

ST05

ST04

ST03

ST02

ST01

RAPPORTI TECNICI INGV

Misure sismometriche di noise ambientale
e di una esplosione sotterranea
alla miniera di Sos Enattos (Nuoro):
analisi preliminari



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

411

Punto di scoppio

Miniera Sos Enattos

Direttore Responsabile

Valeria DE PAOLA

Editorial Board

Luigi CUCCI - Editor in Chief (luigi.cucci@ingv.it)
Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)
Mario CASTELLANO (mario.castellano@ingv.it)
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)
Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)
Mauro DI VITO (mauro.divito@ingv.it)
Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)
Milena MORETTI (milena.moretti@ingv.it)
Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)
Umberto SCIACCA (umberto.sciacca@ingv.it)
Alessandro SETTIMI (alessandro.settimi1@istruzione.it)
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)

Segreteria di Redazione

Francesca DI STEFANO - Coordinatore
Rossella CELI
Barbara ANGIONI
Tel. +39 06 51860068
redazione@ingv.it

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale
di Geofisica e Vulcanologia
Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI
Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

RAPPORTI TECNICI INGV

Misure sismometriche di noise ambientale
e di una esplosione sotterranea
alla miniera di Sos Enattos (Nuoro):
analisi preliminari

*Seismic measures of noise and explosion in
Sos Enattos mine (NU): preliminary analysis*

Mario Paratore¹, Michele D'Ambrosio¹, Rebecca Bruni², Gilberto Saccorotti¹

¹INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Pisa

²Università di Pisa | Dipartimento di Scienze della Terra

Accettato 8 aprile 2018 | Accepted 8th April 2019

Come citare | How to cite Paratore M., D'Ambrosio M., Bruni R., Saccorotti G., (2019). Misure sismometriche di noise ambientale e di una esplosione sotterranea alla miniera di Sos Enattos (Nuoro): analisi preliminari. Rapp. Tec. INGV, 411: 1-18.

In copertina Ubicazione delle stazioni sismiche e del punto di scoppio | Cover Location of seismic stations and the shot point

411

INDICE

| | |
|--|-----------|
| Riassunto | 7 |
| <i>Abstract</i> | 7 |
| Introduzione | 7 |
| 1. Area di studio | 7 |
| 2. Caratteristiche strumentali e dati | 8 |
| 3. Analisi preliminari e primi risultati ottenuti | 9 |
| 3.1 Velocità di propagazione e attenuazione del segnale sismico | 10 |
| 3.2 Analisi dei rapporti spettrali e prossime attività | 11 |
| 3.3 Analisi di risposta sismica locale e modelli preliminari di velocità | 12 |
| 4. Conclusioni | 13 |
| Ringraziamenti | 14 |
| Bibliografia | 14 |

Riassunto

Questo articolo descrive i risultati preliminari di una campagna di misura sismica condotta all'interno del complesso minerario dismesso di Sos-Enattos (Lula, NU), mediante l'installazione di un array lineare costituito da cinque stazioni mobili a corto periodo. L'obiettivo della campagna è stato quello di acquisire sia segnali di noise sismico ambientale sia segnali provenienti da una sorgente sismica attiva generata dal brillamento di alcune cariche esplosive all'interno delle attuali gallerie della miniera. Le analisi spettrali del noise sismico evidenziano la presenza di un picco dominante a bassa frequenza dovuto al microsisma marino. Analizzando le prime fasi di arrivo del segnale sismico derivante dall'esplosione è stata stimata la velocità di propagazione delle onde P pari a circa 4500 m/s. Infine, utilizzando tecniche di analisi della risposta sismica locale è stato possibile ottenere indicazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo.

Abstract

This paper describes the preliminary results of seismic survey performed in the area of Sos-Enattos mine (Lula, NU), by installing a linear array consisting of five short-term mobile stations. The aim was to acquire both environmental seismic noise signals and signals from an active seismic source generated by the blast of explosive charges placed inside the mine. The spectral analyses of seismic noise highlight the presence of a dominant low-frequency peak due to the marine microsism. A propagation velocity of P waves equal to 4500 m/s was estimated by analyzing the first arrivals of the seismic signal deriving from the explosion. Finally, using techniques of analysis of the local seismic response it was possible to obtain preliminary indications on the structure of the subsoil.

Introduzione

SAR-GRAV è un progetto che prevede la realizzazione, all'interno del complesso minerario dismesso di Sos Enattos (Lula, NU), di una infrastruttura a basso rumore sismico e antropico dedicata alla ricerca di base nell'ambito della astronomia Gravitazionale, Fisica della Gravitazione e Geofisica [Naticchioni et al., 2018]. Il sito è anche candidato ad ospitare l'*Einstein Telescope* (ET), un rivelatore sotterraneo di onde gravitazionali costituito da interferometri di tipo *Michelson* disposti secondo un triangolo con lato 10 km [Sathyaprakash et al., 2012].

Per una miglior caratterizzazione dei materiali rocciosi che ospiteranno il laboratorio, l'INGV di Pisa ha condotto una campagna di misura delle vibrazioni del suolo prodotte dal brillamento di alcune cariche esplosive per l'allargamento delle attuali gallerie. Di seguito vengono descritte le attività svolte per l'acquisizione dei segnali sismici durante le fasi di brillamento, le caratteristiche della strumentazione utilizzata, e i risultati delle analisi preliminari condotte. In particolare è stata stimata la velocità di propagazione della prima fase del segnale, la caratteristica di attenuazione ed i rapporti spettrali fra le componenti verticali e orizzontali del noise sismico per lo studio di eventuali effetti amplificativi del segnale.

1. Area di studio

L'area di studio è ubicata nei dintorni della miniera di Sos Enattos, situata nel territorio di Lula in Provincia di Nuoro (Sardegna centro-settentrionale). La zona di studio è caratterizzata da una modestissima sismicità [e.g., Cimini et al., 2016]. Per l'ultimo trentennio, i cataloghi strumentali riportano solo 3 eventi ad una distanza di circa 30 km dalla miniera, con magnitudo comprese

fra 1 e 2.2 [ISIDe working group, 2016]. L'area è caratterizzata da estesi affioramenti del basamento ercinico [Carmignani et al., 2012], di età paleozoica, caratterizzato da falde varisiche ("zona a falde") vergenti verso SW [Carmignani et al., 1987]; si tratta, nello specifico, di rocce metamorfiche di basso e medio grado del Cambriano medio - Ordoviciano inferiore (Postgotlandiano; Figura 1). Dal punto di vista litologico, il Postgotlandiano è costituito da alternanze di metarenarie, filladi e quarziti, con una potenza complessiva che può superare i 1000 metri. L'area in cui sono state installate le stazioni sismiche è caratterizzata unicamente da affioramenti di metamorfiti di basso grado (filladi) con presenza di alcuni filoni idrotermali.

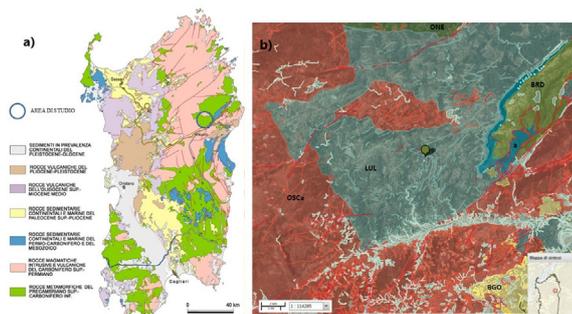


Figura 1 a) Mappa geologica della Sardegna; b) Mappa geologica dell'area intorno a Lula (NU), estratta dal Geoportale della Regione Sardegna: LUL = Filladi di Lula; OSCa = Unità intrusiva di Sos Canales; a = Depositi di versante; BRD = Formazione di Monte Bardia; BGO = Basalti dei Gollei; ONE = Ortogneiss di Lodè-Mamone. (<http://www.sardegnaegeoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=mappetematiche>).

Figure 1 (a) Geological map of Sardinia; (b) Geological map of the area around Lula (NU), extracted from the Geoportal of the Sardinia Region: LUL = Lula's Filladi; OSCa = Intrusive Unit of Sos Canales; a = slope deposits; BRD = Monte Bardia Formation; BGO = Gollei basalts; ONE = Ortogneiss of Lodè-Mamone.

2. Caratteristiche strumentali e dati

Per la registrazione dei segnali sismici sono state installate cinque stazioni mobili, equipaggiate con sensori a corto periodo a tre componenti, le cui caratteristiche sono riassunte in Tabella 1.

| Sito | Lat (WGS84) | Lon (WGS84) | X (UTM) | Y (UTM) | Z (m s.l.m.) | Acquisitore | Sensore | SPS | Distanza (m) |
|------|-------------|-------------|------------|-------------|--------------|-------------------|-------------|-----|--------------|
| ST01 | 40.446552 | 9.457308 | 538780.272 | 4477422.442 | 321 | Centaur-6 0293 | Lennartz-1s | 250 | 405.94 |
| ST02 | 40.450181 | 9.458474 | 538877.06 | 4477825.771 | 336 | ATLAS EB-234 (6c) | Lennartz-1s | 250 | 811.54 |
| ST03 | 40.453792 | 9.456564 | 538713.025 | 4478225.751 | 414 | ATLAS EB-253 | Tellus-1s | 250 | 1215.58 |
| ST04 | 40.457348 | 9.456470 | 538703.014 | 4478620.425 | 399 | ATLAS EB-252 | Tellus-1s | 250 | 1604.57 |
| ST05 | 40.461423 | 9.455933 | 538655.147 | 4479072.513 | 509 | ATLAS EB-251 | Tellus-1s | 250 | 2068.96 |
| Shot | 40.443000 | 9.457516 | 538799.953 | 4477028.264 | 228 | / | / | / | 0.00 |

Tabella 1 Localizzazione del punto di scoppio e delle stazioni sismiche con le relative caratteristiche strumentali.
Table 1 Location of the burst point and characteristics of the seismic stations.

Le stazioni sismiche sono state installate lungo un allineamento N-S con una interdistanza di circa 400 m, per una copertura totale di circa 2 km dal punto di scoppio (Figura 2). Tutti i sensori hanno registrato in continuo con intervallo di campionamento 0.004 s (250 SPS) dal completamento dell'installazione (03/10/2018), a un'ora circa dopo l'esplosione, avvenuta alle 10:36 ora locale del 04/10/2018.

Il punto sorgente è posizionato a circa 80 m di profondità rispetto all'imbocco della galleria ed è costituito da quattro gruppi di cariche per un totale di 25 kg di esplosivo di tipo RIODIN HE (40x400 mm). In Figura 3 vengono mostrate le fasi di installazione di una stazione e gli effetti dell'esplosione all'interno della galleria.

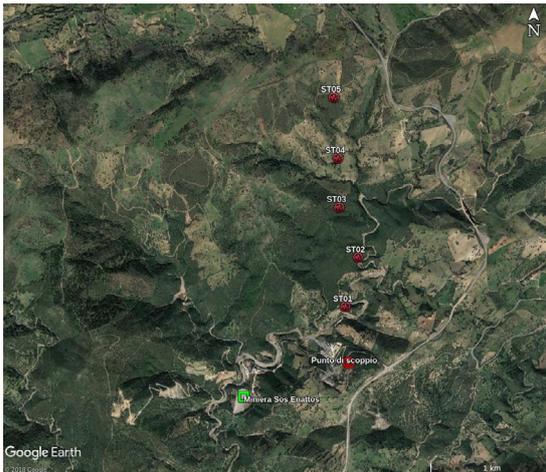


Figura 2 Ubicazione delle stazioni sismiche e del punto di scoppio.

Figure 2 Location of seismic stations and the shot point.



Figura 3 Stazione ST04 ed effetti della esplosione all'interno della galleria di Sos Enattos.

Figure 3 Station ST04 and effects of the explosion inside the Sos Enattos tunnel.

3. Analisi preliminari e primi risultati ottenuti

Lo studio è stato condotto analizzando sia registrazioni di rumore sismico ambientale di durata massima di circa 24 ore, sia del segnale sismico generato dall'esplosione. In tutte le stazioni installate, gli spettri del rumore sismico ambientale sono caratterizzati da un picco dominante a frequenze minori di 1 Hz. La Figura 4 mostra un esempio di un'ora di rumore sismico registrato alla componente verticale della stazione ST02, mentre in Figura 5 vengono mostrate le *Power Spectral Density* (PSD) delle componenti orizzontali e verticale della stessa stazione, relative ad un intervallo temporale di 8 ore antecedente alle operazioni di posa in opera degli esplosivi e al brillamento delle cariche. Le PSD sono state stimate su segnali non corretti per la funzione di risposta strumentale. Pertanto, il picco dominante, la cui origine è da attribuirsi al microsisma marino, è da considerarsi sottostimato rispetto all'ampiezza reale. Esso, tuttavia, appare chiaramente visibile in ciascuna componente del segnale.

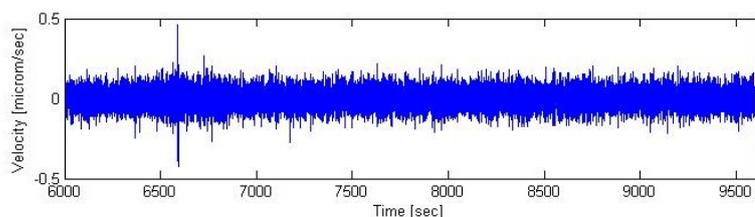


Figura 4 Noise sismico registrato durante le ore notturne di giorno 04/10/2018 alla stazione ST02 (componente verticale).

Figure 4 Seismic noise recorded during the night hours of 10/04/2018 at the ST02 station (vertical component).

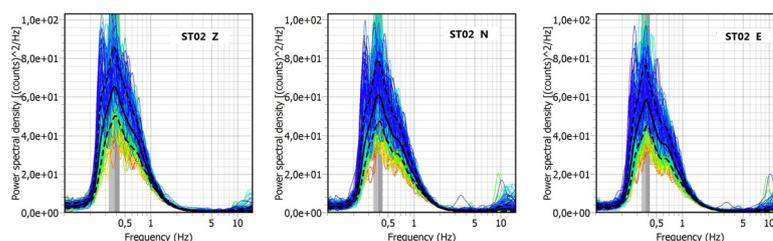


Figura 5 Power Spectral Density del noise registrato alle componenti orizzontali (N-S, E-W) e verticale (Z) della stazione ST02 relative ad un intervallo temporale di 8 ore. Le linee colorate indicano le singole stime spettrali ottenute su finestre consecutive della durata di 60s. La linea nera continua rappresenta il valore medio, mentre le linee tratteggiate indicano l'intervallo di confidenza pari a 1 σ .

Figure 5 Power Spectral Density of noise recorded at the horizontal (N-S, E-W) and vertical (Z) components of the ST02 station relating to an 8-hour window. The colored lines are relative to single 60s windows. The continuous black line represents the average value, while the dotted lines indicate the confidence interval equal to 1 σ .

3.1 Velocità di propagazione e attenuazione del segnale sismico

Sono state analizzate le prime fasi di arrivo e la componente spettrale del segnale sismico derivante dall'esplosione di ciascun gruppo di cariche costituenti la volata (Figura 6).

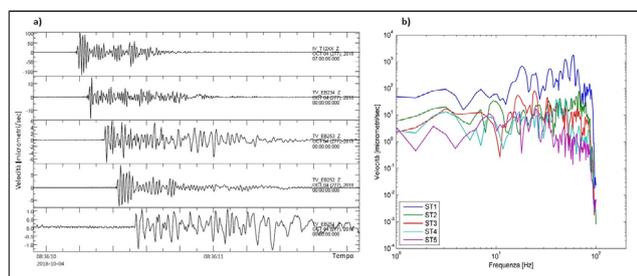


Figura 6 a) Registrazione della volata di cariche esplosive osservata alla componente verticale delle 5 stazioni. I sismogrammi rappresentano la velocità del suolo, e sono ordinati - dall'alto verso il basso - per distanze crescenti dalla sorgente. b) Confronto tra gli spettri dei segnali delle esplosioni registrati alla componente verticale.

Figure 6 (a) Recording of the explosion at the vertical component of the 5 stations. Seismograms represent the velocity of the soil, and are ordered - from top to bottom - for increasing distances from the source. (b) Comparison of the spectra recorded at the vertical component.

Dall'analisi dei sismogrammi risultano ben evidenti 4 gruppi di cariche con un delay temporale fra ciascun gruppo di circa 0,1 secondi. A partire da questi dati è stato possibile stimare la velocità di propagazione del segnale sismico (onde P) lungo lo stendimento pari a circa 4500 m/s (Figura 7).

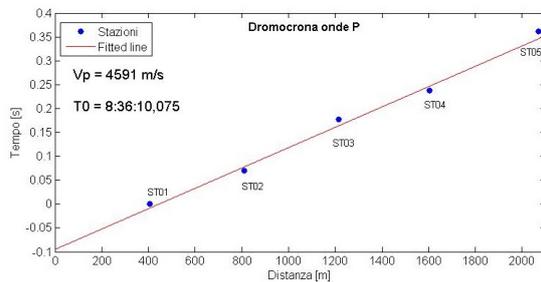


Figura 7 Dromocrona delle onde P ottenuta dal picking del primo arrivo del segnale sismico.

Figure 7 Dromochron of the P waves obtained from the picking of the first arrival of the seismic signal.

È stata inoltre stimata la curva di attenuazione dell'energia elastica con la distanza (Figura 8) riferita al picco più energetico della fase P del primo gruppo di cariche. Dall'analisi di tale curva, si evidenzia una anomala amplificazione del segnale registrato alla stazione ST04. Ciò è confermato dal diverso contenuto in frequenza e di onde di superficie rilevato alla stazione ST04 rispetto al segnale registrato alle limitrofe stazioni ST03 e ST05. Tali differenze, facilmente osservabili in Figura 6, sono probabilmente da imputare ad effetti di amplificazione locale, legati al sito di installazione della stazione ST04, costituito da un terrazzamento fluviale recente con potenza massima di circa 2 metri.

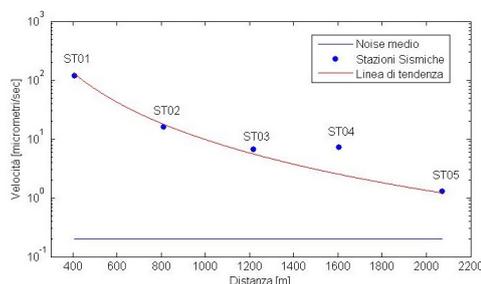


Figura 8 Curva di attenuazione del segnale sismico.

Figure 8 Attenuation curve of the seismic signal.

3.2 Analisi dei rapporti spettrali e prossime attività

Il segnale sismico del *noise* ambientale è stato analizzato mediante tecnica a stazione singola, meglio conosciuta come “metodo HVSR” [Nakamura, 1989]. Tale tecnica analizza il rapporto spettrale tra le componenti orizzontali e la componente verticale del segnale sismico acquisito, al fine di evidenziare significativi contrasti d'impedenza. Il processing dei dati consiste nella scomposizione del segnale in finestre d'analisi mobili della lunghezza di 120 secondi tra le quali sono state selezionate, mediante un algoritmo di *anti-triggering*, quelle in cui il campo di *noise* è più uniforme e non dipendente da eventi transienti. Successivamente viene calcolato lo spettro di ampiezza di tutte le componenti del moto attraverso trasformata veloce di Fourier (FFT) per ognuna delle finestre selezionate ed applicato uno *smoothing* di tipo *Konno-Ohmachi* [Konno & Ohmachi, 1998] alla funzione spettrale (coefficiente $b=40$). Per ognuna delle finestre selezionate viene stimato il rapporto tra la media delle componenti orizzontali e la verticale. Infine viene stimata la media RMS dei rapporti H/V e la relativa deviazione standard. Le analisi sono state condotte mediante l'uso del software Geopsy (<http://www.geopsy.org/>). Dall'osservazione delle curve HVSR si evidenzia la presenza di un picco alla stazione ST01 con ampiezza massima superiore a 2 rilevato alla frequenza di 25 Hz e direzione 90°.

Tale picco, che si estende su un ampio intervallo di frequenza e con significativi margini di confidenza, non trova una immediata interpretazione in chiave geologico-stratigrafica. Nessuna delle altre stazioni presenta picchi di ampiezza significativa (Figura 9) che, secondo i criteri proposti dal Progetto SESAME (2004), possano essere attribuiti a fenomeni di risonanza associati ad un netto contrasto di impedenza fra due sismostrati sovrapposti. Tuttavia, nel diagramma relativo alla stazione ST04 è osservabile un picco alla frequenza di 30 Hz, con valore del rapporto H/V prossimo a 2 e direzionalità di circa 45°. Per quanto l'ampiezza di tale picco sia scarsamente significativa, la sua origine potrebbe essere associata alla presenza di un terrazzo alluvionale di modesto spessore, individuato durante il rilievo geologico di superficie svolto in fase di installazione.

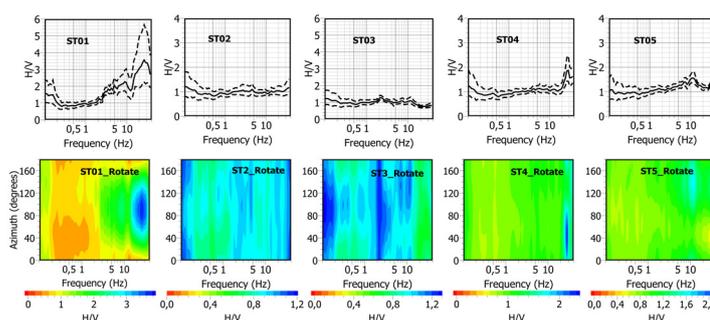


Figura 9 Curve HVSR relative al noise ambientale (immagine superiore) e diagramma di direzionalità (immagine inferiore).

Figure 9 HVSR curves related to ambient noise (upper image) and directionality diagram (lower image).

3.3 Analisi di risposta sismica locale e modelli preliminari di velocità

Al fine di caratterizzare le proprietà del sito e di valutare la risposta sismica locale lungo lo stendimento, è stata condotta una analisi preliminare sulle curve di dispersione relative alle onde di superficie generate dall'esplosione dei 4 gruppi di cariche. Tali curve esprimono l'andamento della velocità di gruppo delle onde piane che attraversano un'antenna sismica in funzione della loro frequenza. Nel caso in cui le onde piane intercettate siano onde superficiali è possibile dedurre dalla curva di dispersione informazioni relative all'andamento del profilo di velocità delle onde S al di sotto dell'array. Le curve di dispersione sono state ricavate valendosi di un approccio a stazione singola (metodo Frequency-Time Analysis; FTAN), basato sulla variazione della funzione di densità spettrale con la frequenza [Levshin et al. 1972, 1992]. Il metodo FTAN consente l'estrazione della curva di dispersione relativa alla velocità di gruppo ottenuta dal modo fondamentale delle onde di Rayleigh e rappresenta una evoluzione dell'analisi a filtri multipli originariamente sviluppata da Dziewonski et al. (1969). Questa tecnica utilizza un filtro Gaussiano a banda molto stretta, con frequenza centrale variabile, che non introduce distorsione di fase. Per ciascuna banda del filtro, il quadrato dell'ampiezza dell'involuppo del segnale filtrato corrisponde all'energia trasportata dalla componente centrale della banda di frequenza. Per una distanza epicentrale nota, il tempo di arrivo è inversamente proporzionale alla velocità di gruppo, e l'energia viene rappresentata in funzione della velocità di gruppo e della frequenza centrale del filtro. Il processo è ripetuto per diverse frequenze centrali, generando una mappa FTAN le cui colonne rappresentano i valori energetici ad una determinata frequenza in funzione della velocità di gruppo. L'analisi è stata eseguita alle stazioni più distanti dal punto sorgente (ST03, ST04, ST05), in quanto in esse sono maggiormente identificabili gli arrivi delle onde di superficie (onde di Rayleigh).

La Figura 10 riporta un esempio di mappa FTAN ottenuta alla stazione ST05. La curva di dispersione è stata misurata individuando, a ciascuna frequenza di analisi, la velocità di gruppo corrispondente al valore di picco dell'energia. Per la medesima frequenza di analisi, tuttavia, sono spesso presenti molteplici picchi di ampiezza comparabile, implicando quindi un'ambiguità nell'individuazione della velocità di gruppo corrispondente a tale frequenza. Questo fenomeno è verosimilmente attribuibile a (i) fenomeni di interferenza associati all'attivazione consecutiva dei vari gruppi di cariche, e (ii) sovrapposizione di vari modi di propagazione.

La curva di dispersione illustrata in Figura 10 è poi stata invertita per ottenere un profilo unidimensionale di velocità delle onde S utilizzando il codice DINVER del software Geopsy (<http://www.geopsy.org/>). In considerazione delle caratteristiche geologiche dell'area, costituita da un unico affioramento molto potente di metamorfiti di basso grado, il profilo iniziale di velocità è stato definito utilizzando un semplice modello di sottosuolo formato da uno strato superficiale, con spessore variabile durante i cicli iterativi fino a un massimo di 400m e velocità crescente con il carico geostatico, poggiante su un semi-spazio. Nella procedura di inversione sono stati generati circa 5100 modelli, ottenuti variando lo spessore del primo strato e le velocità del modello di partenza. Il modello di velocità risultante dall'inversione, ed il confronto fra la curva di dispersione predetta e quella osservata sono illustrati in Figura 11.

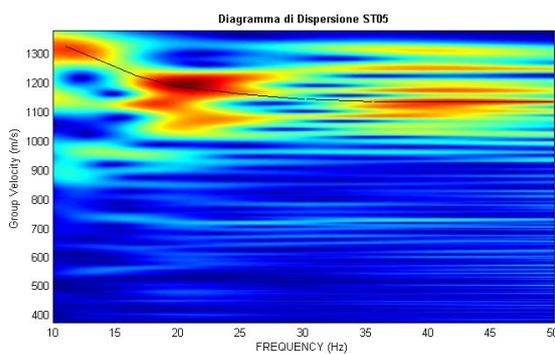


Figura 10 Esempio di mappa FTAN alla stazione ST05. La curva nera identifica la curva di dispersione delle onde Rayleigh.

Figure 10 Dispersion diagram. The black curve identifies the Rayleigh wave dispersion curve.

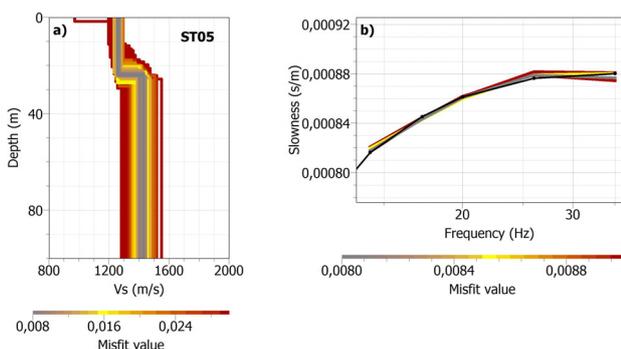


Figura 11 (a) Profilo di velocità delle onde S alla stazione ST05. (b) Curva di dispersione (in nero la curva sperimentale).

Figure 11 (a) S-wave velocity profile at station ST05. (b) Dispersion curve (the black curve is the experimental one).

4. Conclusioni

Il progetto di studio ha permesso di raccogliere sia dati di noise sismico ambientale, sia segnali provenienti da una sorgente sismica attiva in un'area interessata da scarsa sismicità strumentale. Le analisi del rumore sismico non evidenziano possibili effetti di amplificazione del segnale (H/V). L'analisi di risposta sismica locale (analisi di dispersione con metodo FTAN) ha fornito indicazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo. Tuttavia, sia le ambiguità nell'identificazione delle velocità di gruppo nelle mappe di dispersione (probabilmente dovuti alla tecnica di brillamento dei gruppi di cariche), sia i limiti dei metodi di inversione, possono generare modelli non univocamente determinabili. Sarà pertanto necessario acquisire nuovi elementi vincolanti,

soprattutto a carattere geologico, che contribuiscano a ridurre il grado di incertezza. Tali elementi saranno inoltre utili nelle elaborazioni delle curve di dispersione ricavate dall'analisi delle registrazioni del campo d'onda delle vibrazioni ambientali.

Ringraziamenti

Sinceri ringraziamenti a Marco Capello (INGV Pisa), per l'approntamento della strumentazione sismica utilizzata durante la campagna indagini e per la collaborazione nella definizione della logistica delle installazioni. Si ringrazia inoltre Luca Loddo ed il personale della Miniera di Sos Enattos per la disponibilità delle strutture e la fattiva collaborazione offerta durante l'esecuzione delle misure, e Domenico D'Urso per l'assistenza durante la predisposizione e l'esecuzione della campagna.

Bibliografia

- Carmignani L., Coccozza T., Ghezzi C., Pertusati P.C., Ricci C.A., (1987). *Structural Model of the Hercynian Basement of Sardinia*. Stabilimento L. Salomone, Roma.
- Carmignani L., Conti P., Funedda A., Oggiano G., Pasci S., (2012). *La geologia della Sardegna*. Geol.F.Trips, Vol.4 No.2.2 (2012), 104 pp., 64 figs., doi: 10.3301/GFT.2012.04.
- Cimini G.B., Marchetti A., Silvestri M., (2016). *L'esperimento Sardinia Passive Array (SPA): acquisizione dati sismici per lo studio della geodinamica e della sismotettonica dell'area Mediterranea*. Rapporti Tecnici INGV, n.334, ISSN 2039-7941.
- Dziewonski A., Bloch S., Landisman M., (1969). *A technique for the analysis of transient seismic signals*. Bull. Seism. Soc. Am., 59, pp. 427-444.
- ISIDe working group (2016) version 1.0, DOI: 10.13127/ISIDe.
- Levshin A.L., Pisarenko V., Pogrebinsky G., (1972). *On a frequency-time analysis of oscillations*. Annales Geophys., 28, pp. 211-218.
- Levshin A.L., Ratnikova L.I., Berger J., (1992). *Peculiarities of surface wave propagation across Central Eurasia*. Bull. Seism. Soc. Am., 82, pp. 2464-2493.
- Konno K. and Ohmachi T., (1998). *Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor*. Bulletin of the Seismological Society of America, 88(1), pp. 228-241.
- Naticchioni L., Carpinelli M., Oggiano G., Ricci F., Rapagnani P., Puppo P., Majorana E., Calloni E., De Rosa R., Di Fiore L., Gemme G., Chincarini A., Fidecaro F., Losurdo G., Gennai A., Frascioni F., Passaquieti R., Passuello D., Cella G., Loddo L., (2018). *SAR-GRAV: the Sardinia Underground Laboratory, a first module for the Einstein Telescope infrastructure*. GRAvitational-wave Science & technology Symposium (GRASS 2018), 1-2 March 2018, Padova (Italy).
- Nakamura Y., (1989). *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*. Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol. 30, No.1.
- Sathyaprakash B. et al., (2012). *Scientific objectives of Einstein Telescope*. Class. Quantum Grav. 29:124013, doi:10.1088/0264-9381/29/12/124013.
- SESAME, (2004). *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations - Measurements, processing and interpretation*. SESAME European research project. WP12 – Deliverable D23.12.

QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html/>

I QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html/>

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

Coordinamento editoriale e impaginazione

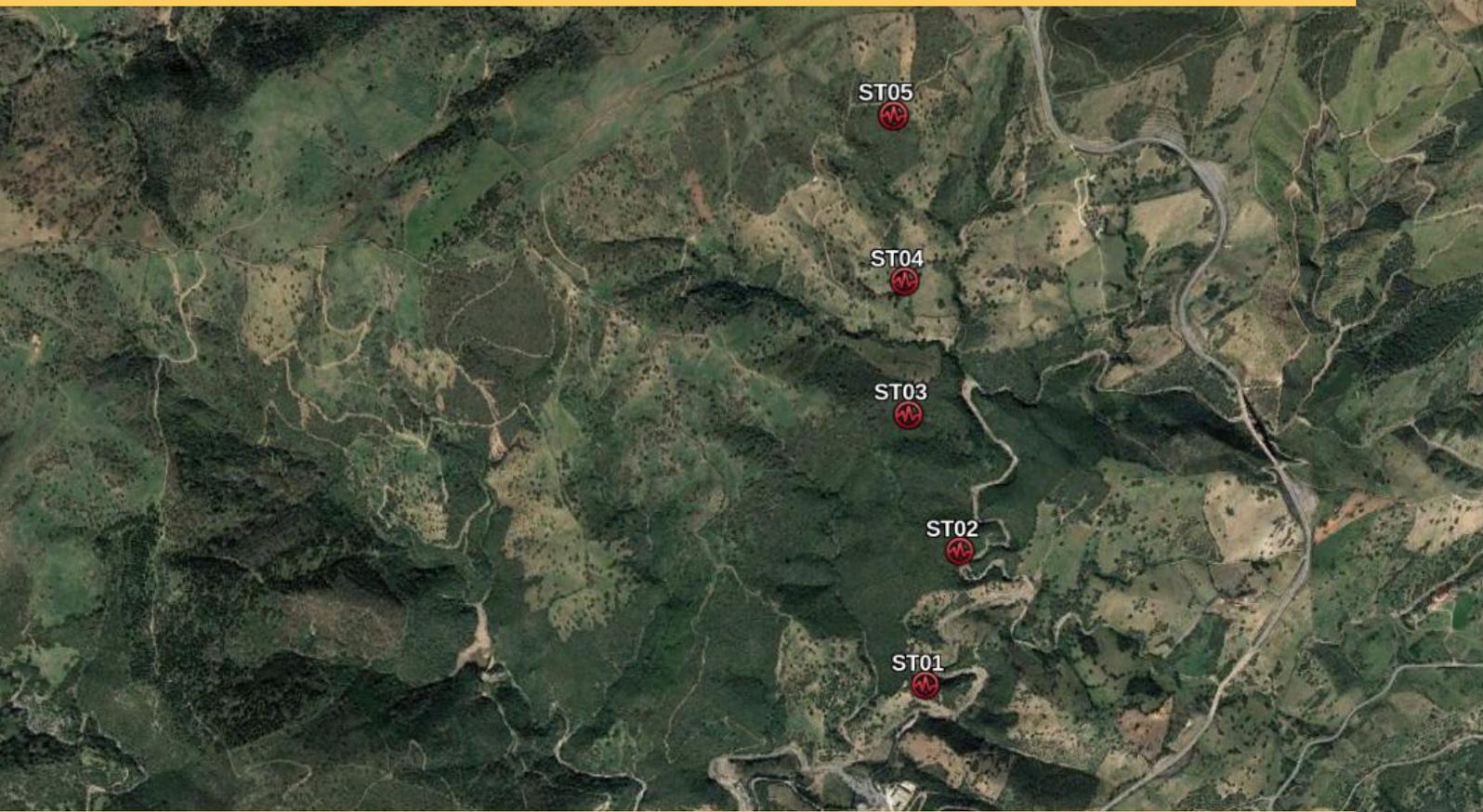
Francesca DI STEFANO, Rossella CELI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Progetto grafico e impaginazione

Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

©2019
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605
00143 Roma
t. +39 06518601

www.ingv.it



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

