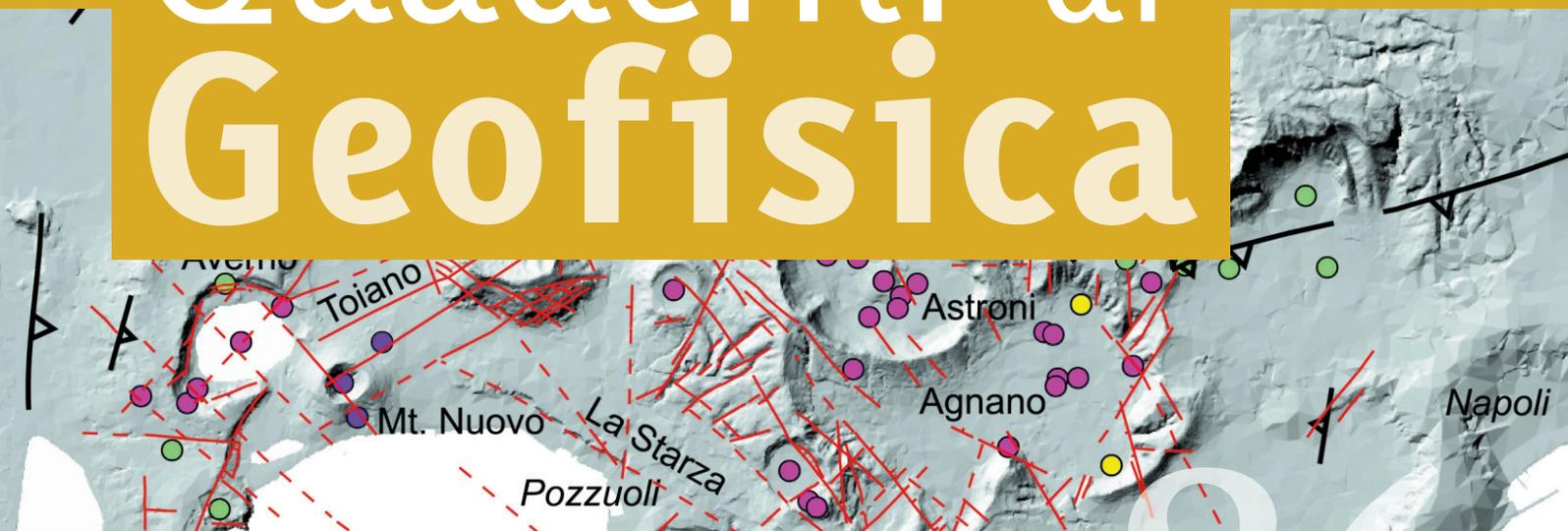


Caratterizzazione del noise sismico nell'area vulcanica dei Campi Flegrei (Napoli): l'esperimento "UNREST"

Quaderni di Geofisica



86



Quaderni di Geofisica

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

Caratterizzazione del noise sismico nell'area vulcanica dei Campi Flegrei (Napoli): l'esperimento "UNREST"

Seismic Background Noise Characterization at Campi Flegrei Volcanic Area (Napoli): The "UNREST" Experiment

Francesca Bianco¹, Mario Castellano¹, Rocco Cogliano², Paola Cusano¹,
Edoardo Del Pezzo¹, Mauro Antonio Di Vito¹, Antonio Fodarella²,
Danilo Galluzzo¹, Mario La Rocca¹, Giuliano Milana², Simona Petrosino¹,
Stefania Pucillo², Gaetano Riccio² e Antonio Rovelli²

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano)

²INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Sismologia e Tettonofisica)

Caratterizzazione del noise sismico nell'area vulcanica dei Campi Flegrei (Napoli): l'esperimento "UNREST"

Dal 9 al 26 Marzo 2009 è stato realizzato un esperimento avente come oggetto la registrazione del *noise* sismico nell'area vulcanica dei Campi Flegrei. L'esperimento si è svolto nell'ambito della Convenzione INGV-DPC 2007-2009 per la realizzazione di un metodo integrato finalizzato alla definizione delle fasi di *unrest* ai Campi Flegrei (Progetto V1 - UNREST). Sono state installate 21 stazioni sismiche digitali a tre componenti, equipaggiate con sensori a larga banda, che hanno integrato 11 stazioni già operative nell'area.

I risultati preliminari evidenziano una correlazione tra il livello dell'ampiezza del *noise* e l'attività antropica, nonché l'influenza delle condizioni meteorologiche sul rumore sismico a bassa frequenza, definendo elementi importanti per i livelli di detezione dei segnali sismici che possono essere generati durante una fase di ripresa dell'attività vulcanica.

A seismic noise recording experiment has been carried out in the Campi Flegrei volcanic area from March 9 to 26, 2009 in the framework of the INGV-DPC 2007-2009 agreement (Project V1 – UNREST). The project aimed at the realization of an integrated method for the definition of the *unrest* phases at Campi Flegrei. 21 digital three-component seismic stations equipped with broad band seismometers have been added to the existing 11 digital stations already deployed in the area. The preliminary results show a correlation between the seismic noise level and the anthropic activity, whereas the meteorological conditions seem affecting the low frequency seismic noise. These results are important to define the detection thresholds of the seismic signals generated during a possible renewal phase of the volcanic activity.

Introduzione

L'esperimento "UNREST" per la registrazione del *noise* sismico è stato realizzato nella caldera dei Campi Flegrei, un vulcano attivo e caratterizzato da eruzioni in prevalenza esplosive intervallate da periodi di quiescenza di lunghezza molto variabile. Negli ultimi 15000 anni il vulcano è stato caratterizzato anche da intense fasi di deformazioni del suolo che hanno preceduto e accompagnato le eruzioni.

In epoca recente nei Campi Flegrei si sono verificate diverse crisi bradisismiche che hanno comportato la parziale evacuazione della popolazione dalle zone più a rischio. Le crisi più intense sono avvenute nei periodi 1969-1972 e 1982-1984 [Barberi et al., 1984]. Studi recenti hanno evidenziato che negli ultimi 50 anni nell'area è in atto un processo di *unrest* con caratteristiche simili a quello avvenuto nel periodo che ha preceduto l'ultima eruzione del 1538 e durato alcuni decenni [Del Gaudio et al., 2010]. Altri studi hanno anche messo in evidenza il ruolo notevole avuto dal vasto sistema di circolazione di fluidi presente nell'area dei Campi Flegrei sulla tipologia dei segnali rilevati dalle reti di monitoraggio [Bianco et al., 2004; Chiodini et al., 2010; De Siena et al., 2010], nonché la possibilità che le faglie presenti nell'area

possono essere riattivate durante gli episodi di deformazione, introducendo un ulteriore aspetto alle problematiche del rischio sismico e vulcanico [Vilardo et al., 2010].

È quindi fondamentale la corretta interpretazione dei segnali geofisici mediante reti di monitoraggio multiparametriche per definire lo stato del vulcano e valutare la probabilità associata ad un'eventuale ripresa dell'attività eruttiva.

Nell'ambito della Convenzione 2007-2009 tra Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e Dipartimento della Protezione Civile (DPC) sono state sviluppate diverse linee di ricerca indirizzate alla definizione dei parametri di riferimento riguardanti la situazione dinamica attuale dei Campi Flegrei ed i relativi livelli di soglia; lo scopo era quello di ottenere uno strumento operativo utile per la sorveglianza dell'area e per la gestione delle emergenze.

In questo contesto si colloca il Progetto V1 "UNREST - Realization of an integrated method for the definition of the *unrest* phases at Campi Flegrei" con l'attività dell'Unità di Ricerca UR V1/09 afferente al Task 2 "Quantitative analysis of detected signals, and formulation of source models".

Uno degli obiettivi dell'UR V1/09 è stato la definizione delle proprietà del rumore sismico di fondo (*seismic noise background*) sia mediante l'analisi di dati già esistenti, che con

l'esecuzione di un nuovo esperimento. La precisa caratterizzazione del rumore sismico di fondo è necessaria per definire il livello e la distribuzione spazio-temporale dell'energia sismica legata al *noise*. La conoscenza di tali parametri può contribuire alla corretta definizione della soglia di Magnitudo minima ed in generale delle soglie di detezione dei segnali sismici che si possono generare durante una fase di *unrest*, informazioni basilari specialmente in un'area densamente urbanizzata come quella dei Campi Flegrei [Petrosino et al., 2008].

L'attuale geometria della rete sismica di monitoraggio [Castellano et al., 2002; Martini et al., 2008] pur consentendo una buona localizzazione degli eventi sismici che avvengono nell'area tra Pozzuoli e la Solfatara, non è sufficientemente densa per uno studio di dettaglio del *noise* su tutta l'area dei Campi Flegrei. Per questo motivo è stato progettato e realizzato un esperimento mirato alla definizione delle caratteristiche spatio-temporali del *seismic noise background* mediante l'installazione di un elevato numero di stazioni digitali dotate di sismometri a larga banda.

I progetti INGV-DPC 2007-2009, tra cui il Progetto UNREST, sono giunti a conclusione e i relativi risultati sono stati discussi nell'ambito del Convegno Finale "Pericolo Vulcani" svoltosi a Roma dal 6 al 9 Luglio 2010. In questo lavoro vengono presentati il progetto dell'esperimento, la modalità della sua esecuzione e i risultati preliminari ottenuti dall'analisi dei dati registrati.

1. Inquadramento geologico e dinamica

La caldera dei Campi Flegrei è una struttura complessa e risorgente situata ad ovest della città di Napoli. La sua storia vulcanica e deformativa è stata dominata da due grandi eruzioni esplosive: l'ignimbrite Campana (circa 37000 anni A.C.) ed il Tufo Giallo Napoletano (circa 12000 anni A.C.) [Di Vito et al., 1999]. Dopo queste grandi eruzioni l'attività è continuata all'interno delle aree collassate, con eruzioni in prevalenza esplosive che hanno formato alcune decine di piccoli apparati vulcanici monogenici [Di Vito et al., 2010].

Dal punto di vista strutturale i Campi Flegrei sono intensamente deformati da sistemi di faglie e fratture sia legate ai processi vulcano-tettonici [Orsi et al., 1996; Tramelli et al., 2006] che riconducibili alla tettonica regionale con orientamenti prevalenti NW-SE e NE-SW [Orsi et al., 1999; Piochi et al., 2005; Acocella, 2010] (Figura 1).

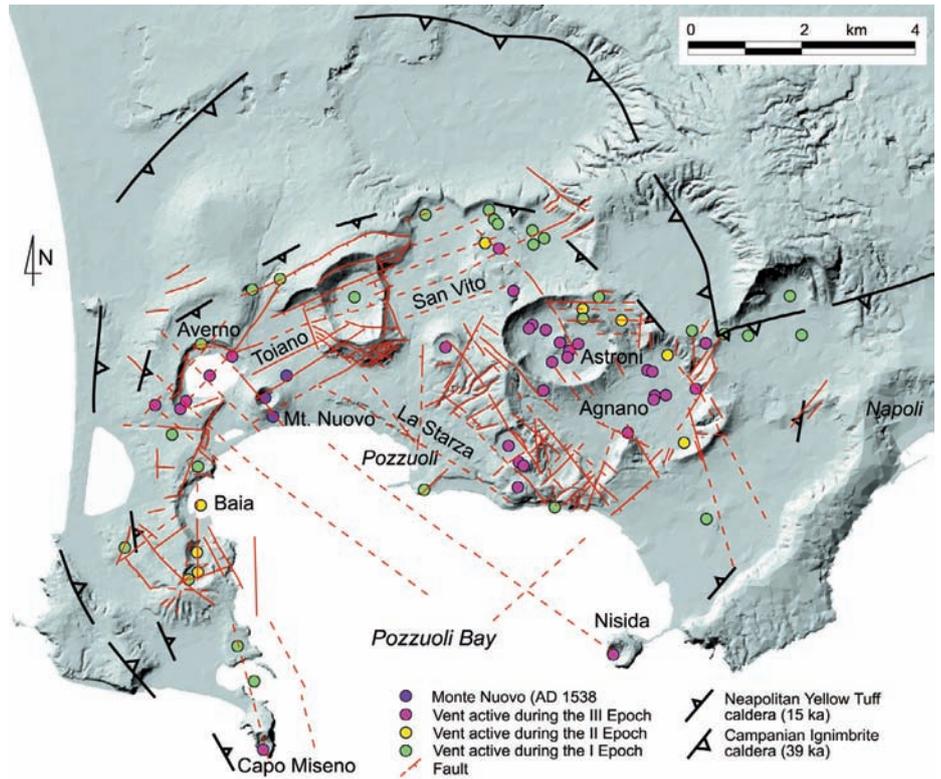


Figura 1 Schema delle principali strutture vulcaniche e tettoniche dei Campi Flegrei [da Di Vito et al., 2010 modificata].

Figure 1 Main volcanic and structural features of the Campi Flegrei caldera [after Di Vito et al., 2010 redrawn].

L'area è caratterizzata anche dal noto fenomeno del bradisismo (dal greco *bradýs* - lento e *seismós* - scossa), cioè un lento movimento del suolo. Tale movimento si manifesta prevalentemente con un abbassamento del suolo alternato a periodi di sollevamento.

La subsidenza è ben documentata dalla presenza in mare, a profondità variabili, di resti archeologici di epoca romana e medioevale. L'andamento del livello del suolo in epoca storica è stato ricostruito sulla base dei segni lasciati dai molluschi marini litofagi (litodomi) sulle colonne del *Serapeo*, un mercato di epoca romana presente nella città di Pozzuoli [Parascandola, 1947; Morhange et al., 2006].

Negli ultimi decenni si sono verificate tre importanti fasi di sollevamento (1950-1952, 1969-1972 e 1982-1984) mentre altri piccoli sollevamenti sono stati registrati negli ultimi 20 anni [Del Gaudio et al., 2010].

Durante le fasi di sollevamento la deformazione del suolo è generalmente accompagnata da una sismicità di bassa energia che interessa i primi 3-4 km di profondità. La crisi sismica più importante si è verificata nel 1982-1984 quando in occasione di un sollevamento complessivo di 179 cm sono stati registrati più di 16000 terremoti con una magnitudo massima $M_L = 4.2$ [Orsi et al., 1999]. Altri sciami, di più modesta energia e numero di eventi, si sono verificati nel

1987, 1989, 1994, 2000, 2006 e 2010. Di queste crisi, la più significativa è quella verificatasi nel 2006 quando oltre a circa 250 eventi vulcano tettonici ($M_L \text{ max} = 1.4$) sono stati registrati più di 800 eventi a bassa frequenza (LP) localizzati nell'area della Solfatara [Saccorotti et al., 2007; Cusano et al., 2008].

L'accadimento di sciame di terremoti (di bassa energia ma estremamente superficiali con profondità massima di circa 3-4 km) e, soprattutto, di eventi LP localizzati in un'area densamente abitata, evidenzia l'elevato rischio sismico e vulcanico a cui è soggetta l'area dei Campi Flegrei.

2. L'esperimento "UNREST"

L'esperimento di registrazione del *noise* sismico ambientale si è svolto dal 9 al 26 Marzo 2009 ed è stato effettuato con una rete composta da 32 stazioni sismiche digitali (Figura 2). Di queste, 4 erano già installate in modalità permanente (2 appartenenti alla Rete Sismica Permanente INGV-OV, 2 all'Università di Salerno), mentre 7 stazioni della Rete Sismica

Mobile INGV-OV erano già operative per lo studio ed il monitoraggio della sismicità dell'area [La Rocca et al., 2007]. Altre 21 stazioni sono state installate appositamente per l'esperimento (7 della Rete Sismica Mobile INGV-OV U.F. Sismologia e Sismotettonica e 14 della Sezione INGV-Roma 1 U.F. Effetti dei Terremoti e Pericolosità Sismica).

L'esperimento è stato preceduto dalla ricerca di siti idonei per l'installazione di un elevato numero di stazioni sismiche e che consentissero un'omogenea copertura dell'area da investigare considerando la particolare morfologia dell'area dei Campi Flegrei. Nella distribuzione delle stazioni si è tenuto conto anche dell'ubicazione di elementi strutturali quali faglie o bordi di crateri la cui presenza può influenzare la polarizzazione del moto del suolo [Rigano et al., 2008]. In questo modo, piuttosto che ricercare una particolare geometria della rete (che sarebbe stata comunque fortemente condizionata dall'elevata urbanizzazione dell'area), ci si è riproposto di investigare l'andamento del rumore sismico nel più ampio spettro di situazioni sia ambientali che geologiche.

Dovendo effettuare registrazioni in continuo h24, sono stati

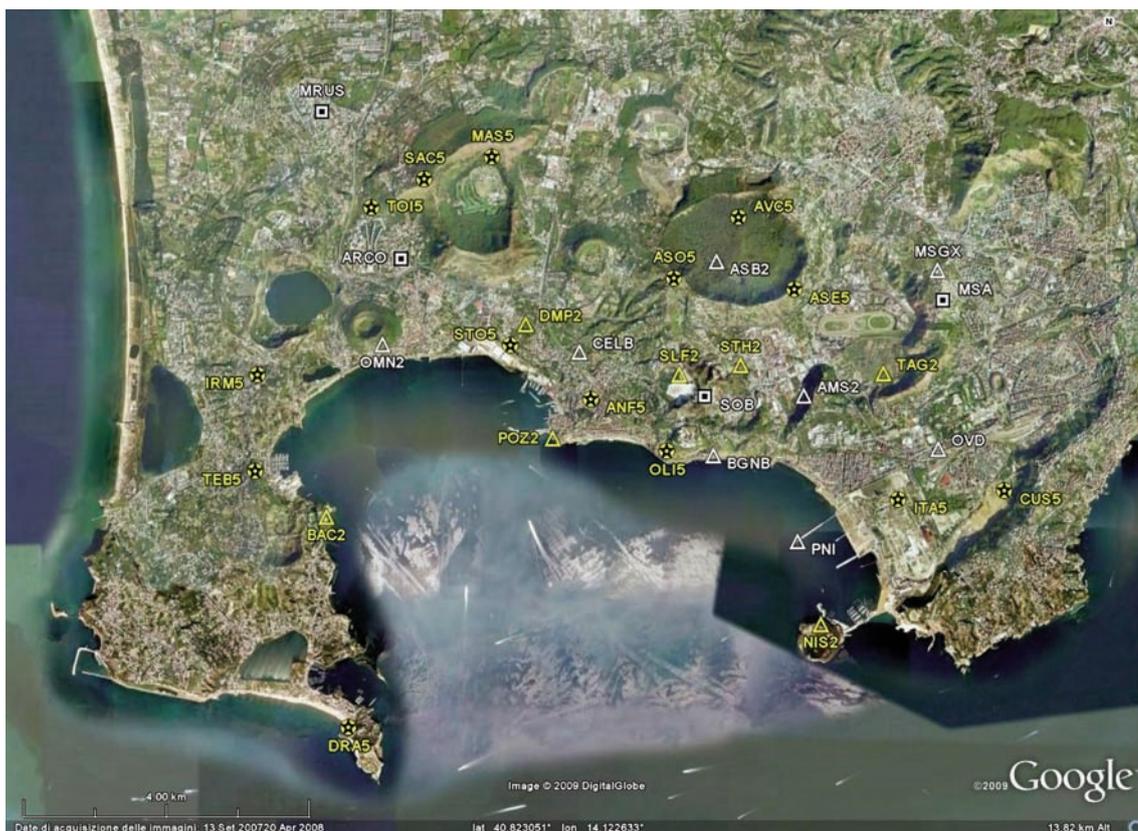


Figura 2 La Rete Sismica attiva durante l'esperimento UNREST. I quadrati e i triangoli bianchi indicano rispettivamente le stazioni già in funzione della Rete Sismica Permanente INGV-OV - Università di Salerno e della Rete Sismica Mobile INGV-OV (OV-RM). Le stelle ed i triangoli gialli rappresentano le stazioni mobili installate per l'esperimento, rispettivamente di Roma-1 e OV-RM.

Figure 2 The seismic network operating during the UNREST passive seismic experiment. White squares and triangles show the permanent (INGV-OV Monitoring Center Unit and Università di Salerno) and temporary (INGV-OV Seismology and Sismotectonics Unit) existing stations, respectively. Yellow stars and triangles show the temporary stations deployed just for the experiment by INGV-Roma1 (Earthquakes Effects and Seismic Hazard Unit) and INGV-OV (Seismology and Sismotectonics Unit), respectively.



Figura 3 Particolare di un sito all'interno dell'area archeologica delle Terme di Baia individuato per l'installazione della stazione TEB5.

Figure 3 Detail of the archeological site of Terme di Baia chosen to install the TEB5 station.

ricercati solo siti protetti in cui la strumentazione poteva essere installata e restare operativa per l'intera durata dell'esperimento. Gran parte delle stazioni sono state installate all'interno di siti archeologici sottoposti alla vigilanza della Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Napoli e Pompei, organo periferico del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali (Figura 3). Istituzioni pubbliche e private, così come privati cittadini, hanno collaborato mettendo a disposizione siti all'interno delle aree di propria pertinenza.

Le stazioni *Lennartz MARS*lite a 20 bit): *Quanterra Q330* (<http://www.q330.com/>) (Figura 5), *Lennartz MARS*lite e *Lennartz M24* (<http://www.lennartz-electronic.de/>), *Reftek 130-01* (<http://www.reftek.com/>), *Nanometrics Taurus* (<http://www.nanometrics.ca/>), *GILDA* [Orazi et al., 2006]. I sismometri hanno coperto un'estesa banda di frequenze, essendo stati utilizzati sensori *Lennartz LE-3D/5s* e *LE-3D/20s* (<http://www.lennartz-electronic.de/>), *Guralp CMG-40T 60s* (<http://www.guralp.com/>), *Geotech KS-2000 120s*



Figura 4 Sismometro *Geotech KS-2000* (a), senza isolamento termico, ed accelerometro *Kinemetrics EpiSensor FBA ES-T* (b) installati presso la stazione multisensore di Celle (CELB).

Figure 4 *Geotech KS-2000* Seismometer (a), without insulation, and *Kinemetrics EpiSensor FBA ES-T* accelerometer (b) installed at the multichannel station Celle (CELB).

2.1 Strumentazione utilizzata e installazione delle stazioni

Sono state impiegate stazioni sismiche digitali a tre o sei canali equipaggiate con sismometri a larga banda o a banda estesa e, in due siti, anche con accelerometri (Figura 4). L'acquisizione è avvenuta in locale su supporti rimovibili (compact flash, PC-card) o hard disk. La sincronizzazione della base temporale è stata ottenuta, per tutte le stazioni, mediante ricevitori GPS. Le caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata sono riportate in Tabella 1.

Il posizionamento delle stazioni è stato effettuato utilizzando ricevitori GPS portatili *Trimble® GeoExplorer* e *Garmin® eTrex* all'atto dell'installazione. Le coordinate sono state poi confrontate con quelle fornite nei relativi log dei GPS per ciascuna stazione sismica.

I sistemi di acquisizione impiegati sono stati di diverso tipo, ma comunque tutti caratterizzati da convertitori A/D a 24bit (tranne le stazioni

*Lennartz MARS*lite a 20 bit): *Quanterra Q330* (<http://www.q330.com/>) (Figura 5), *Lennartz MARS*lite e *Lennartz M24* (<http://www.lennartz-electronic.de/>), *Reftek 130-01* (<http://www.reftek.com/>), *Nanometrics Taurus* (<http://www.nanometrics.ca/>), *GILDA* [Orazi et al., 2006]. I sismometri hanno coperto un'estesa banda di frequenze, essendo stati utilizzati sensori *Lennartz LE-3D/5s* e *LE-3D/20s* (<http://www.lennartz-electronic.de/>), *Guralp CMG-40T 60s* (<http://www.guralp.com/>), *Geotech KS-2000 120s*



Figura 5 Acquisitore *Quanterra Q330* con HD esterno *Baler-PB14F* in un contenitore a tenuta stagna.

Figure 5 *Quanterra Q330* seismic station with the external *Baler-PB14F* HD in a rugged plastic housing.

Sigla	Team	Lat N	Long E	H m slm	Acquisitore	Sensore	Campionamento Hz	Basamento sensore
DMP2	OV-RM	40.835500	14.114167	46	Lennartz M24	LE-3D/20s	125	Cemento
BAC2	OV-RM	40.811083	14.081083	38	Lennartz MARSlite	LE-3D/20s	125	Tufo
POZ2	OV-RM	40.821050	14.118667	1	Lennartz MARSlite	LE-3D/20s	125	Cemento
SLF2	OV-RM	40.829266	14.139617	102	Lennartz MARSlite	LE-3D/20s	125	Interrato
STH2	OV-RM	40.829433	14.149317	66	Lennartz MARSlite	LE-3D/20s	125	Cemento
NIS2	OV-RM	40.797483	14.163200	3	Lennartz MARSlite	LE-3D/20s	125	Cemento
TAG2	OV-RM	40.829267	14.173600	4	Lennartz MARSlite	LE-3D/20s	125	Cemento
DRA5	ROMA1	40.784366	14.084933	21	Quanterra Q330	LE-3D/5s	100	Interrato
TEB5	ROMA1	40.817000	14.069350	30	Quanterra Q330	LE-3D/5s	100	Interrato
IRM5	ROMA1	40.829600	14.069958	54	Quanterra Q330	LE-3D/5s	100	Interrato
TOI5	ROMA1	40.851566	14.087633	51	Quanterra Q330	LE-3D/5s	100	Interrato
SAC5	ROMA1	40.854066	14.097316	255	Quanterra Q330	LE-3D/5s	100	Interrato
MAS5	ROMA1	40.856672	14.109016	180	Quanterra Q330	LE-3D/5s	100	Interrato
STO5	ROMA1	40.833116	14.111650	40	Quanterra Q330	LE-3D/5s	100	Cemento
ANF5	ROMA1	40.826200	14.124716	40	Quanterra Q330	LE-3D/5s	100	Tufo
ASO5	ROMA1	40.841466	14.138883	260	Quanterra Q330	LE-3D/5s	100	Interrato
ASE5	ROMA1	40.840183	14.158750	119	Quanterra Q330	LE-3D/5s	100	Interrato
ITA5	ROMA1	40.814533	14.178983	15	Quanterra Q330	LE-3D/5s	100	Interrato
CUS5	ROMA1	40.814450	14.193783	31	Quanterra Q330	LE-3D/5s	100	Interrato
AVC5	ROMA1	40.849400	14.149950	67	Reftek 130B-01	LE-3D/5s	100	Interrato
OLI5	ROMA1	40.820016	14.137933	45	Reftek 130B-01	LE-3D/5s	100	Interrato
AMS2*	OV-RM	40.826450	14.160383	35	Lennartz MARSlite	LE-3D/20s	125	Cemento
BGNB*	OV-RM	40.818883	14.145350	4	Lennartz M24	CMG-40T+ES-T	125	Cemento
OVD*	OV-RM	40.819700	14.182717	14	Lennartz M24	LE-3D/20s	100	Cemento
OMN2*	OV-RM	40.832950	14.090383	40	Lennartz MARSlite	LE-3D/20s	125	Cemento
ASB2*	OV-RM	40.843483	14.145883	12	Lennartz MARSlite	LE-3D/20s	125	Interrato
MSGX*	OV-RM	40.842359	14.182600	110	Nanometrics Taurus	KS-2000	125	Cemento
CELB*	OV-RM	40.832000	14.123100	50	Reftek 130-01	KS-2000+ES-T	100	Cemento
MSA*	OV	40.838643	14.183592	100	GILDA	CMG-40T	100	Cemento
SOB*	OV	40.826467	14.144017	172	GILDA	CMG-40T	100	Interrato
ARCO*	UniSA	40.843900	14.093583	20	Quanterra Q330	CMG-40T	100	Cemento
MRUS*	UniSA	40.862533	14.080400	130	Quanterra Q330	CMG-40T	100	Cemento

Tabella 1 Lista delle stazioni operative durante l'esperienza "UNREST" (Figura 2). Sono indicate le coordinate geografiche, la strumentazione installata, la frequenza di campionamento e la tipologia del basamento. Con l'asterisco (*) sono indicate le stazioni che erano già in funzione nell'area.

Table 1 Code, geographic coordinates, deployed instruments and siting characteristic during the "UNREST" experiment (Figure 2). The asterisk (*) denotes the seismic stations already installed in the area.

(<http://www.geoinstr.com/>) nonché accelerometri *Kinematics EpiSensor FBA ES-T* (<http://www.kinematics.com/>) (Tabella 2).

La messa in esercizio di tutte le stazioni installate per l'esperimento è stata realizzata in breve tempo grazie all'impiego dei moderni sistemi di acquisizione che hanno consentito rapide verifiche del corretto funzionamento degli apparati (Figure 6, 7 e 8).

Questo ha permesso di ottenere la registrazione simultanea di tutte le stazioni per l'intero periodo programmato per l'esperimento.

Il posizionamento dei sismometri è stato effettuato secondo criteri standard ormai collaudati per ottimizzare l'accoppiamento col substrato [Uhrhammer et al., 1998; Castellano et al., 2002]. Nelle installazioni all'esterno, i sensori sono stati tutti interrati al fine di eliminare o ridurre gli effetti di sorgenti esogene quale il vento o la pioggia (Figura 9). I sismometri installati all'interno di strutture pubbliche o private sono stati posizionati su basamenti di cemento solidali col substrato. L'orientazione delle componenti orizzontali ha seguito le direzioni geografiche Nord-Sud ed Est-Ovest.

I sensori a larga banda sono stati opportunamente coibentati per evitare derive legate alle variazioni di temperatura (Figura 10). Gli accelerometri *Kinematics EpiSensor FBA ES-T* sono stati vincolati al basamento con tasselli ad espansione e le staffe in dotazione.

Per semplificare le operazioni d'installazione, dato il breve periodo di registrazione, le stazioni appositamente installate per l'esperimento sono state alimentate con la sola batteria senza sistemi di ricarica (caricabatteria o pannelli solari). L'elevata capacità delle batterie impiegate, VARTA Blue Dynamic da 95 A/h, ed i ridotti consumi delle moderne stazioni sismiche digitali, hanno garantito il corretto funzionamento degli apparati per tutta la durata dell'esperimento (Figura 11).



Figura 6 Installazione dell'acquisitore *Quanterra Q330* alla stazione Toiano (TO15).
Figure 6 *Quanterra Q330* datalogger installation at Toiano station (TO15).



Figura 7 Programmazione dell'acquisitore *Quanterra Q330* alla stazione Toiano (TO15).
Figure 7 *Quanterra Q330* datalogger programming at Toiano station (TO15).

Sismometro	LE-3D/5s	LE-3D/20s	CMG-40T	KS-2000	FBA ES-T
Risposta in frequenza	5 s – 40 Hz	20 s – 40 Hz	60 s – 50 Hz	120 s – 50 Hz	DC – 200 Hz
Sensibilità	400 V/m/s	1000 V/m/s	2*400 V/m/s	2*1000 V/m/s	± 0.25 – ± 4 g
Output	± 5 V	± 10 V	± 10 V	± 20 V	± 20 V
Range dinamico	>120 dB	>120 dB	>145 dB	143 dB	155 dB
Temperatura operativa	-15...+35 °C	-15...+35 °C	-20...+75 °C	-40...+60 °C	-20...+70 °C

Tabella 2 Caratteristiche principali dei sismometri utilizzati.
Table 2 Technical specifications of the deployed seismometers.



Figura 8 Procedure di verifica e programmazione della stazione Grotta della Dragonara (DRA5).
Figure 8 Quanterra Q330 datalogger check out at Grotta della Dragonara station (DRA5).



Figura 9 Installazione del sismometro Lennartz LE-3D/5s alla stazione di Toiano (TOI5).
Figure 9 Lennartz LE-3D/5s seismometer installation at Toiano station (TOI5).



Figura 10 Esempio di coibentazione di un sismometro Guralp CMG-40T. L'impiego di un cilindro di polistirolo ad alta densità dello spessore di 5 cm garantisce una semplice ed ottimale protezione dalle variazioni termiche.
Figure 10 Detail of Guralp CMG-40T insulation. A high density 5 cm thick polystyrene cylinder allows both simple and effective protection from thermal variations.



Figura 11 Collegamento dell'alimentazione alla stazione di Monte Sant'Angelo alla Corvara (MSA5).
Figure 11 External power supply at Monte Sant'Angelo alla Corvara station (MSA5).

2.2 Data Set delle forme d'onda

La realizzazione del *data set* delle forme d'onda è stata preceduta dall'unificazione del formato per i segnali registrati dai diversi acquisitori. I dati registrati in continuo sono stati decodificati con una procedura semi-automatica ed

```
FILE: 20090309010000.ASB2.Z.sac - 1
```

```
-----
NPTS = 450000
  B = 0.000000e+00
  E = 3.599992e+03
IFTYPE = TIME SERIES FILE
LEVEN = TRUE
DELTA = 8.000000e-03
DEPMIN = -5.160960e+03
DEPMAX = 3.809280e+03
DEPMEN = -7.570374e+01
KZDATE = MAR 09 (068), 2009
KZTIME = 01:00:00.000
IZTYPE = BEGIN TIME
KINST = ML126
KDATRDR = 1000Vs/m
KSTNM = ASB2
CMPAZ = 0.000000e+00
CMPINC = 0.000000e+00
STLA = 4.084350e+01
STLO = 1.414590e+01
STEL = 1.200000e+01
LOVROK = TRUE
USER0 = 9.947400e-03
USER1 = 8.035250e-01
KUSER0 = LE3D/20s
KUSER1 = LE-F113
KUSER2 = micro_V
NVHDR = 6
NORID = 0
NEVID = 0
LPSPOL = FALSE
LCALDA = FALSE
KCMPNM = Z
```

Figura 12 Esempio di *header* di un file SAC relativo alla stazione ASB2.

Figure 12 Detail of the SAC file header of ASB2 station.

Etichetta: AAAAMMGHHMSS.XXXX.C.SAC	
AAAA	anno
MM	mese
GG	giorno
HH	ora UTC
MM	minuti
SS	secondi
XXXX	sigla della stazione
C	componente

Tabella 3 Etichetta dei file SAC.
Table 3 SAC files label.

archiviati in file della durata di un'ora (dimensione facilmente gestibile dai programmi di calcolo) nel formato SAC (*Seismic Analysis Code*; <http://www.iris.edu/software/sac/>). Il formato SAC è stato scelto per l'ampia compatibilità sia con i programmi di analisi appositamente realizzati dal Laboratorio Rete Mobile e dal Laboratorio Analisi aVanzate (LAV) della Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano, nonché per la semplice esportabilità nei diversi linguaggi di programmazione matematici (Matlab[®], Mathematica[®], etc...).

Come prima operazione è stata effettuata la verifica del corretto funzionamento degli strumenti (sincronizzazione temporale, presenza di "buchi" nelle registrazioni, ecc.) in base alle informazioni dei *log files* ove disponibili.

L'*header* di ogni file SAC è stato quindi aggiornato con tutte le informazioni relative alle caratteristiche strumentali dei sistemi di acquisizione quali il tipo di sensore (KUSER0), il numero di serie dell'acquisitore (KINST) e del sensore (KUSER1), la grandezza fisica dei segnali archiviati (KUSER2), la costante di trasduzione (KDATRDR) e le coordinate geografiche del sito d'installazione (STLA, STLO, STEL) (Figura 12).

L'etichetta dei file, comune per tutti i dati archiviati, è nel formato standard (Tabella 3). Il volume dei dati registrati da tutte le stazioni impiegate durante l'esperienza è di circa 30 GB; i dati sono attualmente archiviati su unità NAS collegata in rete mediante protocollo TCP/IP.

3. Elaborazioni preliminari

Al fine di evidenziare l'andamento del rumore di fondo nell'area dei Campi Flegrei durante lo svolgimento dell'esperienza, è stato calcolato il valore medio (*rms*) dell'ampiezza del segnale in velocità alla stazione di Astroni (ASB2). La stazione è stata scelta in quanto per ASB2, in funzione da Novembre 2004, si dispone di un vasto *data set* di confronto [Petrosino et al., 2007].

L'analisi è stata effettuata per il periodo 8 - 23 Marzo 2009, comprendendo così sia giorni lavorativi che festivi in modo da rilevare eventuali correlazioni con l'attività antropica, calcolando l'*rms* su finestre temporali successive (e disgiunte) di un'ora estratte dalle registrazioni giornaliere notturne e diurne. In figura 13 è mostrato l'andamento del *rms* originale e filtrato nelle bande 1-5 Hz, 1-10 s e 10-20 s.

Da questi dati si evince come l'andamento dell'ampiezza del *noise* sia fortemente influenzato dall'attività antropica con un marcato andamento diurno-notturno e feriale-festivo (banda 1-5 Hz). I picchi riscontrati nella banda 1-10 s sono riconducibili a variazioni delle condizioni meteo-marine.

Al fine di caratterizzare il livello dell'ampiezza del *noise*

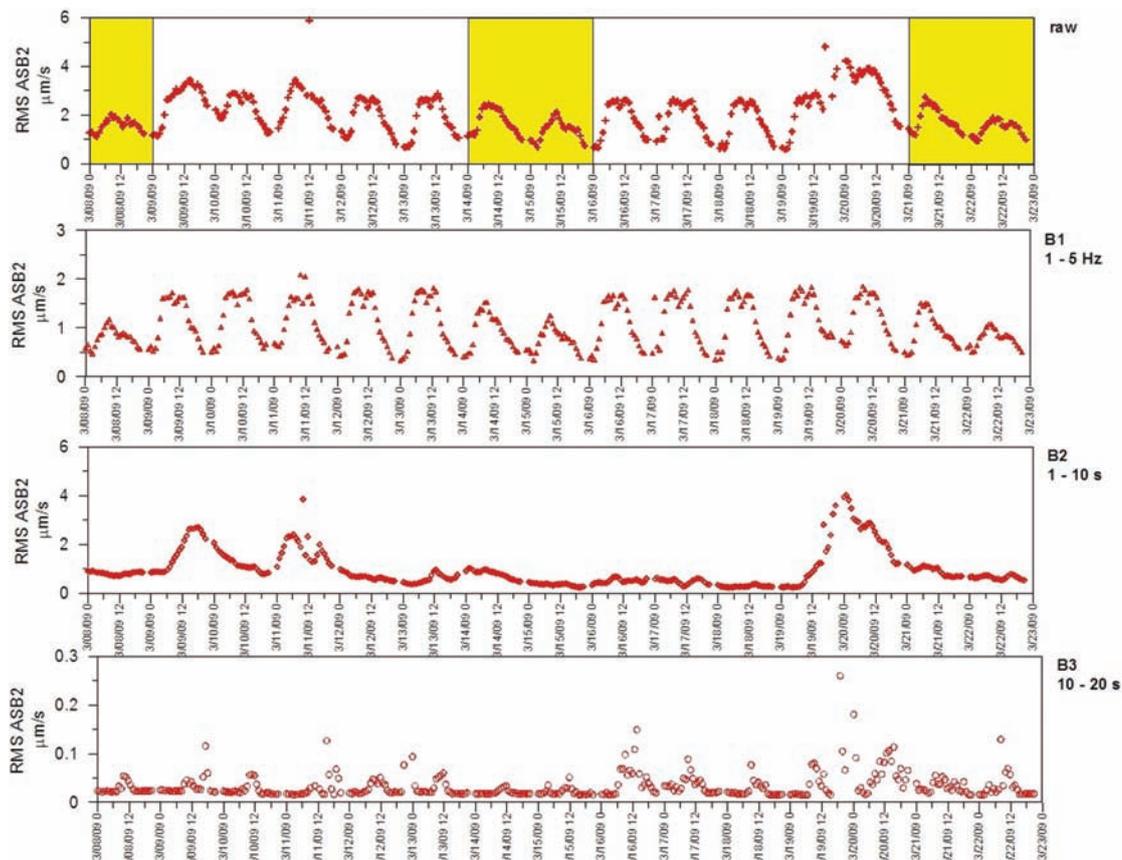


Figura 13 Andamento dell'*rms* alla stazione ASB2 per il periodo 8 – 23 Marzo 2009. È mostrato il segnale originale (*raw*) e filtrato nelle bande 1-5 Hz (B1), 1-10 s (B2) e 10-20 s (B3). In giallo sono evidenziati i periodi di fine settimana.

Figure 13 Amplitude level of the seismic noise (*rms*) at ASB2 station from March 8 to 23, 2009. The real signal (*raw*) as well as the signals filtered in the 1-5 Hz (B1), 1-10 s (B2) and 10-20 s (B3) bands are showed. The yellow areas indicate the week-end.

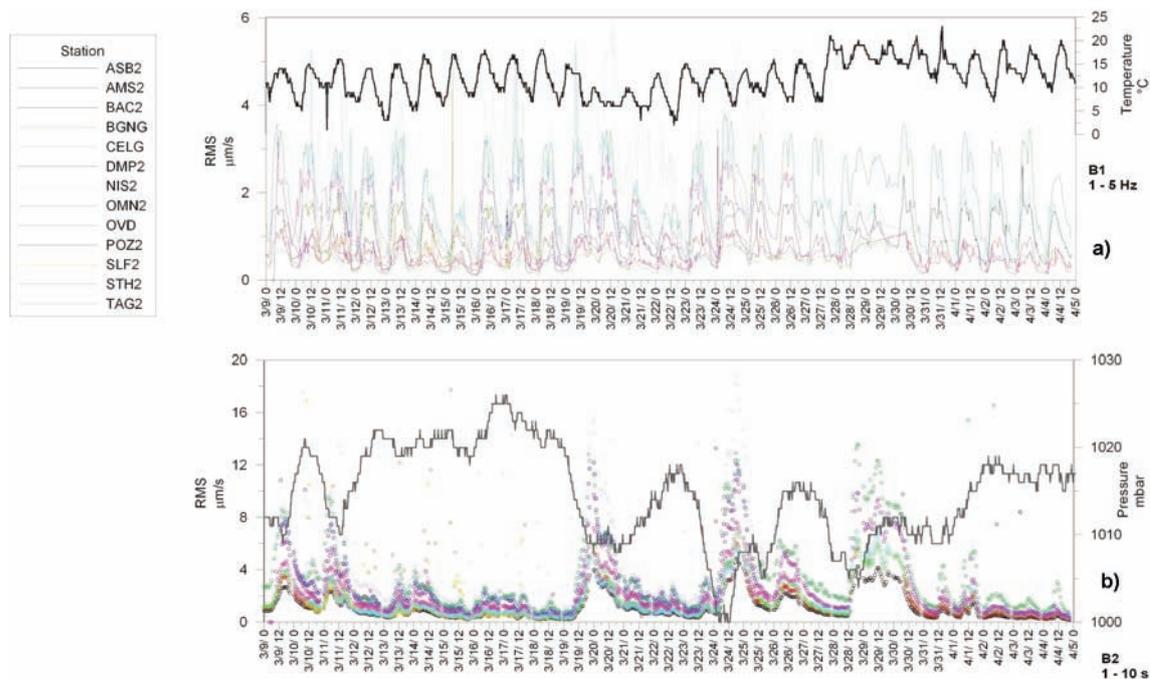


Figura 14 Andamento dell'*rms* del *noise* a 13 stazioni della rete sismica attiva durante l'esperimento correlato con i valori della temperatura (a) e della pressione (b).

Figure 14 Amplitude level of the seismic noise (*rms*) for 13 stations and correlations with temperature (a) and pressure (b) values.

per un maggior numero di siti, in via preliminare è stato calcolato l'*rms* del segnale sismico registrato contemporaneamente a 13 delle stazioni operanti durante l'esperimento per il periodo 9 Marzo – 5 Aprile 2009. Per utilizzare i programmi di calcolo e di conversione dei formati già in uso presso la Sezione di Napoli Osservatorio Vesuviano, sono stati analizzati preliminarmente i dati acquisiti dalle stazioni della Rete Sismica Mobile OV (OV-RM). I dati ottenuti sono stati quindi correlati con alcuni parametri meteorologici relativi allo stesso periodo (Figura 14; dati meteo da: <http://www.wunderground.com/>).

Nella banda di frequenze 1-5 Hz è possibile notare una correlazione dell'ampiezza del *noise* con l'andamento della temperatura (Figura 14a) che riproduce quella legata all'attività antropica diurna-notturna, mentre nella banda 1-10 s sembra evidente una correlazione inversa con l'andamento della pressione atmosferica (Figura 14b). In particolare, per le stazioni di NIS2, POZ2 e BGNG poste in prossimità della linea di costa, l'ampiezza dell'*rms* del *noise* assume valori più elevati (Figura 14a, b), raggiungendo livelli di circa 3-4 volte superiori alla media nella banda 1-5 Hz e di oltre 10 volte nella banda 1-10 s, evidenziando la dominanza della componente meteorologica.

L'analisi dell'ampiezza del rumore e dei relativi spettri

per un segnale sismico della durata di un'ora nella fascia notturna alle stazioni POZ2 (Figura 15), TAG2 (Figura 16) e ASB2 (Figura 17) mette in evidenza massimi spettrali intorno alla frequenza di 0.5 Hz, mostrando chiaramente le differenze tra una stazione costiera (POZ2) e quelle poste più all'interno. La stazione ASB2, installata nell'area dell'Oasi WWF Cratere degli Astroni, mostra i livelli di rumore più bassi (Figura 17).

Infine, sono state analizzate le caratteristiche della polarizzazione del *noise* registrato nelle bande 1-5 Hz e 1-10 s (Figure 18 e 19). Le direzioni e la distribuzione spaziale non sembrano dissimili dalle direzioni ricavate dall'analisi dello *shear wave splitting* effettuate sui terremoti locali durante le crisi sismiche del 1982-1984, 2000 e 2005-2006 [Bianco e Zaccarelli, 2009].

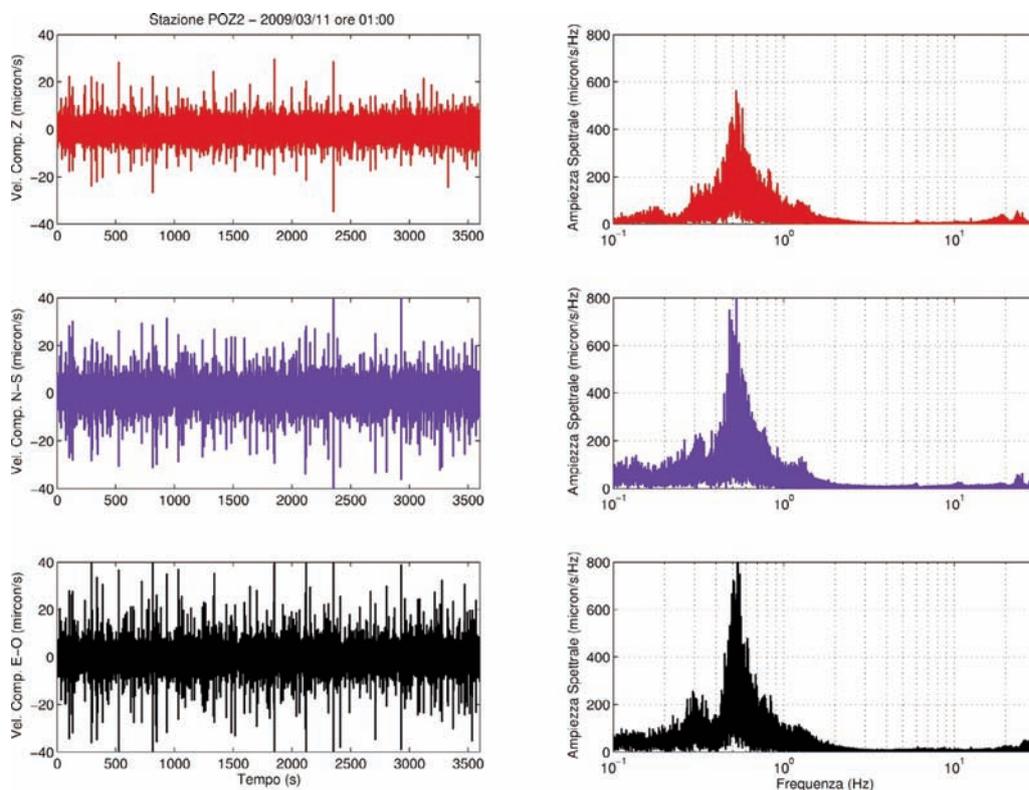


Figura 15 Sismogramma di un'ora di segnale sismico per le tre componenti della stazione POZ2 e relativi spettri di ampiezza (con finestra di *smoothing* pari a 7 punti) calcolati con algoritmo FFT sull'intero segnale.

Figure 15 Three components seismogram of one hour seismic signals at POZ2 station and its amplitude spectra (7 points window smoothed) evaluated with FFT algorithm.

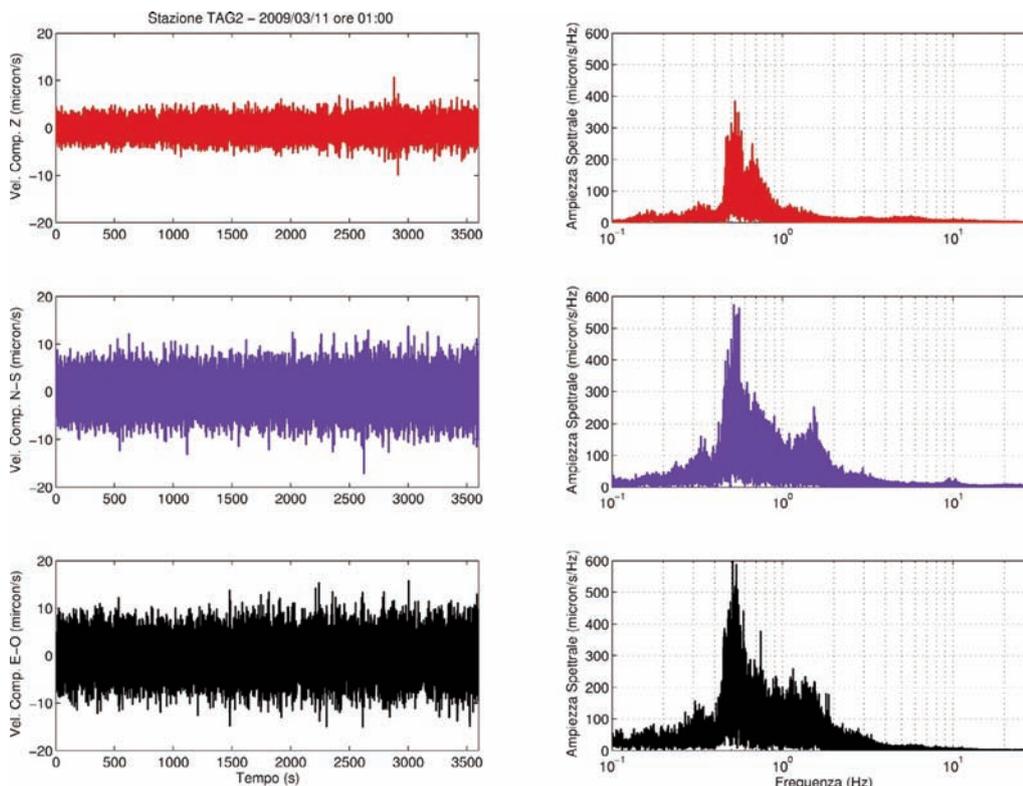


Figura 16 Sismogramma di un'ora di segnale sismico per le tre componenti della stazione TAG2 e relativi spettri di ampiezza (con finestra di *smoothing* pari a 7 punti) calcolati con algoritmo FFT sull'intero segnale.
Figure 16 Three components seismogram of one hour seismic signals at TAG2 station and its amplitude spectra (7 points window smoothed) evaluated with FFT algorithm.

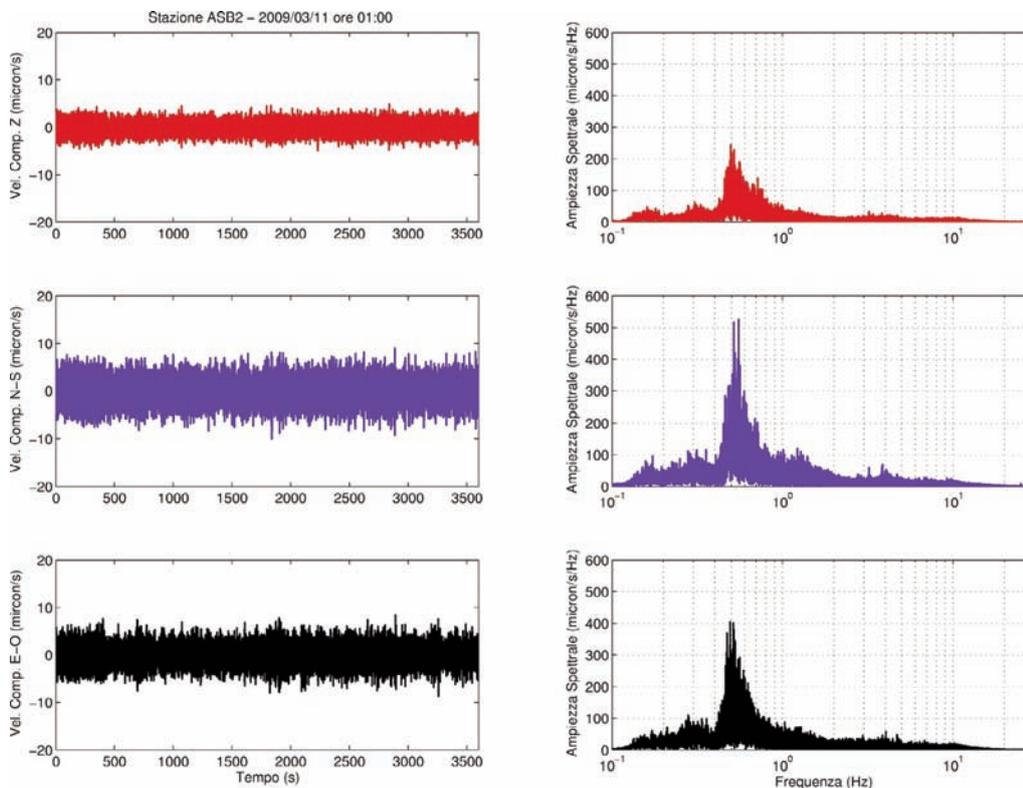


Figura 17 Sismogramma di un'ora di segnale sismico per le tre componenti della stazione ASB2 e relativi spettri di ampiezza (con finestra di *smoothing* pari a 7 punti) calcolati con algoritmo FFT sull'intero segnale.
Figure 17 Three components seismogram of one hour seismic signals at ASB2 station and its amplitude spectra (7 points window smoothed) evaluated with FFT algorithm.



Figura 18 Diagrammi a rosa e distribuzione spaziale delle direzioni di polarizzazione del *noise* nella banda di frequenze 1-5 Hz.
Figure 18 Rose diagrams and spatial distribution of the noise polarization in the 1-5 Hz frequency band.



Figura 19 Diagrammi a rosa e distribuzione spaziale delle direzioni di polarizzazione del *noise* nella banda di frequenze 1-10 s.
Figure 19 Rose diagrams and spatial distribution of the noise polarization in the 1-10 s frequency band.

Conclusioni

Le analisi preliminari finora effettuate consentono di mettere in evidenza una stretta correlazione del livello dell'ampiezza del rumore di fondo con l'attività antropica, tra l'altro facilmente ipotizzabile dato l'elevato grado di urbanizzazione dell'area dei Campi Flegrei. Particolarmente interessante sembra essere il contributo delle condizioni meteorologiche in grado di influenzare i livelli del *noise* a basse frequenze. Inoltre, la vicinanza alla linea di costa può contribuire in modo significativo a determinare il livello del rumore di fondo, incrementandolo anche di un ordine di grandezza nella banda di frequenze 1-10 s, banda all'interno della quale sono stati registrati gli eventi LP del 2006 [Saccorotti et al., 2007; Cusano et al., 2008].

Per il *data set* analizzato le direzioni di polarizzazione del rumore sismico sembrano mostrare andamenti compatibili con quelli ottenuti dallo studio dello *shear wave splitting* sui terremoti vulcano-tettonici in precedenti lavori. In analogia con le interpretazioni di Bianco e Zaccarelli [2009] si può ipotizzare un'influenza della geometria dei lineamenti tettonici sulle caratteristiche di propagazione del *noise*. Il completamento delle analisi per tutte le stazioni della rete sismica operante durante l'esperimento UNREST consentirà di avere un quadro dettagliato della distribuzione spazio-temporale del livello del *noise* e delle sue caratteristiche spettrali e di polarizzazione, rendendo possibile la definizione di parametri, quali la soglia di magnitudo rilevabile, fondamentali per una corretta valutazione della dinamica in atto durante una fase di *unrest*.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Napoli e Pompei per il fondamentale supporto fornito durante le operazioni di ricognizione dei siti ed installazione delle stazioni. Il lavoro è stato realizzato nell'ambito della Convenzione INGV – DPC 2007-2009, Progetto V1 "UNREST - Realization of an integrated method for the definition of the unrest phases at Campi Flegrei".

Bibliografia

Acocella V., (2010). *Evaluating fracture patterns within a resurgent caldera: Campi Flegrei, Italy*. Bull. Volcanol., 72, 623-628, doi: 10.1007/s00445-010-0347-x.

Barberi F., Corrado G., Innocenti G. e Luongo G., (1984). *Phlegrean Fields 1982-1984: brief chronicle of a volcano emergency in a densely populated area*. Bull. Volcanol., 47 (2), 1-22.

Bianco F., Del Pezzo E., Saccorotti G. e Ventura G., (2004).

The role of hydrothermal fluids in triggering the July–August 2000 seismic swarm at Campi Flegrei, Italy: evidence from seismological and mesostructural data. J. Volcanol. Geotherm. Res., 133(1–4), 229–246, doi:10.1016/S0377-0273(03)00400-1.

Bianco F. e Zaccarelli L., (2009). *A reappraisal of shear wave splitting parameters from Italian active volcanic areas through a semiautomatic algorithm*. Journ. Seismol., 13, 253-266, doi:10.1007/s10950-008-9125-z.

Castellano M., Buonocunto C., Capello M. e La Rocca M., (2002). *Seismic surveillance of active volcanoes: the Osservatorio Vesuviano Seismic Network (OVSN – Southern Italy)*. Seism. Res. Lett., 73, 177-184.

Chiodini G., Caliro S., Cardellini C., Granieri D., Avino R., Baldini A., Donnini M. e Minopoli C., (2010). *Long term variations of the Campi Flegrei (Italy) volcanic system as revealed by the monitoring of hydrothermal activity*. J. Geoph. Res., 115, B03205, doi:10.1029/2008JB006258.

Cusano P., Petrosino S. e Saccorotti G., (2008). *Hydrothermal origin for sustained long-period (LP) activity at Campi Flegrei Volcanic Complex, Italy*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 177(4), 1035, doi:10.1016/j.jvolgeores.2008.07.019.

Del Gaudio C., Aquino I., Ricciardi G.P., Ricco C. e Scandone R., (2010). *Unrest episodes at Campi Flegrei: A reconstruction of vertical ground movements during 1905-2009*. J. Volc. Geoth. Res., 195, 48-56, doi:10.1016/j.jvolgeores.2010.05.014.

De Siena L., Del Pezzo E. e Bianco F., (2010). *Seismic attenuation imaging of Campi Flegrei: evidence of gas reservoirs, hydrothermal basins and feeding systems*. J. Geophys. Res., doi:10.1029/2009JB006938 (in stampa).

Di Vito M.A., Isaia R., Orsi G., Southon J., D'Antonio M., de Vita S., Pappalardo L. e Piochi M., (1999). *Volcanic and deformation history of the Campi Flegrei caldera in the past 12 ka*. J. Volcanol. Geotherm. Res. 91, 221–246.

Di Vito M.A., Arienzo I., Braia G., Civetta L., D'Antonio M., Di Renzo V. e Orsi G., (2010). *The Averno 2 fissure eruption: a recent small-size explosive event at the Campi Flegrei caldera (Italy)*. Bull. Volcanol. (in stampa).

La Rocca M., Galluzzo D., Castellano M., Saccorotti G., Bianco F. e Del Pezzo E., (2007). *Vulcani dell'area napoletana e Stromboli - La Rete Mobile*. In: Monografie istituzionali INGV, vol. X, app. I: Convenzione DPC-INGV 2004-2006 - Rendiconto dell'attività svolta nel secondo semestre 2006; INGV (Ed.), Roma; 74-87.

Martini M., Giudicepietro F., D'Auria L., Orazi M., Borriello G., Buonocunto C., Capello M., Caputo A., Caputo T., De Cesare W., Esposito A., Lo Bascio D., Ricciolino P., Peluso R. e Scarpato G., (2008). *Seismological monitoring of Campi Flegrei caldera*. Geophysical Research Abstract vol. 10, EGU2008-A-09610. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-09610.

- EGU General Assembly, Vienna 13-18 April 2008.
- Morhange C., Marriner N., Laborel J., Todesco M. e Oberlin C., (2006). *Rapid sea-level movements and noneruptive crustal deformations in the Phlegrean Fields caldera, Italy*. *Geology* 34, 93–96, doi: 10.1130/G21894.1.
- Orazi M., Martini M. e Peluso R., (2006). *Data Acquisition for Volcano Monitoring*. *EOS Trans.*, 87, 38, 385.
- Orsi G., De Vita S. e Di Vito M., (1996). *The restless resurgent Campi Flegrei caldera (Italy): constraints on its evolution and configuration*. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 74, 179–214.
- Orsi G., Civetta L., Del Gaudio C., de Vita S., Di Vito M.A., Isaia R., Petrazzuoli S.M., Ricciardi G.P. e Ricco C., (1999). *Short-term ground deformations and seismicity in the resurgent Campi Flegrei caldera (Italy): an example of active block-resurgence in a densely populated area*. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 91, 415-451.
- Parascandola A., (1947). *I fenomeni bradisismici del Serapeo di Pozzuoli*. Genovese, Napoli.
- Petrosino S., Cusano P., Del Pezzo E., Castellano M. e Bianco F., (2007). *Vulcani dell'area napoletana e Stromboli - Il Laboratorio di Analisi Avanzate (LAV)*. In: *Monografie istituzionali INGV, vol. X, app. I: Convenzione DPC-INGV 2004-2006 - Rendiconto dell'attività svolta nel secondo semestre 2006*; INGV (Ed.), Roma; 87-94.
- Petrosino S., De Siena L. e Del Pezzo E., (2008). *Re-calibration of the magnitude scales at Campi Flegrei, Italy, on the basis of measured path and site and transfer functions*. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 98, 4, 1964-1974.
- Piochi M., Bruno P.P. e De Astis G., (2005). *Relative roles of rifting tectonics and magma ascent processes: inferences from geophysical, structural, volcanological, and geochemical data for the Neapolitan volcanic region, southern Italy*. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 6, Q07005, doi:10.1029/2004GC000885.
- Rigano R., Cara F., Lombardo G. e Rovelli A., (2008). *Evidence for ground motion polarization on fault zones of Mt. Etna volcano*. *J. Geophys. Res.*, 113, B10306, doi:10.1029/2007JB005574.
- Saccorotti G., Petrosino S., Bianco F., Castellano M., Galluzzo D., La Rocca M., Del Pezzo E., Zaccarelli L. e Cusano P., (2007). *Seismicity associated with the 2004-2006 renewed ground uplift at Campi Flegrei caldera, Italy*. *Phys. Earth. Planet. Int.*, 165, 14-24. doi:10.1016/j.pepi.2007.07.006.
- Tramelli A., Del Pezzo E., Bianco F. e Boschi E., (2006). *3-D scattering image of the Campi Flegrei caldera (Southern Italy). New hints on the position of the old caldera rim*. *Phys. Earth. Planet. Int.*, 155, 269-280.
- Uhrhammer R.A, Karavas W. e Romanowicz B., (1998). *Broadband Seismic Station Installation Guidelines*. *Seism. Res. Lett.* 69, 6; 15-26.
- Vilardo G., Isaia R., Ventura G., De Martino P. e Terranova C., (2010). *InSAR Permanent Scatterer analysis reveals fault re-activation during inflation and deflation episodes at Campi Flegrei caldera*. *Remote Sens. Environ.*, 114, 2373-2383, doi: 10.1016/j.rse.2010.05.014.

Indice

Introduzione	4
1. Inquadramento geologico e dinamica	5
2. L'esperimento "UNREST"	6
2.1 Strumentazione utilizzata e installazione delle stazioni	7
2.2 Data base delle forme d'onda	11
3. Elaborazioni preliminari	11
Conclusioni	16
Ringraziamenti	16
Bibliografia	16

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Laboratorio Grafica e Immagini | INGV Roma

© 2010 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