

# Rapporti tecnici

## INGV

**Radiosondaggi atmosferici  
nell'area etnea**

# 193



Istituto Nazionale di  
Geofisica e Vulcanologia

**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

## RADIOSONDAGGI ATMOSFERICI NELL'AREA ETNEA

Mauro Coltelli, Michele Prestifilippo, Simona Scollo, Gaetano Spata

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

# 193



## **Indice**

|  |    |
|--|----|
| Introduzione                                       | 5  |
| 1. Caratteristiche tecniche delle sonde utilizzate | 6  |
| 2. Tipologie di lancio                             | 6  |
| 3. Richiesta dell'autorizzazione                   | 9  |
| 4. Radiosondaggio del 1 ottobre 2009               | 9  |
| 5. Risultati e Conclusioni                         | 11 |
| Ringraziamenti                                     | 15 |
| Bibliografia                                       | 15 |



## Introduzione

Il **radiosondaggio** è l'unico strumento in grado di effettuare una misura sperimentale della struttura verticale dell'aria. Esso fornisce, infatti, il profilo verticale di temperatura, umidità relativa, forza e direzione del vento per una serie di livelli di pressione dal suolo fino ad un'altezza di circa 25 km.

In Sicilia, lanci di palloni di radiosondaggio sono effettuati in maniera sistematica, almeno due volte al giorno, presso la stazione meteorologica di Trapani Birgi, afferente al Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, ed alla rete di radiosondaggi dell'organizzazione meteorologica mondiale WMO (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>). Tali dati sono stati utilizzati per studiare il processo di dispersione e di sedimentazione delle ceneri vulcaniche emesse dall'Etna in atmosfera, permettendo la realizzazione di mappe di pericolosità tramite l'applicazione di modelli previsionali (e.g. [Scollo et al., 2006]), e la verifica delle previsioni meteorologiche fornite dai modelli meteorologici ad alta risoluzione (e.g. [Scollo et al., 2010]). Inoltre sono stati anche utilizzati per il calcolo dell'altezza della colonna eruttiva estratta dall'analisi delle immagini satellitari (e.g. [Corradini et al., 2008]). I profili atmosferici sono un parametro fondamentale per la rivelazione e stima delle ceneri e dei gas presenti nelle nubi vulcaniche utilizzando strumentazione satellitare (e.g. [Corradini et al., 2009]). È comunque da sottolineare che la stazione di Trapani Birgi dista circa 220 km dall'Etna ed è quindi ovvio aspettarsi delle differenze tra i profili atmosferici ottenuti dalla stazione di Trapani Birgi e quelli effettuati a Catania, soprattutto per quanto riguarda la porzione più bassa dell'atmosfera chiamata "Planetary Boundary Layer" (Strato Limite Planetario). Questo è dovuto principalmente all'orografia complessa dell'Etna che ne può modificare significativamente i valori. Nasce quindi l'esigenza di avere a disposizione dei dati sperimentali sui profili atmosferici verticali anche in prossimità del nostro vulcano, atti a migliorare le conoscenze della reale dispersione della cenere vulcanica e quindi anche il monitoraggio che l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, della sezione di Catania (INGV-CT) effettua durante l'attività esplosiva dell'Etna. Una migliore caratterizzazione dell'atmosfera permetterà inoltre un miglioramento significativo della rivelazione e stima delle diverse specie presenti nelle nubi vulcaniche utilizzando misure satellitari. L'INGV-CT ha messo a punto recentemente un sistema di monitoraggio e previsione delle ceneri vulcaniche, basato sull'utilizzo di diversi sistemi osservativi capaci di fornire informazioni sulla posizione della nube eruttiva in tempo reale e sull'utilizzo di modelli previsionali in grado di prevedere per due giorni la posizione di tale nube in atmosfera come anche il deposito a terra [Scollo et al., 2009].

I sistemi di osservazione consistono attualmente in:

- telecamere di sorveglianza (posizionate a Catania, Nicolosi, Milo, Schiena dell'Asino e Montagnola) e telecamere termiche (posizionate a Nicolosi e alla Montagnola);
- radar VOLDORAD2B installato presso la Montagnola per la misurazione della velocità di emissione in collaborazione con l'università di Clermont-Ferrand in Francia;
- immagini satellitari del SEVIRI aventi una risoluzione temporale di 15 minuti che permettono di analizzare l'evoluzione temporale delle nubi eruttive in atmosfera;
- tre disdrometri (PLUDIX) capaci di risalire alla velocità di caduta delle ceneri vulcaniche (e quindi alle loro dimensioni) attraverso l'analisi dello spettro doppler delle radiazioni retrodiffusa;
- attività di radiosondaggio descritta nel presente rapporto.

Per quanto riguarda il sistema previsionale, l'INGV-CT lancia giornalmente alcuni modelli di dispersione della cenere vulcanica. Questi sono HAZMAP [Macedonio et al., 2005] e FALL3D [Costa et al., 2006] realizzati dai colleghi dell'Osservatorio Vesuviano, il modello TEPHRA [Bonadonna et al., 2005] ed il PUFF [Searcy et al., 1998]. I risultati di tali modelli hanno un certo grado di incertezza, fortemente legato alle previsioni meteo ed ai dati vulcanologici che vengono introdotti per rappresentare il fenomeno eruttivo.

Lo scopo principale dell'utilizzo dei palloni di radiosondaggio all'Etna è duplice: da una parte serve a verificare l'accuratezza dei modelli meteorologici che sono utilizzati dai modelli di dispersione delle ceneri vulcaniche sopra elencati e dall'altra ad analizzare eventuali differenze con i dati forniti dalla stazione di Trapani Birgi. I lanci possono inoltre permettere, se effettuati durante un'attività esplosiva, di studiare come l'intrusione della colonna eruttiva in atmosfera possa modificarne le proprietà e di misurare la concentrazione di alcuni gas contenuti al suo interno come ad esempio SO<sub>2</sub> (in questo caso i palloni devono essere dotati però di una particolare sonda). Studi di questo tipo sono stati effettuati al momento solo nel 2008 alle Hawaii durante l'eruzione dal cratere Halema'uma'u [Durant et al., 2010].

In questo rapporto tecnico mostriamo il lavoro svolto per realizzare in maniera sistematica sondaggi verticali dell'atmosfera all'Etna. Tale lavoro consiste nell'acquisto degli strumenti adatti a poter effettuare facilmente lanci anche da parte di "non esperti" del settore, nella scelta degli appositi siti di lancio in base alla

doppia finalità precedentemente descritta, nelle procedure svolte per richiedere l'autorizzazione fornita delle autorità competenti. Infine mostreremo i dati ottenuti da uno di questi lanci paragonandoli a quelli provenienti dalla stazione di Trapani Birgi e alle previsioni di uno dei modelli meteorologici utilizzati a Catania.

## 1. Caratteristiche tecniche delle sonde utilizzate

La sonda utilizzata per effettuare i lanci all'Etna è una M2K2 GPSonde della MODEM. È dotata di microprocessori dual core collegati ad un trasmettitore a batteria della potenza di circa 200 mW che invia le misurazioni ad un ricevitore a terra. La sonda è sintonizzata su una banda di frequenza da 400 a 406 MHz ed ha uno step di sintonia di 200 kHz. La trasmissione digitale del segnale alla Ground Station avviene alla frequenza di 1 Hz. La posizione è determinata grazie alla presenza di un GPS integrato che permette di conoscere la latitudine, la longitudine e la quota. La sonda è collegata ad un pallone aerostatico di circa 1.5 metri di diametro riempito d'elio (Figura 1).

Durante la salita della radiosonda ad una velocità di circa 200 metri al minuto, i sensori a bordo misurano il profilo di pressione, la temperatura e l'umidità relativa. Il volo della radiosonda può durare anche più di due ore, e durante questo tempo la radiosonda può salire anche oltre i 30000 m di quota e traslare più di 200 km dal punto di rilascio. Durante il volo la radiosonda è esposta a temperature anche di -90°C ad una pressione di alcune migliaia di volte inferiore a quella atmosferica.

Il lancio è considerato accettabile solo se raggiunge i 400 hPa. Se ciò non avviene, o se mancano più di sei minuti di tracciato radio, il lancio viene considerato fallito. Maggiori dettagli delle caratteristiche della sonda possono essere trovati in <http://www.meteomodem.com>.



**Figura 1.** Sonda e pallone lanciato durante il primo test presso la stazione di Trapani Birgi.

## 2. Tipologie di lancio

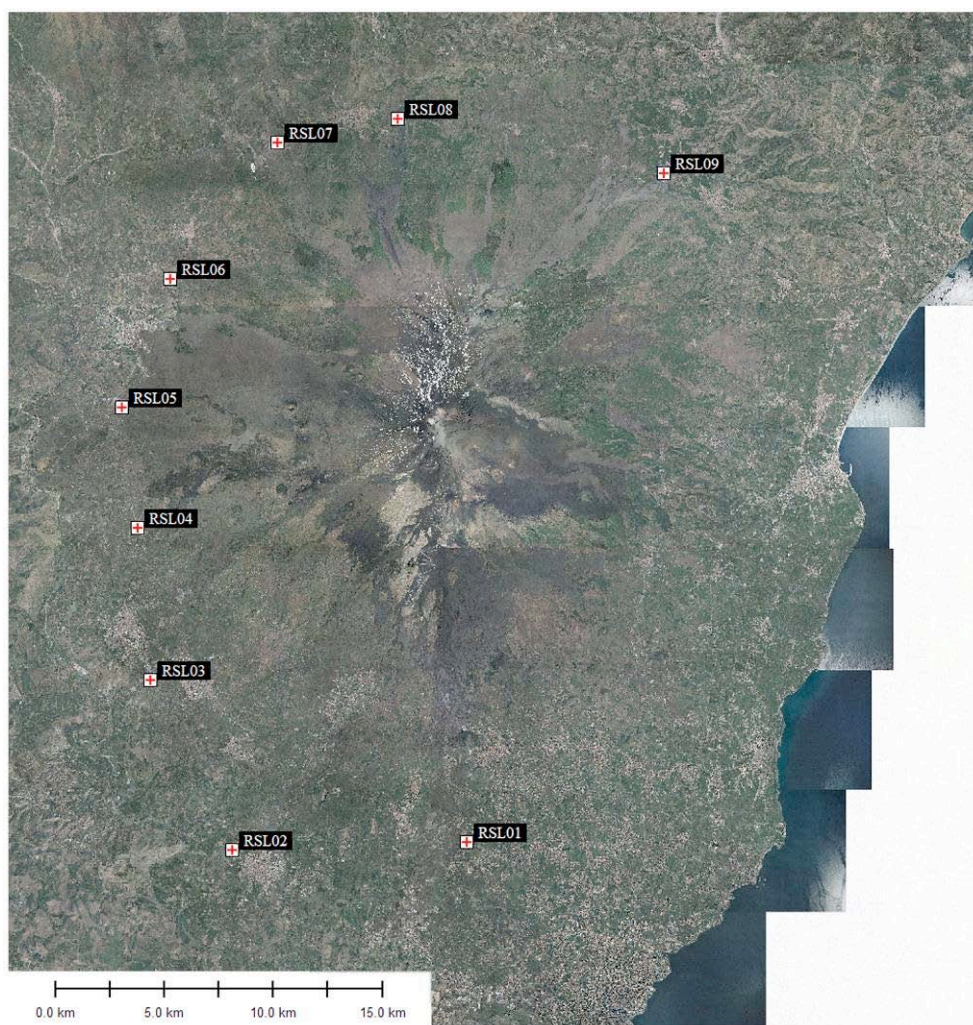
Per il lancio dei suddetti palloni sonda sono state previste due tipologie di attività:

- *ordinaria*: sono lanci in direzione dei crateri sommitali del vulcano per rilevare, in condizioni ordinarie, le caratteristiche dell'atmosfera in assenza di fenomeni vulcanici significativi. L'obiettivo è quello di verificare l'applicabilità del radiosondaggio di Trapani all'Etna e verificare le previsioni meteorologiche fornite dal CNMCA di Roma e dall'ARPA-SIM che l'INGV-CT utilizza per modellizzare la dispersione delle ceneri vulcaniche in atmosfera.



- *straordinaria*: sono lanci in direzione della nube, effettuati in condizioni di fenomeni vulcanici rilevanti e con l'attivazione della contingency aeroportuale. L'obiettivo è quello di monitorare le variabili meteorologiche durante le eruzioni esplosive dell'Etna. Le località selezionate sono poste in vicinanza dei crateri sommitali in modo tale che il pallone possa attraversare la nube eruttiva.

Le località di lancio dei palloni hanno caratteristiche tali da poterne consentire l'invio in sicurezza nell'atmosfera. Esse sono diverse e dislocate sul territorio etneo a varie quote. Entrambe le attività previste sono effettuate in condizioni diurne. La scelta del punto di lancio è fatta in funzione della direzione del vento dominante.



**Figura 2.** Posizioni per effettuare i lanci di tipo “ordinario”.

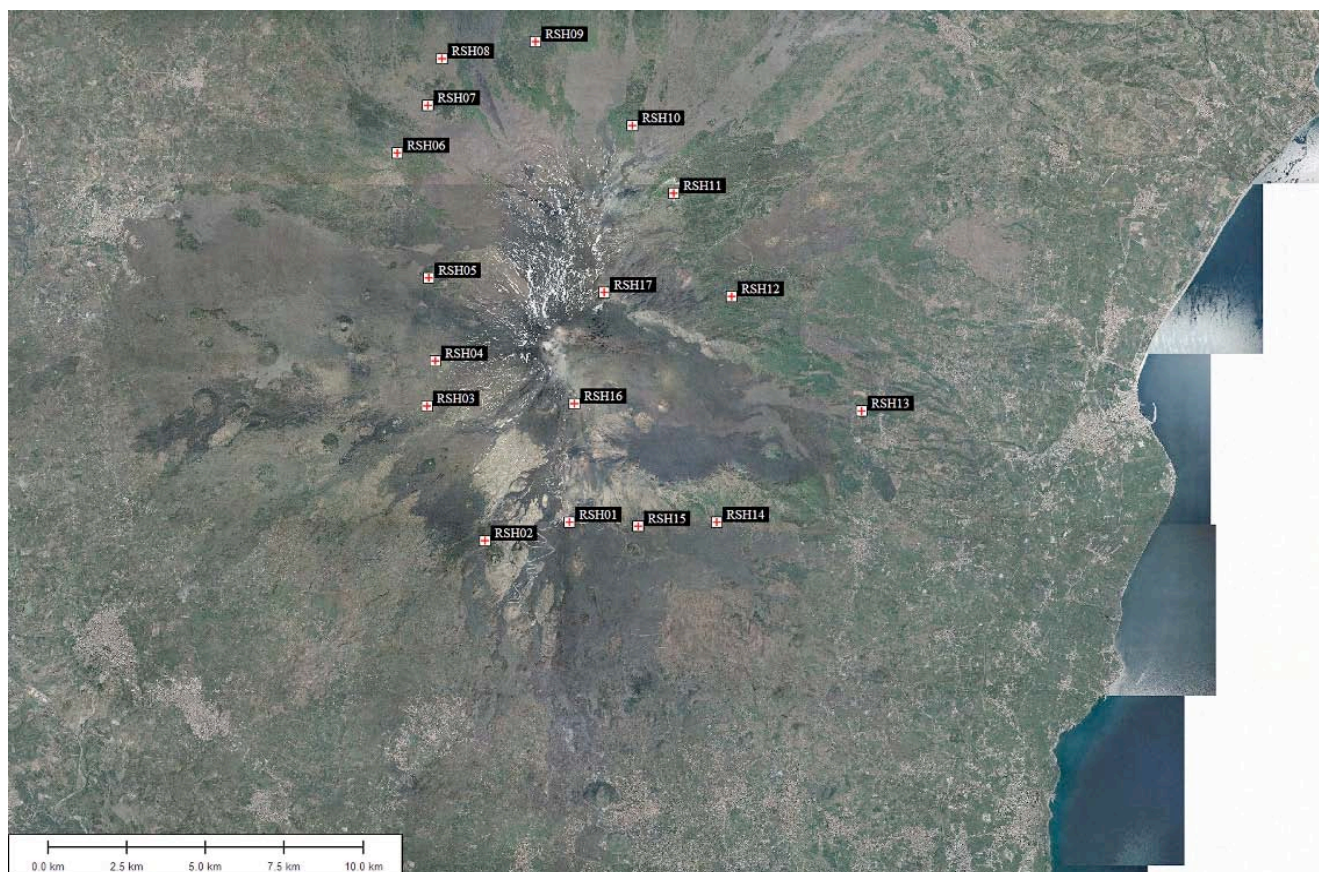


**Figura 3.** Dettaglio della posizione RSL01 per il lancio di tipo “ordinario”.



Riguardo alla richiesta per il lancio ordinario dei palloni di radiosondaggio sono state individuate alcune località intorno al vulcano a quote dell'ordine delle centinaia di metri (Figura 2), In Figura 3 è riportato il posizionamento geografico e una foto di dettaglio del luogo di lancio RSL01. Tali posizioni sono state appositamente scelte dopo opportuni sopralluoghi effettuato in tale zona. Il criterio è stato dettato dalla possibilità di avere almeno quattro punti per quadrante libero da ogni tipo di ostacolo. È da sottolineare come, proprio per questo motivo non sono stati scelti dei punti nel versante orientale, essendo questo settore del vulcano, densamente popolato.

Riguardo alla richiesta per il lancio dei palloni di radiosondaggio di tipo “straordinario” sono state individuate alcune località nella parte prossimale del vulcano in quanto si ha la necessità che il pallone attraversi la nube eruttiva prodotta durante le eruzioni esplosive dell'Etna. La Figura 4 mostra la mappa che riporta il posizionamento geografico mentre in Figura 5 è mostrata una foto di dettaglio della posizione RSH07.



**Figura 4.** Posizioni per effettuare i lanci di tipo “straordinario”.



**Figura 5.** Dettaglio della posizione RSH07 per il lancio di tipo “straordinario”.

### 3. Richiesta dell'autorizzazione

Ogni qual volta bisogna effettuare un lancio, è necessario richiedere l'autorizzazione (Figura 6) per l'emissione del NOTAM (NOTice To AirMen) circa 24 ore prima all'ARO/MET di Catania Fontanarossa, indicando una delle posizioni sopra descritte in cui da cui verrà effettuato il lancio, l'orario di inizio lancio e l'orario di fine lancio. È da sottolineare che nell'intenzione di voler far passare il pallone in prossimità dei crateri per effettuare ad esempio un lancio di tipo ordinario, l'INGV-CT sceglie la postazione più idonea il giorno precedente al lancio utilizzando le previsioni del vento. Tutti questi punti sono stati approvati nel documento n. 55666/ENAC/CCT, che permette all'INGV di effettuare l'attività di radiosondaggio atmosferico in area etnea a tempo indeterminato.

Una volta emesso il NOTAM il giorno seguente si è pronti ad effettuare il lancio. La posizione del pallone deve essere continuamente rilevata e monitorata dal personale dell'INGV-CT e trasferita ai rispettivi enti ATS e all'UMA di Sigonella per le azioni di competenza.



|  |   |   |  |   |  |
|--|---|---|--|---|--|
|                                       |   |  |  | Piazza Roma, 2<br>95123 Catania<br>Tel. 095/7165800<br>Fax 095/435801<br>P.L.C.F. 06838621004<br>www.ct.ingv.it |  |
| Istituto Nazionale di GEOFISICA VULCANOLOGIA<br>Sezione di Catania   |   |   |  |   |  |
| Appendice 9 Manuale AIS 01/07/2004 PROT <input type="text"/> del <input type="text"/>                                  |   |   |  |   |  |
| RICHIESTA EMISSIONE NOTAM  |   |   |  |   |  |
| DATA(DATE) <input type="text" value="1 OTTOBRE 2009"/>   |   |   |  |   |  |
| RICHIEDENTE (REQUEST FM) <input type="text" value="Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - sez. di Catania"/> |   |   |  |   |  |
| TEL. <input type="text" value="095 7165800/35"/>   |   | FAX <input type="text" value="095 435801"/>                                       |  | E-MAIL <input type="text" value="prestifilippo@ct.ingv.it"/>  |  |
| TO ENAV S.p.A. /CAAV CATANIA   |   |   |  |   |  |
| ARO CATANIA  |   |   |  | FAX <input type="text" value="095 348856"/>   |  |
| NOTAM <input type="text" value="N"/> <input type="text"/>  |   |   |  |   |  |
| (N,R,C) (per R e C indicare serie, numero, anno del NOTAM interessato)   |   |   |  |   |  |
| A  | LOCALITA' ICAO  | LIRR  |  |   |  |
| B  | INIZIO VALIDITA'  | WEF   |  | yyyy mm dd - h:mmm (UTC)<br>2009 10 1 - 1200  |  |
| C  | FINE VALIDITA'  | yyyy mm dd h:mmm (UTC)<br>2009 10 1 - 1400  |  | EST/PERM  |  |
| D  | PERIODO VALIDITA'   |   |  |   |  |
| F  | LIMITE INFERIORE  |   |  |   |  |
| G  | LIMITE SUPERIORE  |   |  |   |  |
| E  | TESTO DEL NOTAM<br>ASCENT OF FREE BALLOON FOR RADIOSOUNDING WILL TAKE<br>PLACE FM SITE NR 04 COOR (3770661N01484012E) R=2km<br>AREA ETNEA. REF. AIP ENR 5.3-1 |   |  |   |  |

Figura 6. NOTAM trasmesso all'ARO/MET.

### 4. Radiosondaggio del 1 ottobre 2009

In questo rapporto descriviamo il lancio effettuato giorno 1 Ottobre 2009 dal punto RSL 04, avente come coordinate 37.71 N e 14.84 E alle ore 12:00 GMT (in corrispondenza del lancio del pallone alla stazione di Trapani Birgi). Il montaggio della postazione mobile compresa l'inizializzazione della Ground Station richiede una tempistica di circa 1 ora (Figura 7). Una volta accertato che il sistema riesce ad individuare il numero minimo di satelliti per funzionare, può essere messo in stand-by, aspettando il tempo stabilito nel NOTAM.



**Figura 7.** Posizionamento dell'antenna GPS e fase di inizializzazione della Ground Station.

Dieci minuti prima di effettuare il lancio viene gonfiato il pallone. Alle 12:00 GMT si chiama l'ARO/MT per confermare che si sta effettuando il lancio. In Figura 8 viene mostrata la procedura normalmente svolta che consiste nel gonfiare ed attaccare il pallone alla sonda, lanciarlo e seguire il suo percorso tramite la Ground Station (Figura 8). I dati sono registrati all'interno della Ground Station per poi essere analizzati successivamente. Durante il radiosondaggio sono effettuate altre tre chiamate all'ARO/CT. Una quando il pallone raggiunge i 3000 m di quota, una quando raggiunge i 6000 m ed infine l'ultima chiamata è quella di chiusura. In tutti questi casi viene sempre riportata la latitudine, la longitudine e la quota raggiunta dal pallone.

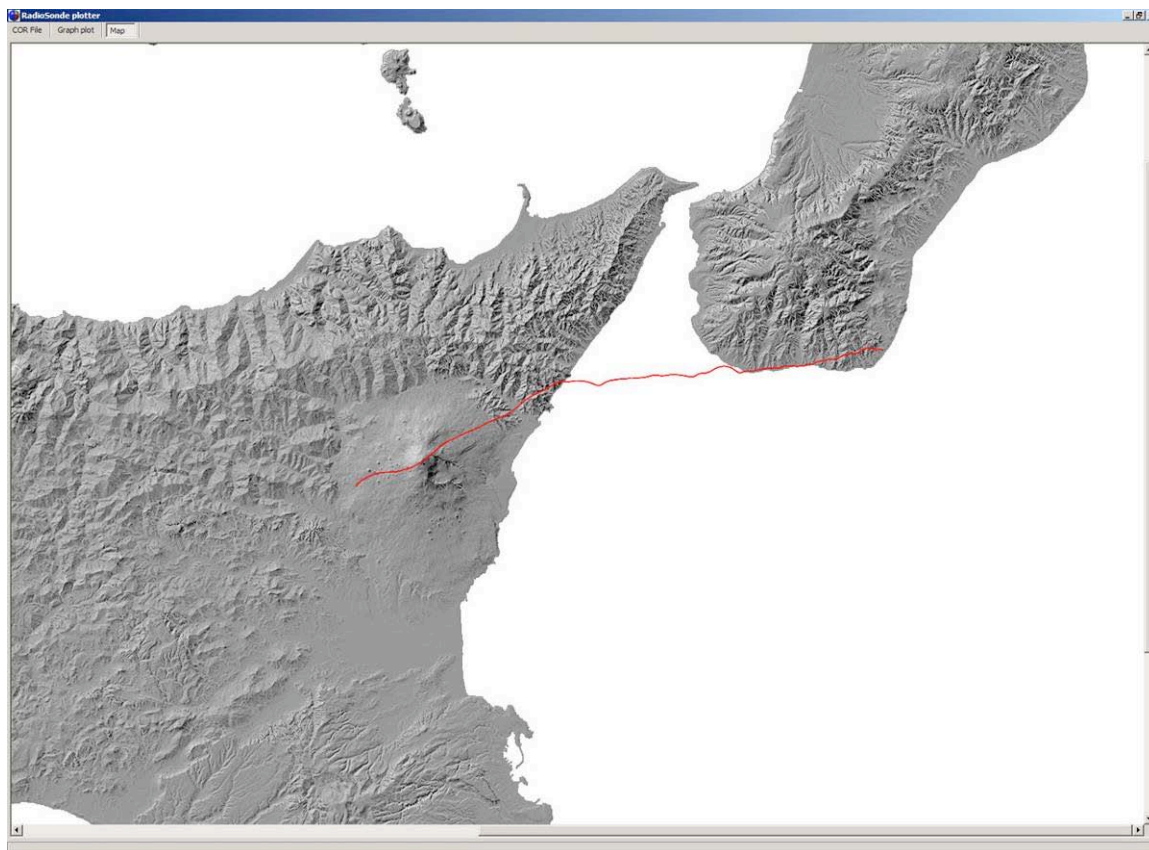


**Figura 8.** Sequenza della procedura effettuata quando si lancia il pallone di radiosondaggio.



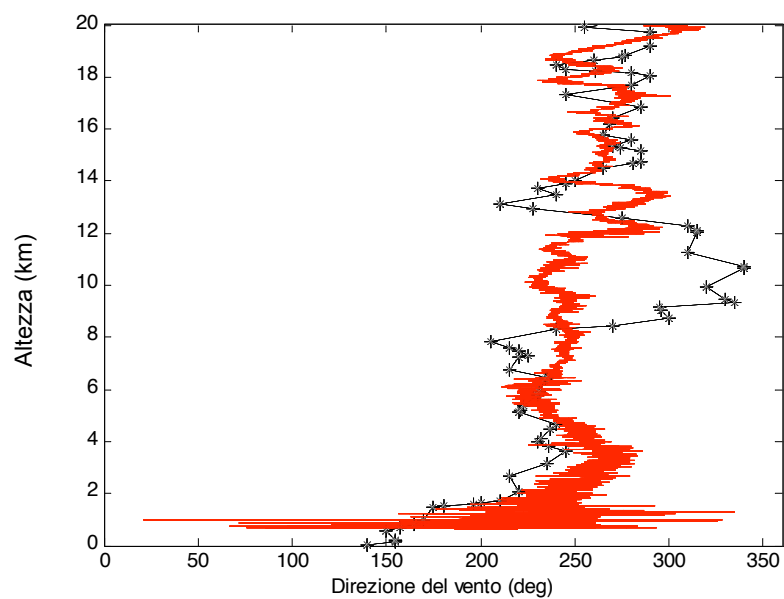
## 5. Risultati e Conclusioni

Una volta che i dati sono stati immagazzinati è possibile fare un'analisi successiva. La Figura 9 mostra il tragitto percorso dal pallone dal momento in cui è stato lanciato dalla posizione RSL 04 fino a quando il segnale è stato completamente perso.

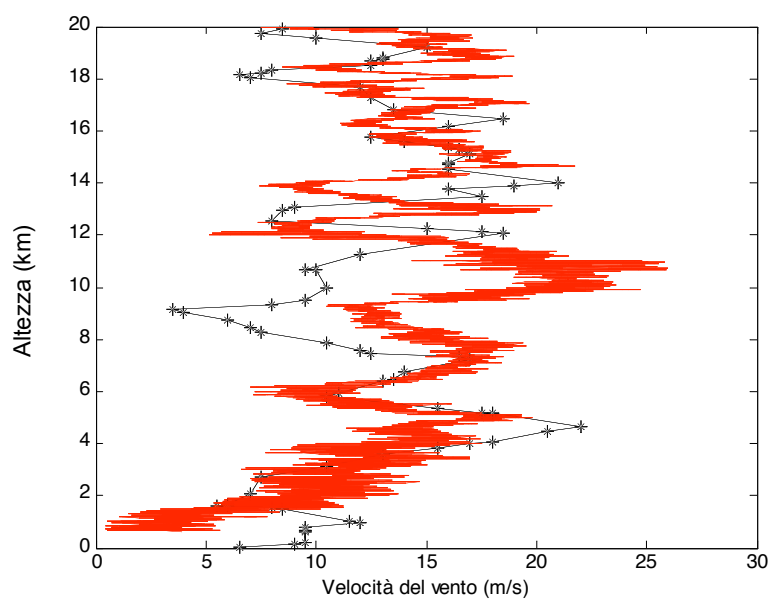


**Figura 9.** Percorso effettuato dal pallone di radiosondaggio il 1 ottobre 2009.

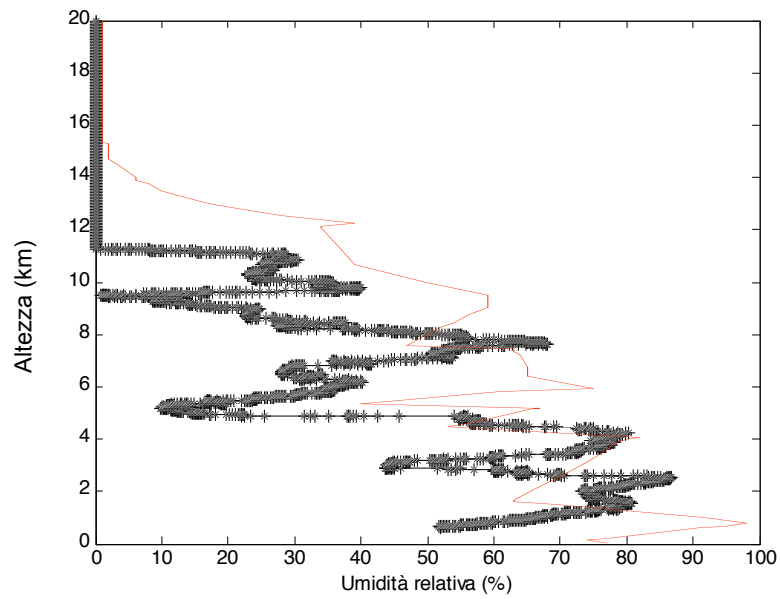
In questo caso il pallone è passato in prossimità dei crateri centrali. È da sottolineare come questo sia stato comunque un caso fortunato mai più verificatosi nei successivi lanci, strettamente legato all'affidabilità delle previsioni meteo. La Figura 10 mostra il confronto tra la direzione del vento misurata dalla stazione di Trapani Birgi e quella misurata sull'Etna. È visibile come elevate differenze siano non solo presenti nello strato limite ma anche in una regione intorno ai 10 km. In tale regione, sono visibili marcate differenze anche della velocità del vento (Figura 11). In Figura 13 e Figura 14 è mostrato il paragone tra la direzione e la velocità del vento misurata all'Etna e quella ottenuta da uno dei modelli di previsione meteorologica che l'INGV-CT giornalmente riceve per simulare la dispersione della cenere vulcanica. Si nota che le differenze nella direzione possono arrivare anche a 35° con un valore medio comunque di 15°, mentre per quanto riguarda le velocità abbiamo differenze di meno di 10 m/s con un valore medio di 4 m/s.



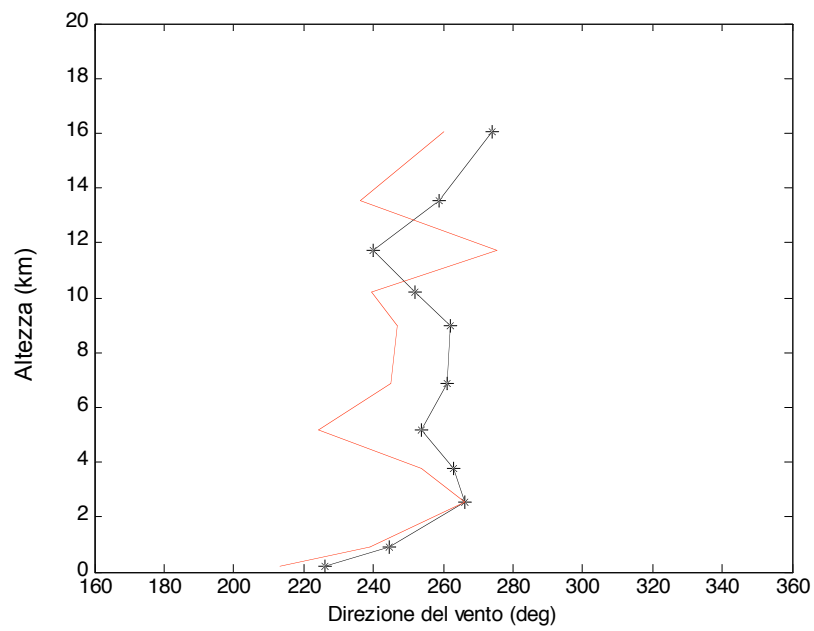
**Figura 10.** Confronto tra la direzione del vento misurata dalla stazione di Trapani Birgi (linea nera) e dalla stazione RSL 04 all'Etna (linea rossa).



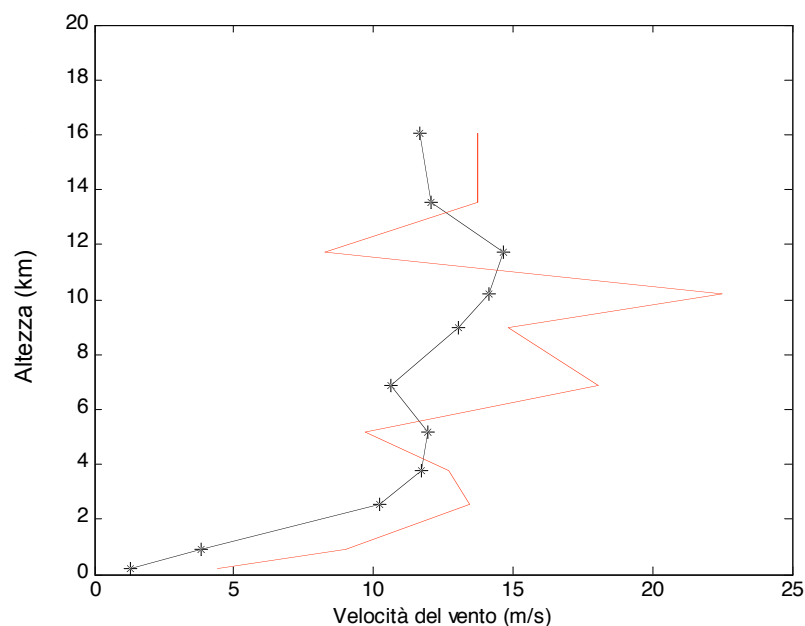
**Figura 11.** Confronto tra la velocità del vento misurata dalla stazione di Trapani Birgi (linea nera) e dalla stazione RSL 04 all'Etna (linea rossa).



**Figura 12.** Confronto tra l'umidità relativa misurata dalla stazione di Trapani Birgi (linea nera) e dalla stazione RSL 04 all'Etna (linea rossa).



**Figura 13.** Confronto tra la direzione del vento ottenuta da un modello di previsione meteorologica (linea nera) e dalla stazione RSL 04 all'Etna (linea rossa).



**Figura 14.** Confronto tra la velocità del vento da un modello di previsione meteorologica (linea nera) e dalla stazione RSL 04 all'Etna (linea rossa).

In conclusione, in questo rapporto tecnico è stata mostrata la procedura che ha permesso e permetterà di effettuare lanci di tipo ordinario e straordinario all'Etna con una certa regolarità. L'analisi preliminare dei risultati ha mostrato come ci siano differenze sia nella direzione che nella velocità del vento rispetto ai dati ottenuti dal radiosondaggio fatto alla stazione di Trapani Birgi e rispetto anche ai risultati delle previsioni meteorologiche che l'INGV-CT usa per prevedere la dispersione delle ceneri vulcaniche all'Etna. In questo contesto misure di questo tipo sono senza dubbio utili poiché produrranno il miglioramento della rilevazione e stima della cenere e dei gas presenti nelle nubi vulcaniche e darà la possibilità di stimare più accuratamente l'incertezza dei risultati forniti dai modelli di dispersione delle ceneri vulcaniche e di migliorare le previsioni meteorologiche all'Etna. In futuro tali dati potranno essere disponibili tramite un'apposita pagina web.



## Ringraziamenti

Si ringrazia Francesco Ciancitto che ci ha aiutato a lanciare il pallone di radiosondaggio, il colonnello Gianluca Di Battista dell'aeronautica militare che ci ha permesso di effettuare il primo lancio nella stazione di Trapani Birgi, Flavio Sgrò, Angelino Migliore, Ernesto Faro e Pino Marino che ci hanno aiutato ad ottenere l'autorizzazione per il lancio dei palloni ed i tecnici della MODEM.

## Bibliografia

Bonadonna, C., Connor, C. B., Houghton, B. F., Sahetapy-Engel, S., Hincks, T., Connor, L., (2005). Probabilistic modeling of tephra dispersion: hazard assessment of a multi-phase rhyolitic eruption at Tarawera, New Zealand. *J. Geophys. Res.* 110, B03203. doi:10.1029/2003JB002896.

Corradini, S., Spinetti, C., Carboni, E., Tirelli, C., Buongiorno M.F., Pugnaghi, S., Gangale, G., (2008). Mt. Etna tropospheric ash retrieval and sensitivity analysis using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer measurements, *Journal of Applied Remote Sensing*, 2, doi: 10.1117/1.3046674.

Corradini S., Merucci L., and Prata A. J., "Retrieval of SO<sub>2</sub> from Thermal Infrared Satellite Measurements: Correction Procedures for the Effects of Volcanic Ash", *Atmos. Meas. Tech.*, 2, 177–191, 2009 [www.atmos-meas-tech.net/2/177/2009/].

Costa, A., G. Macedonio, and A. Folch (2006), A three dimensional Eulerian model for transport and deposition of volcanic ashes, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 241, 634–647.

Durant, A., Voss, P., Watson M., Roberts T., Thomas H., Prata F., Sutton J., Mather T., Witt M., Patrick M., (2010). Real-time in situ measurements of volcanic plume physico-chemical properties using Controlled METeorological balloons, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, EGU General Assembly 2010.

Macedonio, G., A. Costa, and V. Longo (2005), A computer model for volcanic ash fallout and assessment of subsequent hazard, *Comput. Geosci.*, 31, 837–845.

Scollo, S., Bonadonna, C., Coltelli M., Del Carlo, P., (2006). Probabilistic tephra fall-hazard assessment at 665 Etna volcano, Italy, *Cities on Volcanoes 4*, Quito, Ecuador, 22–27 January 2006.

Scollo, S., M. Prestifilippo, G. Spata, M. D'Agostino, and M. Coltelli (2009), Forecasting and Monitoring Etna Volcanic Plumes, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 1573–1585.

Scollo S., Folch A., Coltelli M., Realmuto V.J., (2010), 3D volcanic aerosol dispersal: a comparison between MISR data and numerical simulations, *Journal of Geophysical Research-Atmosphere*, 115, doi:10.1029/2009JD013162.

Searcy, C., Dean, K., Stringer, W., (1998). PUFF: a high-resolution volcanic ash tracking model, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 80, 1–16.



**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2011 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**