino settimanale sul monitoraggio vulcanico, geochimico e sismico del vulcano Etna*. 27/02/2012 - 04/03/2012, (data emissione 06/03/2012), Rep. N° 10/2012.
- Lombardo V., Silvestri M., Spinetti C., (2011). *Near real-time routine for volcano monitoring using infrared satellite data*. Annals of Geophysics, 54, 5, 2011; doi: 10.4401/ag-5336
- MySQL 5.0, (2013). *Reference Manual* (<http://dev.mysql.com/doc/#refman>)
- Nanometrics Inc, (2002). *Trident Digitizer User Guide*. Part Number 14591R1.
- Nanometrics Inc, (2003). *Janus Communications Controller User Guide*. Part Number 14204R2.
- Nanometrics Inc, (2004). *Manometrics Libra System Hardware Manuals*. Part Number 15020R1.
- Oppenheimer C.M.M. and Rothery D.A., (1991). *Infrared monitoring of volcanoes by satellite*. J. Geol. Soc. London, 148, pp. 563–569.
- Optris[®], (2002). *Optris CT - Infrared Sensor. Operators manual*. Optris CT – E2010-12-B
- Spampinato L., Calvari S., Oppenheimer C., Boschi E., (2011). *Vulcano surveillance using infrared cameras*. Earth Scie. Rev., 106, pp. 63-91.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2013 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