

## RESÚMENES DE EXPOSICIONES

### VIGILANCIA DEL PROCESO ERUPTIVO DEL VOLCÁN ETNA A TRAVÉS DEL ESTUDIO DE DATOS SÍSMICOS E INFRASONIDO

Luciano, Zuccarello<sup>1,2</sup>, Silvio De Angelis<sup>2,1</sup>, Vittorio Minio<sup>3</sup>, Salvatore Rapisarda<sup>4</sup>, y Gilberto Saccorotti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Sezione di Pisa, Via Cesare Battisti 53, 56125 Pisa, Italy ([luciano.zuccarello@ingv.it](mailto:luciano.zuccarello@ingv.it); [silvio.deangelis@ingv.it](mailto:silvio.deangelis@ingv.it); [gilberto.saccorotti@ingv.it](mailto:gilberto.saccorotti@ingv.it))

<sup>2</sup> University of Liverpool, Department of Earth, Ocean and Ecological Sciences, 4 Brownlow Street, Liverpool Merseyside L69 3GP, UK. ([S.De-Angelis@liverpool.ac.uk](mailto:S.De-Angelis@liverpool.ac.uk); [lzuc@liverpool.ac.uk](mailto:lzuc@liverpool.ac.uk))

<sup>3</sup> University of Catania, Department of Biological, Geological and Environmental Sciences, Corso Italia 57, 95127 Catania, Italy ([vittoriominio@gmail.com](mailto:vittoriominio@gmail.com))

<sup>4</sup> Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Sezione di Catania - Osservatorio Etneo, Piazza Roma 2, 95123 Catania, Italy ([salvatore.rapisarda@ingv.it](mailto:salvatore.rapisarda@ingv.it))

**Palabras claves:** *array sísmicos, array infrasonidos, volcán Etna, señales sísmoacústicas, vigilancia sísmoacústica.*

#### Resumen de la presentación:

Los análisis conjuntos del campo de ondas acústicas y sísmicas en áreas volcánicas pueden dar importantes indicaciones sobre los parámetros de las fuentes de las señales sísmoacústicas, mejorando nuestra comprensión sobre la dinámica eruptiva y, por tanto, del estado de *unrest* de un volcán (De Angelis et al., 2019; 2020). Para lograr estos resultados, se han desarrollado técnicas para caracterizar las propiedades cinemáticas del campo de ondas (Saccorotti et al., 2004).

El monitoreo continuo de las señales sísmoacústicas, y también de sus propiedades cinemáticas, es muy importante para fines de vigilancia, pero, rápidamente, conduce a la acumulación de un gran volumen de datos, por lo que es crucial la extracción rápida de los parámetros de interés y la automatización de los procesos (Bueno et al., 2020). Sin embargo, la sismicidad y la actividad infrasónica adquirida en un volcán, como tremores volcánicos e infrasónicos o eventos sísmicos de largo y muy largo período, así como las señales explosivas, presentan primeras llegadas emergentes difíciles de identificar o completamente ausentes (Saccorotti et al., 2021; Zuccarello et al., 2013). Estas características, junto con los problemas derivados de la complejidad estructural y morfológica, propia de los edificios volcánicos (Zuccarello et al., 2016), han estimulado, en el último decenio, la implementación de nuevas técnicas de adquisición y procesamiento específicas para el tratamiento de señales sísmoacústicas de origen

## RESÚMENES DE EXPOSICIONES

volcánico, las cuales se basan en el uso de densos agregados de estaciones llamados *arrays*.

El volcán Etna, Italia, es un laboratorio natural que ofrece una oportunidad única para analizar datos sísmicos y acústicos para implementar y validar un nuevo método multicanal para monitorear las actividades volcánicas. Este volcán de múltiples cráteres (Figura 1) representa un desafío para comprender el momento, estilo y evolución de la actividad eruptiva que puede cambiar entre diferentes cráteres durante un solo evento eruptivo (Di Lieto et al., 2007). Esto se observa con frecuencia en el Etna, donde los cambios en la ubicación de la actividad corresponden a cambios en el estilo, intensidad y mecanismos de la erupción. Sin embargo, el vínculo entre estos cambios y los mecanismos de migración de magma dentro del sistema de alimentación poco profundos sigue sin estar claro.

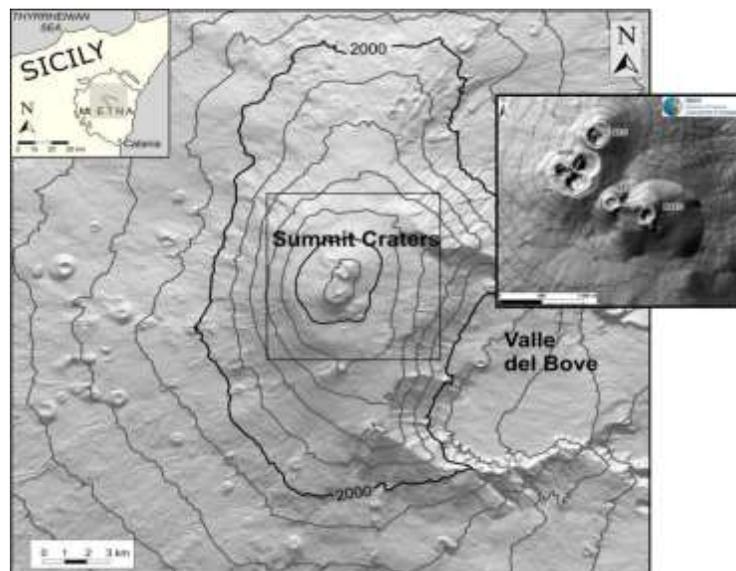


Figura 1.- Mapa del volcán Etna y de sus diferentes cráteres activos.

En este trabajo presentamos algunos resultados obtenidos mediante la aplicación de técnicas multicanal (*array*) para el análisis del campo de ondas sísmicas y acústicas, generadas durante algunas de las actividades eruptivas más intensas en el Etna (Figura 2). A través de una GUI MATLAB (*Graphical User Interface*), denominada MISARA (*Matlab Interface for Seismic Acoustic aRray Analysis*), desarrollada por nosotros para el análisis de datos, estimamos la dirección y velocidad de propagación del campo de ondas generado, así como sus variaciones. Estos resultados destacaron la capacidad de las técnicas multicanal para rastrear con precisión la posición de las fuentes

## RESÚMENES DE EXPOSICIONES

sismoacústicas generadas por la dinámica magmática dentro del sistema de plomería, ofreciendo así un soporte válido para el monitoreo y vigilancia de volcanes activos.

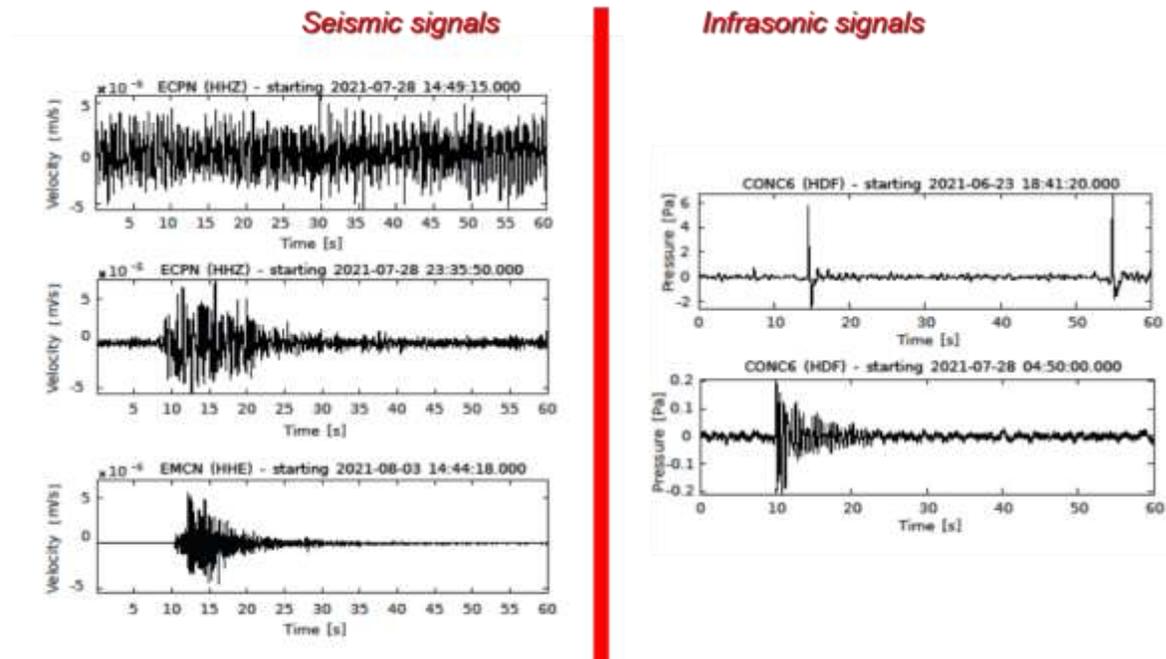


Figura 2.- Ejemplo de forma de ondas sísmicas y acústicas adquiridas en el Etna.

MISARA se basa principalmente en la combinación de varias técnicas de análisis, incluidas técnicas espectrales, de amplitud, de correlación, de polarización y de localización de la fuente. Por lo tanto, está diseñado para apoyar la visualización, caracterización, detección y localización de diferentes señales sismoacústicas de los volcanes. Su estructura modular intuitiva facilita la inspección inmediata de los resultados. La integración de pasos automáticos y activos mejora también la eficiencia del procesamiento de datos y reduce los esfuerzos del usuario.

Los *arrays* multiparamétricos ofrecen numerosas ventajas, ya que permiten una caracterización continua y completa del campo de ondas y su intensidad relacionados con los procesos dinámicos en las porciones más superficiales del sistema de alimentación de un volcán.

A través del monitoreo de las señales sísmicas de la actividad eruptiva mostramos que la migración de la fuente sísmica anticipa el inicio de la fase más intensa de la erupción y define una ruta para el flujo de magma entre diferentes ubicaciones de los cráteres.. Nuestros resultados apoyan un modelo de un sistema de alimentación poco profundo conectado en Etna, y sugieren que los cambios en la ubicación de la fuente representan una alerta temprana eficaz para las fases más intensas de la erupción (Figura 3).

### Instituto Geofísico del Perú (IGP)

Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL)

Urb. La Marina B-19, Cayma-Arequipa | +51 54 251373 | [www.gob.pe/igp](http://www.gob.pe/igp)

**RESÚMENES DE EXPOSICIONES**

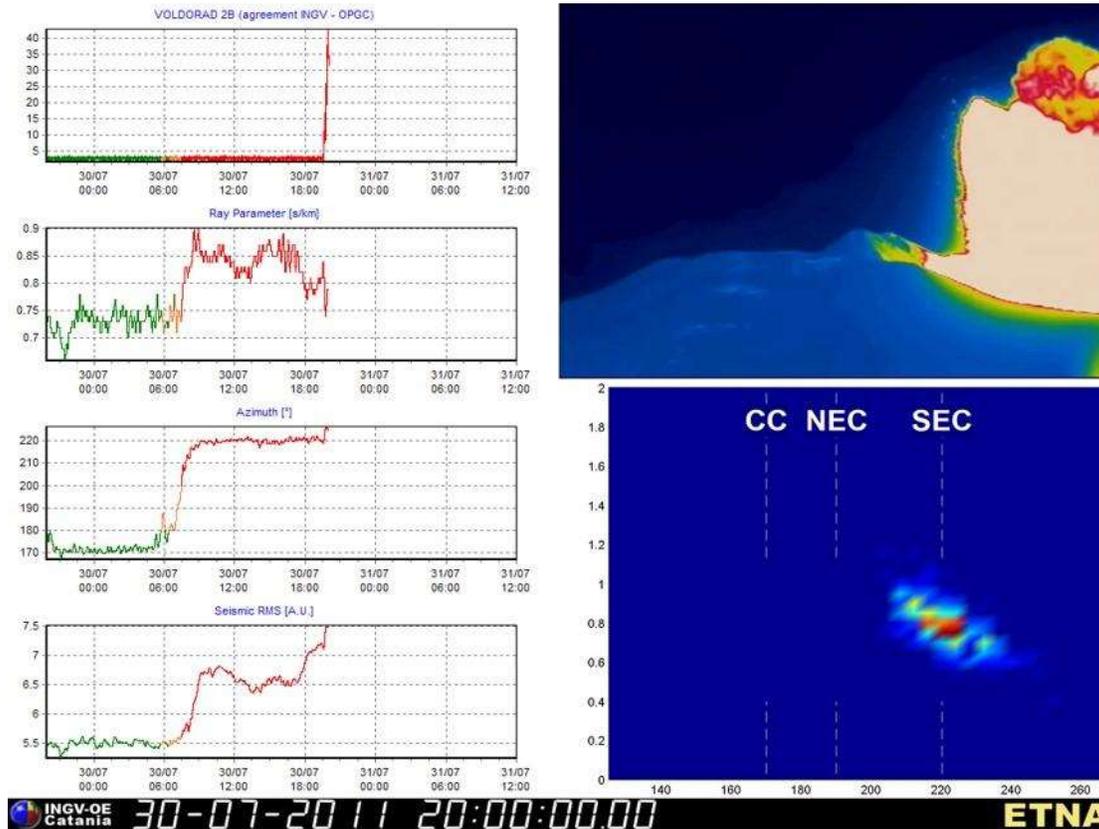


Figura 3.- Monitoreo de la migración de la fuente sísmica del tremor volcánico asociada a la actividad eruptiva del Etna.

Además, nuestros resultados demuestran que el uso de *array* infrasónico permite detectar y rastrear fuentes acústicas de múltiples cráteres activos asociados con explosiones de desgasificación y ricas en cenizas (Díaz et al., 2019), actividad estromboliana vigorosa y frecuente, apertura de nuevas fracturas eruptivas y emplazamiento de flujos de lava (Figura 4). Los análisis conjuntos de los datos sísmicos e infrasonido ofrecen una herramienta simple y eficaz para rastrear la evolución temporal de la actividad volcánica y para ayudar con el monitoreo de volcanes en tiempo real, así como el potencial para generar modelos de los procesos que controlan la desgasificación y erupción en los volcanes (De Angelis et al., 2021).

## RESÚMENES DE EXPOSICIONES

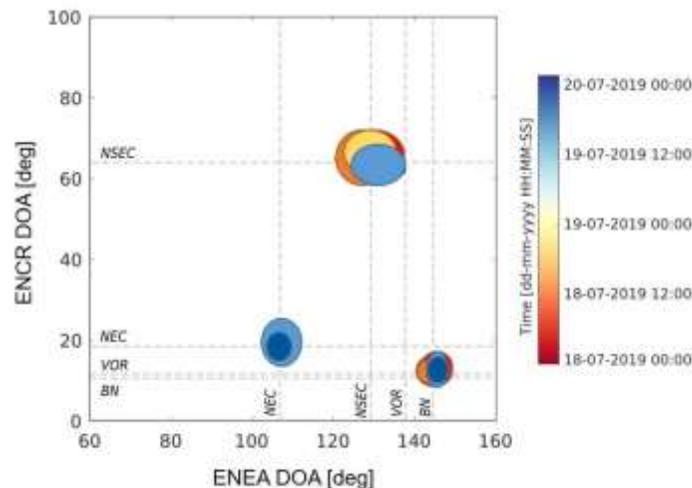


Figura 4.- Detección a través del análisis de array de las fuentes acústicas de múltiples cráteres activos asociados con la actividad explosiva.

En conclusión, a través del cálculo del llamado Parámetro Infrasónico (IP), asociado a la localización de la fuente sísmica, podemos obtener información útil sobre el estado del *unrest* de un volcán durante una intensa actividad eruptiva (De Angelis et al., 2020), y también evaluar en tiempo real de los niveles de alerta, con el propósito de una alerta temprana para la mitigación del riesgo volcánico.

### Enlace web:

- <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2020.104531>
- <https://doi.org/10.3390/rs11111302>.
- <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00169>
- <https://doi.org/10.1038/s41597-021-01030-6>
- <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2007.03316.x>
- <https://doi.org/10.1029/2019GL084598>
- <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2004.04.003>
- <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818082-2.00002-0>
- <https://doi.org/10.1002/jgrb.50363>
- <https://doi.org/10.4401/ag-7086>

### Referencias bibliográficas:

- Bueno, A., Zuccarello, L., Díaz-Moreno, A., Woollam, J., Titos, M., Benitez, C., Álvarez, I., Prudencio, J., De Angelis, S., 2020. PICOSS: Python Interface for the

### Instituto Geofísico del Perú (IGP)

Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL)

Urb. La Marina B-19, Cayma-Arequipa | +51 54 251373 | [www.gob.pe/igp](http://www.gob.pe/igp)

## RESÚMENES DE EXPOSICIONES

- Classification of Seismic Signals. *Computers & Geosciences*, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2020.104531>.
- De Angelis, S., Diaz-Moreno, A., Zuccarello, L., 2019. Recent Developments and Applications of Acoustic Infrasound to Monitor Volcanic Emissions. *Remote Sensing*, 11; doi:10.3390/rs11111302.
  - De Angelis, S., Haney, M.M., Lyons, J.J., Wech, A., Fee, D., Diaz-Moreno, A., Zuccarello, L., 2020. Uncertainty in Detection of Volcanic Activity Using Infrasound Arrays: Examples From Mt. Etna, Italy. *Frontiers Earth Science*. 8:169. doi: 10.3389/feart.2020.00169.
  - De Angelis, S., Zuccarello, L., Rapisarda, S., Minio, V., 2021. Introduction to a community dataset from an infrasound array experiment at Mt. Etna, Italy. *Nature - Scientific Data*, 8, 247. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-01030-6>.
  - Di Lieto, B., Saccorotti, G., Zuccarello, L., La Rocca, M., Scarpa, R., 2007. Continuous tracking of volcanic tremor at Mount Etna, Italy. *Geophysical Journal International*, 169, 699–705, doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03316.x.
  - Diaz-Moreno, A., Iezzi, A.M., Lamb, O. D., Fee, D., Kim, K., Zuccarello, L., De Angelis, S., 2019. Volume flow rate estimation for small explosions at Mt. Etna, Italy, from acoustic waveform inversion. *Geophysical Research Letters*, doi:10.1029/2019GL084598.
  - Saccorotti, G., Zuccarello, L., Del Pezzo, E., Ibanez, J., Gresta, S., 2004. Quantitative analysis of the tremor wavefield at Etna Volcano, Italy, *Journal of volcanology and geothermal research*, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2004.04.003.
  - Saccorotti, G., Lockmer, I., 2021. Chapter 2 - A review of seismic methods for monitoring and understanding active volcanoes. In *Hazards and Disasters, Forecasting and Planning for Volcanic Hazards, Risks, and Disasters*, Elsevier, Volume 2, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818082-2.00002-0>.
  - Zuccarello, L., Burton, M.R., Saccorotti, G., Bean, C. J., Patané, D., 2013. The coupling between very long period seismic events, volcanic tremor, and degassing rates at Mount Etna volcano. *Journal Geophysical Research*, 118, 1-12, doi:10.1002/jgrb.50363.
  - Zuccarello, L., Paratore, M., La Rocca, M., Ferrari, F., Messina, A., Branca, S., Contrafatto, D., Galluzzo, D., Rapisarda, S., García, L., 2016. Shallow velocity model in the area of Pozzo Pitarrone, Mt. Etna, from single station, array methods and borehole data. *Annals of Geophysics*, doi:10.4401/ag-7086.