

Rapporti tecnici

INGV

Test della nuova versione del datalogger GILDA: applicazione alla caratterizzazione del rumore sismico registrato in prossimità delle fumarole del vulcano Solfatara nella caldera dei Campi Flegrei

322



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

**TEST DELLA NUOVA VERSIONE DEL DATALOGGER GILDA:
APPLICAZIONE ALLA CARATTERIZZAZIONE DEL RUMORE
SISMICO REGISTRATO IN PROSSIMITÀ DELLE FUMAROLE
DEL VULCANO SOLFATARA NELLA CALDERA DEI CAMPI FLEGREI**

Flora Giudicepietro, Massimo Orazi, Rosario Peluso

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano)

322

Indice

Introduzione	7
1. Configurazione del sistema	8
2. Analisi dati	10
3. Risultati	12
4. Conclusioni	15
Ringraziamenti	16
Bibliografia	16

Introduzione

Nell'ambito del Progetto Europeo MED-SUV è in corso un'attività di aggiornamento e sviluppo dell'acquisitore digitale GILDA [Orazi et al., 2006; 2008], realizzato presso l'Osservatorio Vesuviano (INGV) e largamente impiegato nelle reti sismiche per il monitoraggio del Vesuvio [Orazi et al., 2013], dei Campi Flegrei, di Ischia e di Stromboli. Lo scopo principale di questa attività, inserita nel Work Package 2 del progetto MED-SUV (WP2), è favorire lo sviluppo di avanzati sistemi di monitoraggio, permettendo la realizzazione di reti dense di strumenti geofisici, relativamente a basso costo. Inoltre, un acquisitore con elevate prestazioni e costi contenuti può favorire la costituzione di un parco strumentale mobile utile per esperimenti e anche per progetti di cooperazione con paesi in via di sviluppo. Uno schema dei consumi in diverse condizioni di operatività dell'acquisitore GILDA è riportato nella Tabella 1, da cui si evince che nel caso di una configurazione con 4 canali attivi con frequenza di campionamento di 100 Hz il consumo è al di sotto di 850 mW. In queste stesse condizioni di operatività il livello di rumore elettronico intrinseco dello strumento, che è dotato di un ADC a 24 bit, è di circa 320 nV.

Tabella 1. Schema dei consumi dell'acquisitore digitale GILDA in funzione del numero di canali utilizzati, considerando una frequenza di campionamento di 100 Hz, e della velocità del clock del DSP.

Active channels	1	2	3	4
DSP clocks	Power consumption (mW)			
16 MHz	624	696	768	840
8 MHz	588	660	732	804
4 MHz	570	642	708	786
2 MHz	558	630	696	768

Le attività previste nell'ambito del progetto MED-SUV sono finalizzate alla realizzazione di una nuova versione dello strumento, in cui saranno perfezionati alcuni aspetti. In particolare, la nuova versione prevede un'ulteriore ottimizzazione dei consumi, grazie ad una migliore gestione dell'alimentazione del modulo GPS, per la temporizzazione dei dati, che porterà ad un risparmio di circa 110 mW, e migliori funzionalità per l'utilizzo della stazione in modalità *stand alone*. Allo stato, questo secondo aspetto è stato già implementato e la versione attuale del *datalogger* è stata installata dal 10 al 19 Novembre 2014 ai Campi Flegrei, per una applicazione sperimentale. L'esperimento è finalizzato al test della attuale versione dell'acquisitore GILDA, in configurazione multi scheda e per l'acquisizione di dati multiparametrici. Un secondo obiettivo dell'esperimento è la caratterizzazione dei segnali sismici generati dalle fumarole della Solfatara di Pozzuoli per ottenere informazioni indirette sullo stato di attività del sistema idrotermale dei Campi Flegrei [Chiodini et al., 2001] e per eventuali confronti con i dati geochimici raccolti sulle stesse fumarole. Il *test site* è la fumarola "Bocca Grande" del vulcano Solfatara (Fig. 1).



Figura 1. Ubicazione della fumarola “Bocca Grande” Campi Flegrei.

1. Configurazione del sistema

Sfruttando la modularità del sistema GILDA, è stato realizzato un sistema di acquisizione basato su tre registratori digitali, con un totale di 12 canali di acquisizione disponibili. Uno degli acquisitori GILDA è stato configurato in modalità *Master* e gli altri due sono stati configurati in modalità *slave*. Il Master provvede alla configurazione iniziale del ricevitore GPS per la temporizzazione dei dati. Questo permette di usare un unico ricevitore GPS per i tre acquisitori e di ottimizzare, di conseguenza, il consumo elettrico.

L'unità di acquisizione così configurata è stata equipaggiata con i seguenti sensori:

- BB CMG-40T Guralp
- Episensor ES-T Kinematics
- Eentec rotational seismometer
- Infrasound sensor [Buonocunto et al., 2011]

In Tabella 2 è mostrato il dettaglio della configurazione di ogni canale di acquisizione.

Tabella 2. Configurazione della stazione multiparametrica. Per ogni sensore sono riportate le caratteristiche fondamentali e la frequenza di campionamento.

Sensor	Typology	Frequency Band	Sampling Rate	Number of Channels
Guralp CMG40T	Velocimeter	60s-50Hz	100sps	3
Episensor ES-T Kinematics	Accelerometer	DC-200Hz	200sps	3
Eentec rotational seismometer	Rotational Velocimeter	20s-20Hz	100SPS	3
Infracyrus INGV-OV	Infrasonic microphone	0.07-125 Hz	200sps	1
Guralp CMG 40T	Mass Position	DC-Sensor Electronic dependent	100sps	2 (NS, EW)

La Figura 2 mostra il sito di installazione del sistema multiparametrico. Il sito dista circa 25m dalla fumarola di Bocca Grande.



Figura 2. Installazione del sito di acquisizione multiparametrico realizzato con tre *datalogger* GILDA e sua ubicazione all'interno del cratere del vulcano Solfatara.

In Figura 3 sono mostrati i particolari dell'installazione.



Figura 3. A sinistra, sono mostrati i sensori sismometrici (sismometro a larga banda, accelerometro e sismometro rotazionale) mentre al centro in alto si può vedere il sensore infrasonico (vedi Tabella 2).

Al centro in basso è mostrato il sistema di alimentazione, basato su pannelli solari che copre il *casing* in cui sono alloggiati i *datalogger*. L'interno di questo *casing* è visibile nella foto a destra, in cui sono evidenziate le schede di memoria per l'acquisizione locale dei dati.

2. Analisi dati

I dati sono stati acquisiti localmente utilizzando tre schede uSD/uSDHC (Figure 3 e 4). A seconda delle esigenze il *datalogger* può montare schede uSD/uSDHC, con capacità fino a 32 GB, che darebbero la possibilità di acquisire circa 7 mesi di dati per una configurazione multiparametrica tipo quella utilizzata nel nostro esperimento (che produce 6400 Bps).



Figura 4. I supporti di memoria utilizzati dal *datalogger* GILDA per l'acquisizione locale dei dati.

In questa prima fase di analisi non abbiamo ancora preso in considerazione i dati del sensore infrasonico ed abbiamo utilizzato i segnali del sismometro a larga banda, dell'accelerometro e del sismometro rotazionale (Figure 5, 6 e 7). Allo scopo di caratterizzare i segnali sismici registrati durante l'esperimento, in via preliminare abbiamo scelto una finestra temporale di 12 ore, dalle 18:00 del 10 novembre 2014 alle 6:00 del 11 novembre 2014. Questa finestra temporale ci permette di considerare segnali registrati nelle ore con minore rumore antropico locale. Si deve infatti ricordare che il vulcano Solfatara durante il giorno è aperto per le visite turistiche.

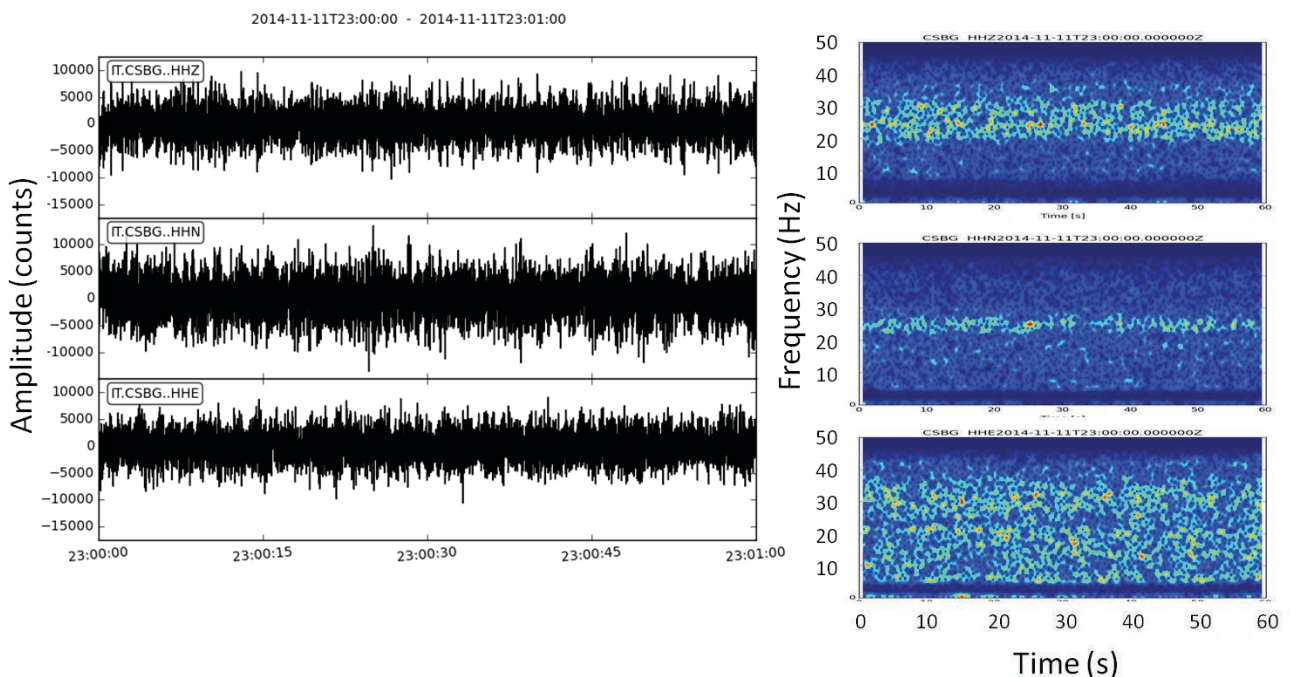


Figura 5. Sismogramma e spettrogramma di un minuto di segnale del sismometro a larga banda. Dall'alto al basso: componente verticale, componente N e componente E. Lo spettrogramma è stato eseguito utilizzando una finestra mobile di 2.5s con *overlap* del 90%.

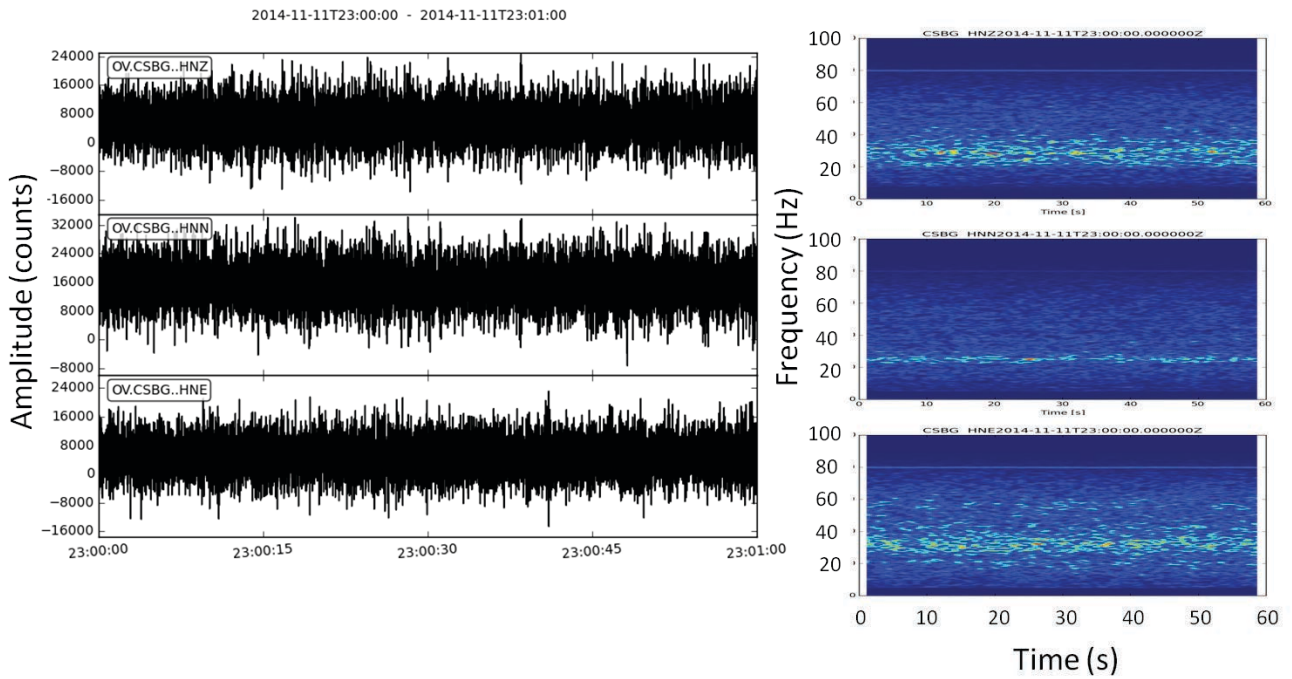


Figura 6. Sismogramma e spettrogramma di un minuto di segnale dell'accelerometro. Dall'alto al basso: componente verticale, componente N e componente E. Lo spettrogramma è stato eseguito utilizzando una finestra mobile di 2.5s con *overlap* del 90%.

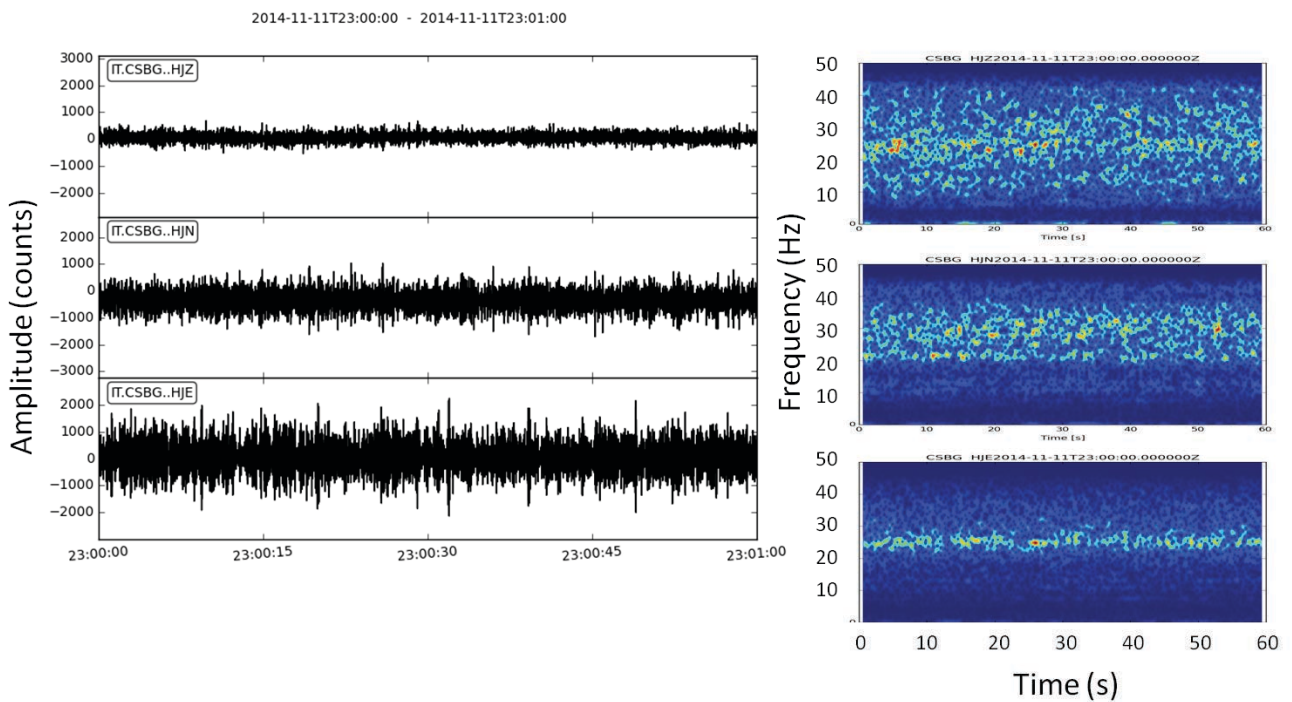


Figura 7. Sismogramma e spettrogramma di un minuto di segnale del sismometro rotazionale. Dall'alto al basso: componente verticale, componente N e componente E. Lo spettrogramma è stato eseguito utilizzando una finestra mobile di 2.5s con *overlap* del 90%.

Su questi dati abbiamo effettuato un'analisi spettrale ed un'analisi di polarizzazione utilizzando il sistema di analisi di dati sismici ObsPy (www.obspy.org), basato su Python [Krischer et al., 2015]. Allo

scopo di evidenziare eventuali picchi spettrali riconducibili all'attività delle fumarole abbiamo suddiviso il segnale di 12 ore in 144 finestre della durata di 5 minuti. L'analisi spettrale è stata effettuata sulle finestre di 5 minuti ed è poi stato effettuato lo *stacking* degli spettri ottenuti, in modo da evidenziare i picchi più persistenti nel segnale. Per il sismometro rotazionale in questa finestra temporale abbiamo potuto utilizzare solo 2.5 ore di dati (corrispondenti a 30 finestre della durata di 5 minuti), a causa di alcune lacune nella registrazione. L'analisi di polarizzazione, condotta sullo stesso intervallo temporale utilizzato per l'analisi spettrale, è stata effettuata con un modulo di ObsPy basato sull'algoritmo proposto da Jurkevics [1988]. Sono state utilizzate finestre temporali di 5 s. Per l'analisi di polarizzazione il segnale è stato filtrato nelle bande di frequenza <1.5 Hz, 5-8 Hz e 20-28 Hz.

3. Risultati

Questa analisi ha permesso di individuare tre principali picchi spettrali (< 1Hz; ≈ 7 Hz; ≈ 25 Hz) evidenti soprattutto nei segnali del sismometro a larga banda (Fig. 8).

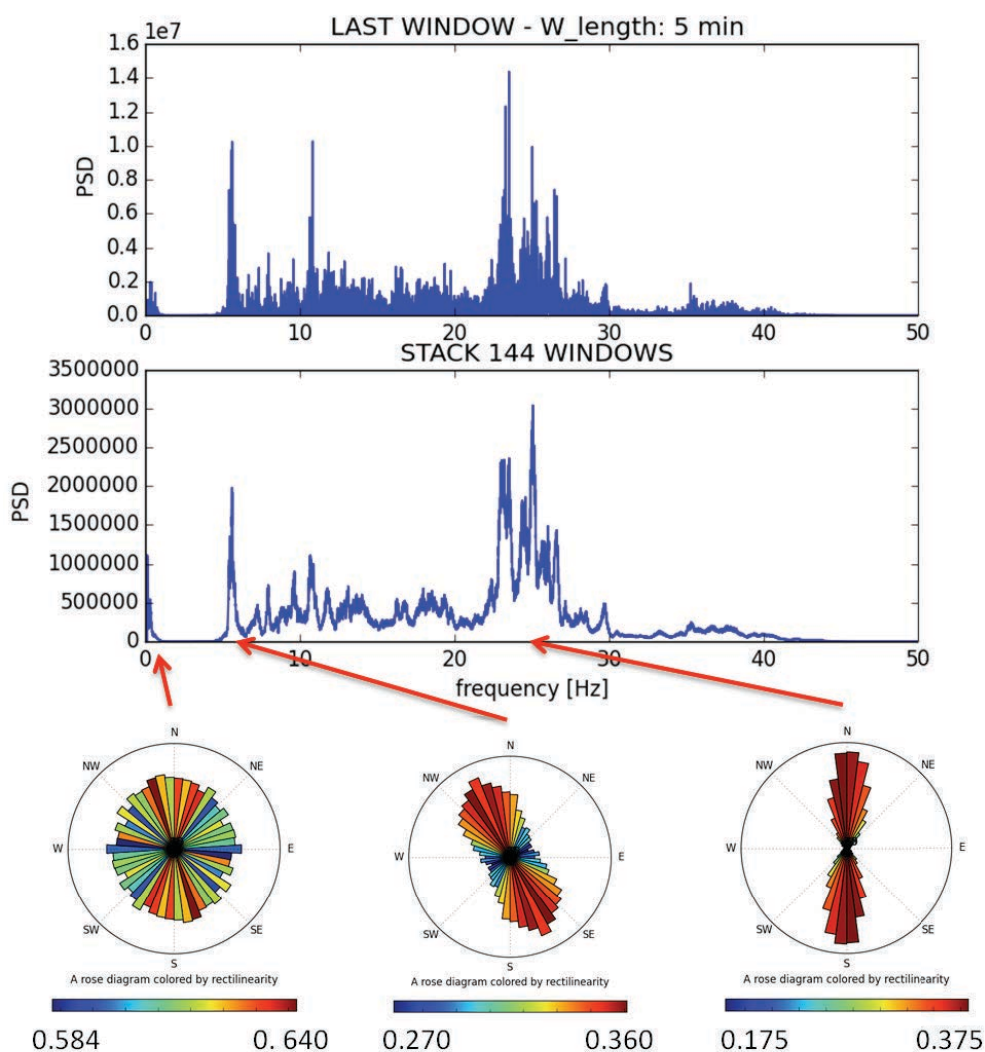


Figura 8. Analisi spettrale e di polarizzazione dei segnali del sismometro a larga banda. In alto, lo spettro relativo all'ultima finestra temporale della durata di 5 minuti. Al centro, lo stacking degli spettri delle 144 finestre temporali di 5 minuti. In basso i *rose diagram* degli angoli di azimuth della polarizzazione. Per ottenere questi diagrammi, da sinistra a destra, è stato applicato un filtro passabasso <1.5 Hz, passabanda tra 5 e 8 Hz e passabanda tra 20 e 28 Hz. La scala cromatica rappresenta la rettilinearità normalizzata per il massimo valore di ogni diagramma. Si noti che mentre il segnale con frequenza <1Hz mostra polarizzazione *random*, i picchi ≈ 7 Hz e ≈ 25 Hz presentano direzioni ben definite.

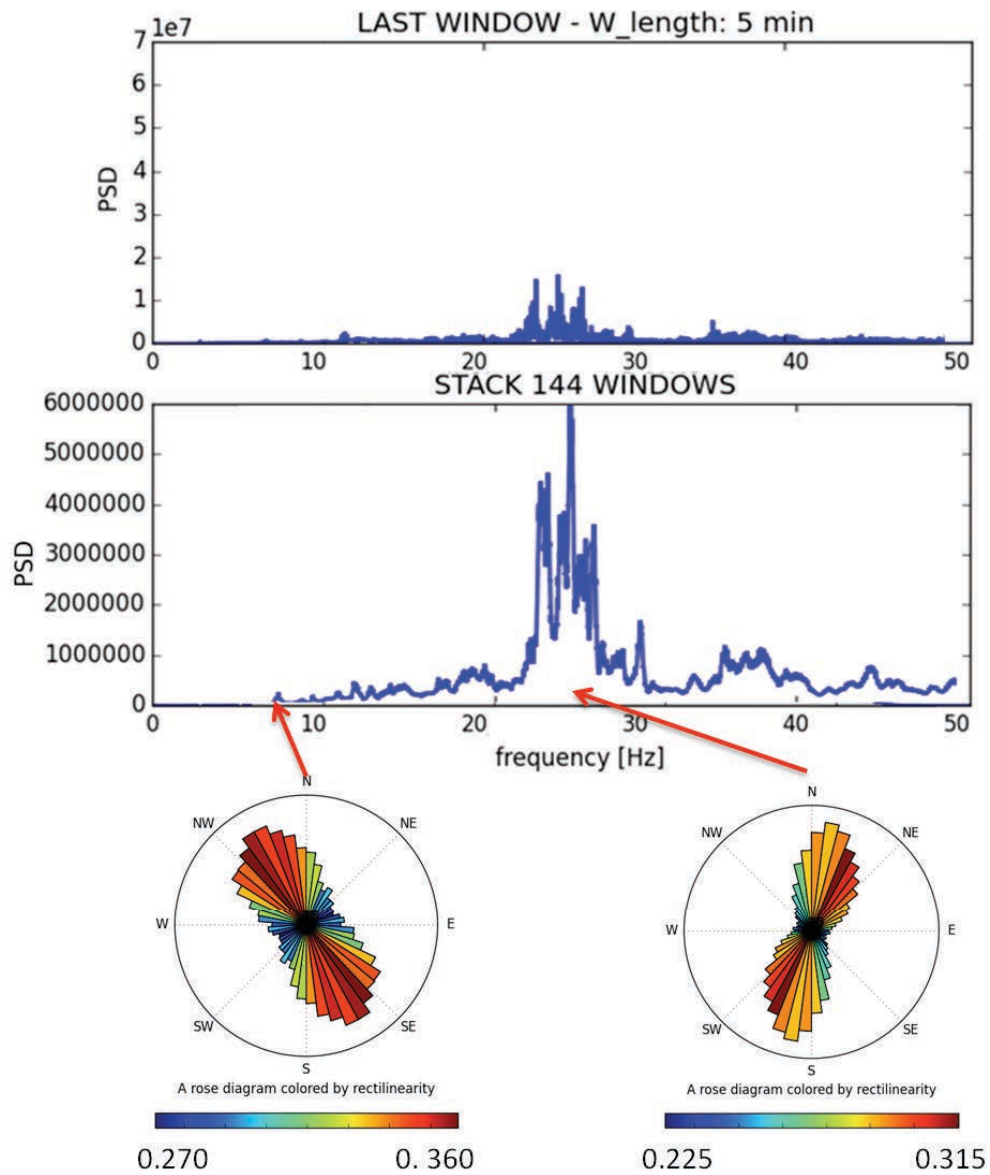


Figura 9. Analisi spettrale e di polarizzazione dei segnali dell'accelerometro (per la descrizione dei grafici vedi la didascalia di Fig. 8).

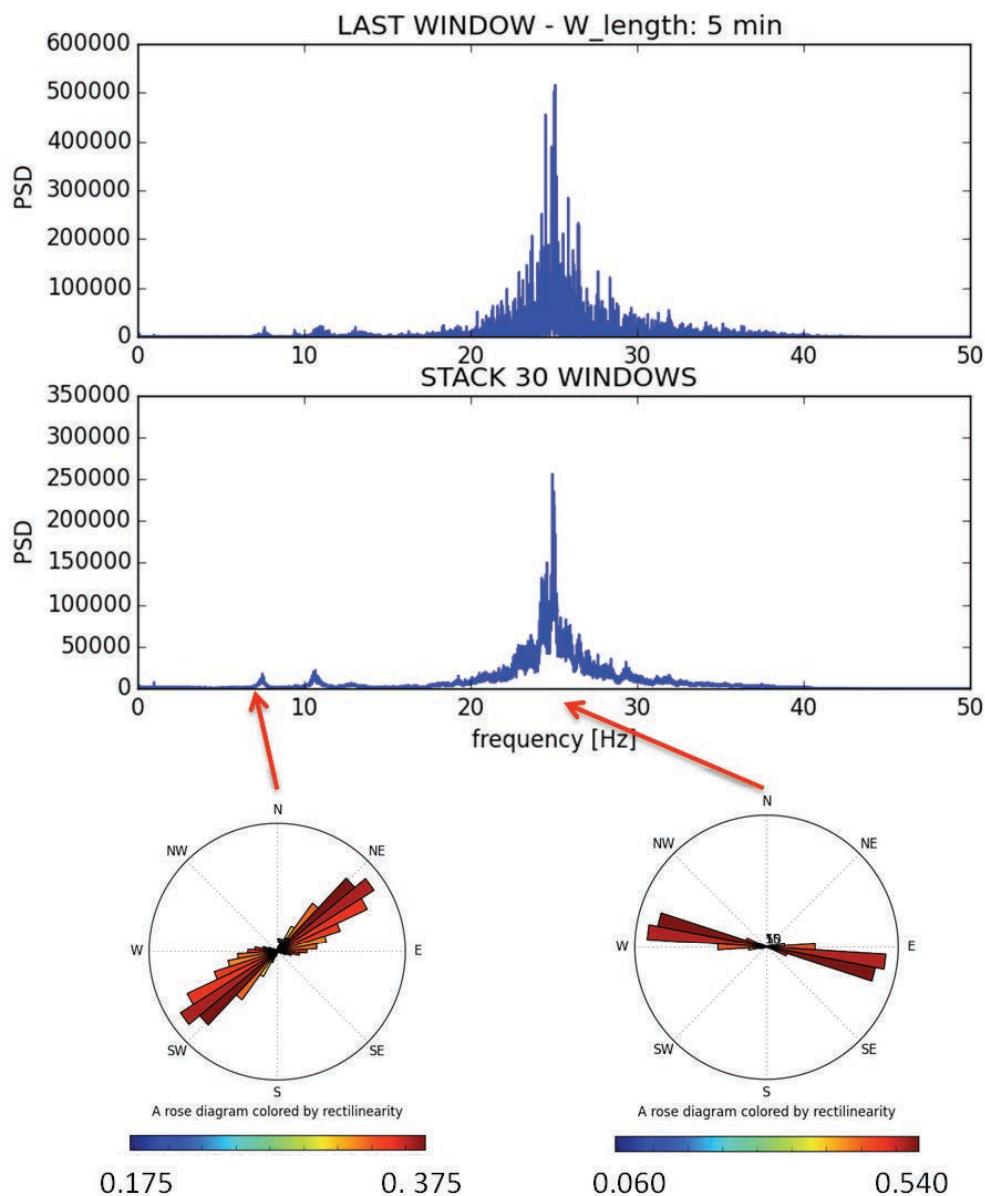


Figura 10. Analisi spettrale e di polarizzazione dei segnali del sismometro rotazionale (per la descrizione dei grafici vedi la didascalia di Fig. 8).

L'analisi di polarizzazione relativa alle bande di frequenza evidenziate dall'analisi spettrale mostra che, mentre il segnale a frequenza < 1 Hz ha direzioni dell'azimuth della polarizzazione *random*, i segnali relativi ai picchi di ≈ 7 Hz e ≈ 25 Hz presentano rispettivamente direzioni prevalenti di azimuth della polarizzazione N-NO e circa N (Fig. 8, 9, 10). Le direzioni prevalenti di azimuth della polarizzazione nel segnale del sismometro rotazionale risultano ruotate di 90° rispetto a quelle del velocimetro e dell'accelerometro, coerentemente con quanto atteso dato il diverso principio di funzionamento di questo sensore che fornisce la misura di una velocità angolare rispetto ad assi di rotazione orientati, nel nostro caso, come le componenti del velocimetro e dell'accelerometro (N,E,Z).

Nell'area dei Campi Flegrei, sono stati condotti numerosi studi basati su misure di rumore sismico, finalizzati alla caratterizzazione del rumore sismico di fondo [Cappello et al., 1974; Vassallo et al. 2008; Bianco et al., 2010; La Rocca and Galluzzo, 2012; Del Pezzo et al., 2013; Maresca et al., 2014] e alla localizzazione delle sorgenti di rumore sismico ambientale [Letort et al., 2012] nonché allo studio delle proprietà della struttura crostale superficiale all'interno del cratere della Solfatara [Petrosino et al., 2012]. Considerando che l'esperimento descritto nel presente rapporto è basato su misure ad una singola stazione

e che l'ubicazione della stazione è molto prossima (distanza $\approx 25\text{m}$) alle principali fumarole presenti nella Solfatara, i risultati non sono pienamente confrontabili con quelli ottenuti dai lavori sopra citati, che sono generalmente basati sull'uso di più stazioni o di array sismici e, pertanto, presentano una più completa caratterizzazione del campo d'onda associato al rumore sismico ambientale. Tuttavia, se si considerano le analisi spettrali mediate su un mese di dati (gennaio 2011) effettuate da La Rocca e Galluzzo [2012] in un sito prossimo alla Solfatara (circa 1400m dalla ubicazione della stazione multiparametrica oggetto del presente rapporto) si può notare che nelle bande di frequenza intorno a $\approx 7\text{ Hz}$ e $\approx 25\text{ Hz}$ non di riconoscono significativi picchi spettrali, mentre nelle analisi spettrali mediate su un periodo di 12 ore (Figura 8) condotte sul segnale registrato a 25m di distanza dalla fumarola di Bocca Grande queste bande di frequenza rappresentano le principali componenti del rumore sismico di fondo.

4. Conclusioni

L'esperimento effettuato nel vulcano Solfatara, nell'ambito del Progetto Europeo MED-SUV, oltre ad aver permesso di testare il funzionamento della nuova versione dell'acquisitore GILDA ha evidenziato interessanti segnali nel campo d'onda del rumore sismico presente alla Solfatara. In particolare si sono evidenziati due picchi di frequenza, $\approx 7\text{ Hz}$ e $\approx 25\text{ Hz}$, che presentano rispettivamente direzioni di azimuth della polarizzazione N-NO e circa N. Queste direzioni puntano verso le posizioni delle principali fumarole della Solfatara, Bocca Grande e Bocca Nuova, che distano non più di 25m dal sito di installazione del sistema di registrazione (Figura 11). Inoltre, il confronto con le analisi spettrali effettuate da La Rocca e Galluzzo [2012], già citato in precedenza, indica che questi picchi spettrali non rappresentano una caratteristica del campo d'onda del rumore sismico riscontrabile diffusamente nell'area in prossimità della Solfatara. Pertanto riteniamo possibile ipotizzare che l'attività di dette fumarole rappresenti la sorgente delle onde sismiche relative ai picchi $\approx 7\text{ Hz}$ e $\approx 25\text{ Hz}$. Questi risultati preliminari indicano che le misure sismiche potranno contribuire al monitoraggio e allo studio delle fumarole di vulcani ad alto rischio come i Campi Flegrei, dando una misura indiretta del livello di attività (o eventualmente del flusso di gas) di dette fumarole e del sistema idrotermale in generale.

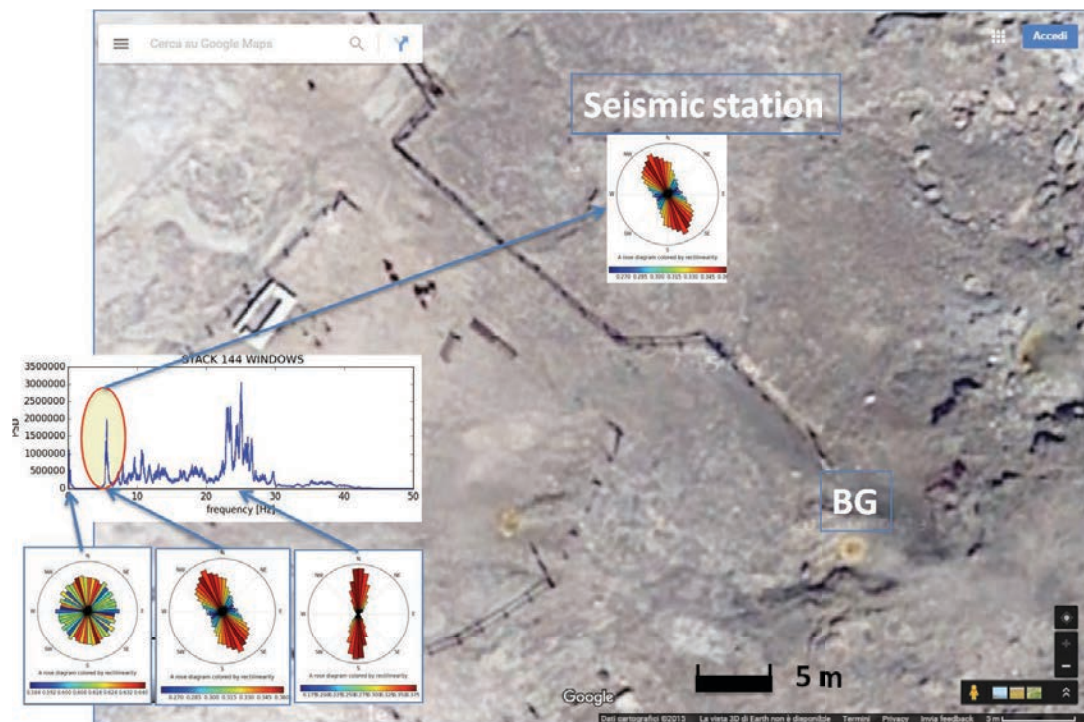


Figura 11. Analisi spettrale e di polarizzazione dei segnali del sismometro a larga banda. In figura il *Rose Diagram* dell'azimuth della polarizzazione relativo al picco spettrale $\approx 7\text{ Hz}$ è riportato in corrispondenza della stazione multiparametrica sulla mappa dell'interno del cratere della Solfatara. Si noti come la polarizzazione punta in direzione della fumarola "Bocca Grande" (BG sulla mappa). La stazione multiparametrica dista circa 25m dalla fumarola.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato finanziato dai progetti MED-SUV (EU FP7 Grant Agreement n.308665) e Vulcamed (Miur PONa3_278).

Bibliografia

- Bianco F., Castellano M., Cogliano R., Cusano P., Del Pezzo E., Di Vito M.A., Fodarella A., Galluzzo D., La Rocca M., Milana G., Petrosino S., Pucillo S., Riccio G. and Rovelli A., (2010). *Caratterizzazione del noise sismico nell'area vulcanica dei Campi Flegrei: l'esperimento "UNREST"*. Quaderni di Geofisica, n. 86, ISSN 1590-2595.
- Buonocunto C., D'Auria L., Caputo A., Martini M. and Orazi M., (2011). *The Infracyrus infrasound sensor*. Rapporti Tecnici INGV, n. 188, ISSN 2039-7941.
- Cappello P., Lo Bascio A. and Luongo G., (1974). *Seismic noise survey at solfatara crater, phlegraean fields, Italy*. Geothermics 3.2, 76-80.
- Chiodini G., Frondini F., Cardellini C., Granieri D., Marini L. and Ventura G., (2001). *CO2 degassing and energy release at Solfatara volcano, Campi Flegrei, Italy*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012), 106(B8), 16213-16221, doi: 10.1029/2001JB000246
- Del Pezzo E., Bianco F., Castellano M., Cusano P., Galluzzo D., La Rocca M. and Petrosino S., (2013). *Detection of seismic signals from background noise in the area of Campi Flegrei: limits of the present seismic monitoring*. Seismological Research Letters, 84(2), 190-198, doi: 10.1785/0220120062
- Jurkevics A., (1988). *Polarization analysis of three-component array data*. Bulletin of the Seismological Society of America, 78(5), 1725-1743.
- Krischer L., Megies T., Barsch R., Beyreuther M., Lecocq T., Caudron C. and Wassermann J., (2015). *ObsPy: a bridge for seismology into the scientific Python ecosystem*. Computational Science & Discovery, 8, 014003, doi:10.1088/1749-4699/8/1/014003
- La Rocca M. and Galluzzo D., (2012). *A seismic array in the town of Pozzuoli in Campi Flegrei (Italy)*. Seismological Research Letters, 83(1), 86-96, doi: 10.1785/gssrl.83.1.86
- Letort J., Roux P., Vandemeulebrouck J., Coutant O., Cros E., Wathelet M., Cardellini C. and Avino R., (2012). *High-resolution shallow seismic tomography of a hydrothermal area: application to the Solfatara, Pozzuoli*. Geophysical Journal International, 189, 1725-1733, doi: 10.1111/j.1365-246X.2012.05451.x
- Maresca R., Damiano N., Nardone L., Di Vito M.A. and Bianco F., (2014). *A comparison of surface and underground array measurements of ambient noise recorded in Naples (Italy)*. Journal of Seismology, 18:385-400, doi 10.1007/s10950-013-9414-z
- Orazi M., Peluso R. and Martini M., (2006). *Data Acquisition for Volcano Monitoring*. EOS, Transactions. A.G.U., 87 (38), 385-392, doi: 10.1029/2006EO380002
- Orazi M., Peluso R., Caputo A., Capello M., Buonocunto C. and Martini M., (2008). *A multiparametric low power digitizer: project and results*. In: W. Marzocchi and A. Zollo (eds.), Conception, verification and application of innovative techniques to study active volcanoes, Roma, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 435-460. ISBN:978-88-89972-09-0.
- Orazi M., D'Auria L., Tramelli A., Buonocunto C., Capello M., Caputo A., De Cesare W., Giudicepietro F., Martini M., Peluso R., Scarpato G., (2013). *The seismic monitoring network of Mt. Vesuvius*. Annals of Geophysics, 56, 4, 2013, S0450; doi:10.4401/ag-6456
- Petrosino S., Damiano N., Cusano P., Di Vito M.A., Vita S. and Del Pezzo E., (2012). *Subsurface structure of the Solfatara volcano (Campi Flegrei caldera, Italy) as deduced from joint seismic-noise array, volcanological and morphostructural analysis*. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 13(7), doi:10.1029/2011GC004030
- Vassallo M., Bobbio A. and Iannaccone G., (2013). *A comparison of sea-floor and on-land seismic ambient noise in the Campi Flegrei caldera, southern Italy*. Bulletin of the Seismological Society of America 98.6, 2962-2974, doi: 10.1785/0120070152

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