



**ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA**

***REPORT SULL'INTERVENTO AD ACILIA 7 OTTOBRE-18 OTTOBRE 2022***

**05/12/2022**

*Working Group Laboratorio Effetti di Sito (INGV) con il personale intervenuto ad Acilia:*

Di Giulio Giuseppe, Famiani Daniela, Hailemikael Salomon,  
Mercuri Alessia, Pischiutta Marta, Bordoni Paola

Da citare come: Laboratorio Effetti di Sito (2022) - Rapporto sulle attività svolte dal gruppo di lavoro a seguito dell' intervento ad Acilia 7 Ottobre-18 Ottobre 2022. Pubblicato Dicembre 2022, URL: <http://hdl.handle.net/2122/15828>

## **Report dell'intervento ad Acilia**

### **1. Motivazione**

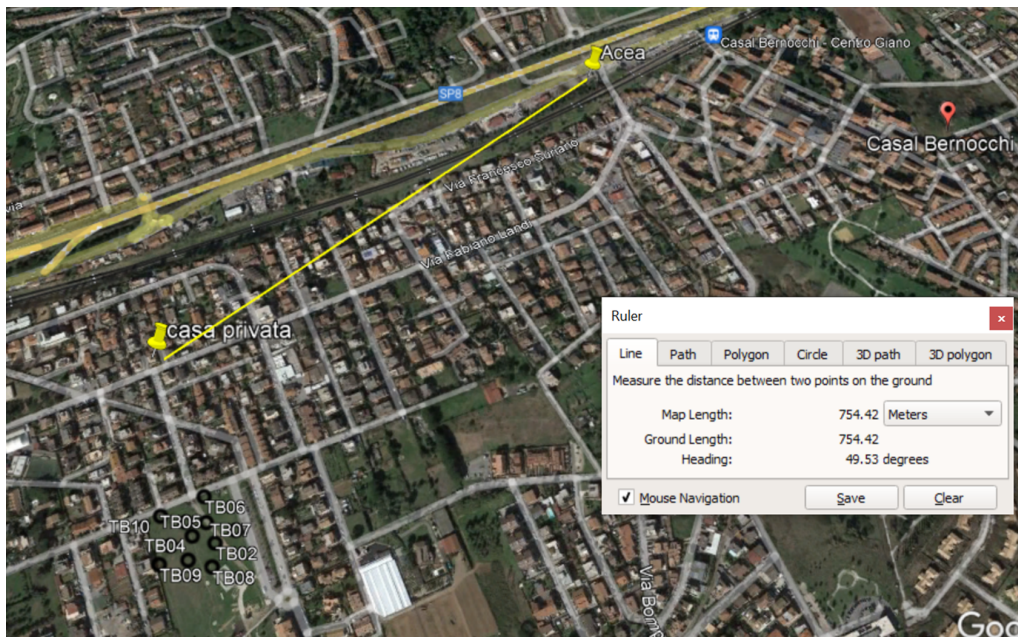
Un team di dipendenti dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) afferenti al Laboratorio Effetti di Sito (<https://www.ingv.it/it/monitoraggio-e-infrastrutture-per-la-ricerca/laboratori/laboratorio-effetti-di-sito>) è intervenuto nel mese di Ottobre 2022 ad Acilia, frazione di Roma Capitale, per investigare l'origine dei boati avvertiti dalla popolazione tra Via di Valle Porcina e Casal Bernocchi, su sollecitazione dell'Ufficio Rischio Geologico e Geomorfologico di Roma Capitale-Dipartimento di Protezione Civile. I boati, con associate vibrazioni del terreno, avevano già allertato parte della popolazione di Acilia nel mese di Settembre 2021, per poi ripresentarsi a Settembre 2022. In particolare, un fonogramma del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco (n. Scheda 28239 del 6.9.2021) riportava come i VV.F stessi, intervenuti a seguito di chiamate dei cittadini, avessero percepito nitidamente i boati presso Via Giuseppe Fagnano, all'incrocio con Via Fabiano Landi, rimandando quindi alla necessità di un intervento mediante l'uso di idonee strumentazioni e specifiche ricerche da parte di esperti e professionisti specializzati. Sempre a Settembre 2021 è datato uno scambio di comunicazioni tra ACEA Acqua-Direzione Operazioni Depurazione e Fognature Roma (Prot. 633271/P del 08/09/2021) e Dipartimento Sicurezza e Protezione Civile-Roma Capitale (Prot 9193 del 09/09/2021 e 9357 del 16/09/2021) in merito a un eventuale ruolo delle elettropompe dell'impianto di sollevamento delle acque nere di Casal Bernocchi (ubicato in via del Ponte Ladrone 2) nell'occorrenza dei boati percepiti dalla popolazione.

A Settembre 2022 i boati e relative vibrazioni del terreno sono stati nuovamente avvertiti presso la località sopra citata. Il team di dipendenti INGV ha conseguentemente programmato un intervento per il monitoraggio delle vibrazioni del terreno presso alcuni siti ad Acilia su specifica richiesta del Dott. Gianluca Ferri (Ufficio Rischio Geologico e Geomorfologico di Roma Capitale-Dipartimento di Protezione Civile).

In particolare, si è concordato di installare, a partire da venerdì 7 Ottobre 2022, e mantenere operative per circa 10 giorni consecutivi, due stazioni sismiche ad Acilia. La prima nei pressi dell'impianto di sollevamento ACEA di Via Ponte Ladrone 2, e una seconda stazione sismometrica in un'abitazione privata ubicata in Via Fagnano 9, area dove i boati sono stati percepiti maggiormente dai

residenti. I due siti distano tra loro circa 750 m in linea d'aria (Fig. 1 e Tabella 1).

Durante il periodo di monitoraggio, un unico forte boato con associata vibrazione del terreno è stato segnalato dai residenti di Via Fagnano 9, avvenuto la mattina di sabato 8 Ottobre e registrato dalla strumentazione sismica installata dal giorno precedente.



**Figura 1.** Immagine satellitare dell'area investigata. I due marker gialli mostrano la posizione delle stazioni sismiche installate da INGV: impianto ACEA di Via Ponte Ladrone 2 e abitazione privata di Via Fagnano 9. In linea d'aria i due siti distano circa 750 m.

## 2. Installazione degli strumenti

Ogni stazione sismica installata è composta da un acquirente digitale 24-bit (Reftek130

<https://www.passcal.nmt.edu/content/instrumentation/dataloggers/3-channel-dataloggers/reftek-rt-130-datalogger>) connesso ad un sensore velocimetrico triassiale (Lennartz-3D 5s

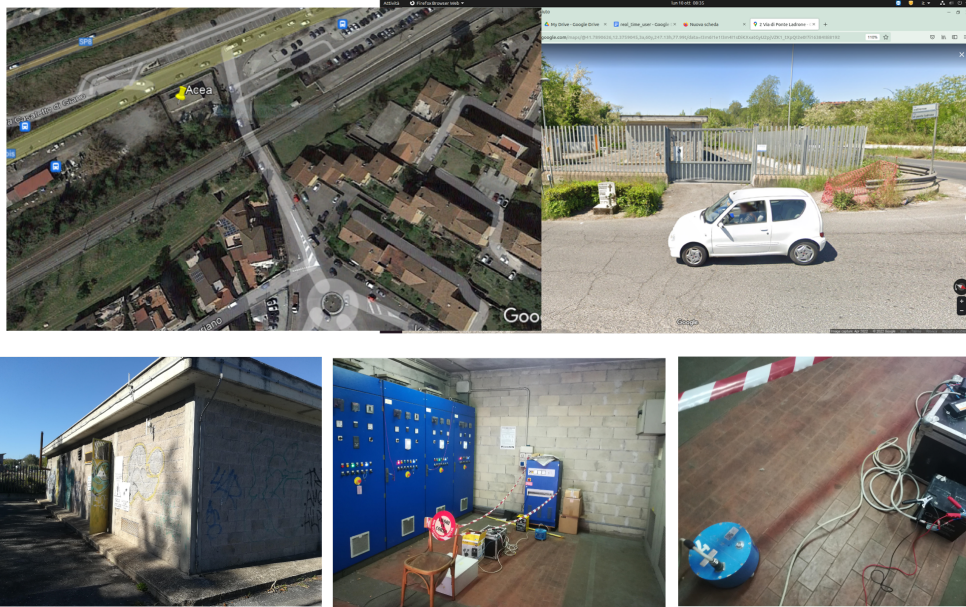
<https://www.lennartz-electronic.de/products/seismometers/le-3d-5s-mkiii/> con frequenza propria pari a 0.2 Hz) e ad una antenna GPS-Garmin per il sincronismo del segnale (con accuratezza del GPS +/-100 nanosecondi). La strumentazione sismica è quindi in grado di registrare in maniera digitale le velocità del moto del terreno lungo le tre componenti del moto (NS, EW e verticale). L'acquirente Reftek è stato impostato per registrare il moto del

terreno con frequenza di campionamento pari a 100 Hz e guadagno unitario in modalità continua, ovvero senza interruzioni dal momento dell'installazione fino alla disinstallazione. Le Figure 2 e 3 illustrano la tipologia di installazione. Il sensore velocimetrico Lennartz-3D è stato interrato nel giardino presente al piano terra dell'abitazione privata (Via Fagnano 9) e orientato correttamente (secondo il nord geografico). Il sensore all'impianto di sollevamento ACEA è stato posizionato sul pavimento ed orientato facendo coincidere la direzione orizzontale Nord dello spostamento registrato dallo strumento con la direzione del lato corto della cabina di controllo (corrispondente a circa N+335 in senso orario). La stazione sismica installata nell'impianto di sollevamento (Fig. 2) è stata alimentata mediante allaccio diretto alla rete elettrica dell'impianto ACEA tramite una batteria tampone e un alimentatore, mentre la stazione installata nell'abitazione privata (Fig. 3) è stata alimentata dalla sola batteria, richiedendo quindi interventi periodici (in media ogni 3-4 giorni) per la sostituzione della stessa da parte del personale INGV. Entrambe le stazioni sono state installate in siti con un elevato livello di rumore antropico (ovvero vibrazioni indotte dall'attività umana); in particolare, la stazione all'impianto di sollevamento, oltre a risentire dei macchinari presenti nell'impianto, è prossima alla Via Ostiense e alla linea ferroviaria Roma-Ostia.

**Tabella 1.** Stazioni sismiche installate.

Stazione sismica	Codice Acquisitore	Data installazione	Data disinstallazione	Alimentazione
Via Ponte Ladrone 2 (Impianto ACEA)	98F8	7-10-2002 08:52 UTC	18-10-2022 09:44 UTC	Batteria tampone + alimentazione di rete
Via Fagnano 9 (Abitazione Privata)	9E8F	7-10-2022 10:08 UTC	17-10-2022 20:50 UTC	Batteria





**Figura 2.** Immagini della stazione sismica installata all'interno della cabina di controllo dell'impianto di sollevamento ACEA di Via Ponte Ladrone 2.



**Figura 3.** Stazione sismica installata all'interno dell'abitazione privata di Via Fagnano 9. A destra un dettaglio del sensore Le3D-5s, con acquisitore digitale, batteria e router collocati all'interno della scatola grigia.

I dati registrati da entrambe le stazioni sismiche sono stati sia salvati in locale su compact flash interne all'acquisitore digitale, sia trasmessi in real-time ai server del Laboratorio Effetti di Sito tramite un apposito router associato ad ogni stazione. In questo modo è stato possibile monitorare le stazioni da remoto, controllandone il corretto funzionamento. A titolo di esempio, si riportano i diagrammi per la verifica nel tempo del voltaggio (input power) e della posizione (latitudine e longitudine) della stazione di Via Ponte Ladrone (Fig. 4).

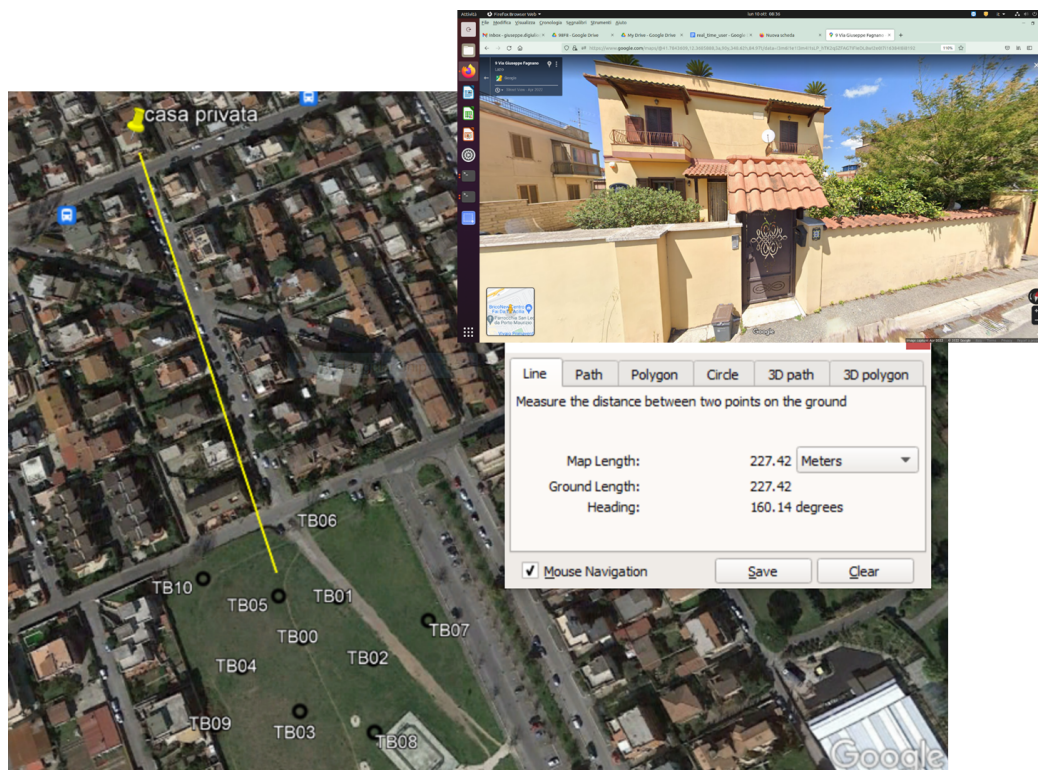
I file delle registrazioni sono stati salvati in formato sismologico binario secondo gli standard usati dal Laboratorio.



**Figura 4.** Visualizzazione dello State-of-Health per la stazione 98F8 (ubicata nell’Impianto ACEA). Dall’alto in basso si riportano i valori di temperatura, voltaggio batteria esterna e interna, latitudine, longitudine e altitudine.

Inoltre, nel giorno dell’installazione (7 Ottobre 2022) è stato deciso di configurare ed operare un’antenna sismica bidimensionale costituita da 11 stazioni sismiche nel parco di Valle Porcina; un’area logisticamente accessibile situata a circa 200 m in direzione sud rispetto l’abitazione di Via Fagnano 9 (Fig. 5). L’antenna, che ha operato per qualche ora nel pomeriggio del 7 Ottobre 2022, era composta da 11 sismometri triassiali portatili all-in-one del tipo

Terrabot (ditta costruttrice Sara Electronics). L'obiettivo della sperimentazione era registrare un boato tramite l'antenna sismica, potenzialmente in grado di localizzare la posizione della sorgente delle forti vibrazioni del terreno in concomitanza dei boati, tuttavia durante le ore di funzionamento degli strumenti Terrabot non si è verificato nessun evento. Le analisi mediante antenna sismica hanno comunque consentito di avere indicazioni sulle proprietà delle vibrazioni sismiche ambientali della zona, e una stima delle velocità di propagazione delle onde elastiche nei terreni di copertura dell'area investigata.



**Figura 5.** Ubicazione dell'antenna sismica composta da 11 stazioni sismiche (da TB00 a TB10). La linea gialla segnala la distanza tra l'area di installazione dell'antenna e l'abitazione di Via Fagnano 9 (circa 230 m).

### 3. Analisi preliminari

I dati sono stati archiviati in formato standard sismologico miniseed (Ringler and Evans 2015). I dati delle due stazioni sismiche Reftek sono stati salvati in un server dedicato del gruppo di intervento tramite record giornalieri dal nome del tipo:

IV.9E8F..EHE.D.2022.280 (componente EW)

IV.9E8F..EHN.D.2022.280 (componente NS)

IV.9E8F..EHZ.D.2022.280 (componente verticale)

IV.98F8..EHE.D.2022.280 (componente EW)

IV.98F8..EHN.D.2022.280 (componente NS)

IV.98F8..EHZ.D.2022.280 (componente verticale)

Nell'esempio sopra, la prima parte del nome file si riferisce al numero seriale della stazione (9E8F Via Fagnano 9; 9E8F Via di Ponte Ladrone 2), la parte centrale del nome file alla componente (registrata come da convenzione sulle tre componenti EW, NS e verticale del moto sismico del terreno), e l'ultimo numero presente nel nome file indica il giorno giuliano (280 dell'esempio corrisponde a venerdì 7 Ottobre 2022).

I dati delle stazioni Terrabot sono stati salvati sempre in formato miniseed, per le ore in cui hanno funzionato come antenna sismica (approssimativamente dalle 13:30 fino alle 15:30 di venerdì 7 Ottobre 2022).

Nei prossimi paragrafi si mostra l'analisi preliminare dei dati, cercando di investigare una possibile correlazione tra le attività delle elettropompe dell'impianto di sollevamento e gli scuotimenti del terreno avvertiti dalla popolazione.

Durante tutto il periodo dell'esperimento, sabato 8 Ottobre (circa alle ore 11:30 locali corrispondenti alle 09:30 orario UTC) il boato e le associate vibrazioni del terreno sono state nitidamente avvertite dagli abitanti di Via Fagnano 9. L'evento è stato registrato dalle due stazioni sismiche Reftek installate.

Nei prossimi paragrafi viene descritta l'analisi preliminari dei segnali acquisiti. I programmi di analisi dati usati sono: Geopsy (Wathelet et al. 2020), Sac (Goldstein et al. 2003), ObsPy (Beyreuther et al. 2010) oltre ad alcuni pacchetti del Software Passcal (<https://www.passcal.nmt.edu/content/software-resources>).



### 3.1 Curve H/V

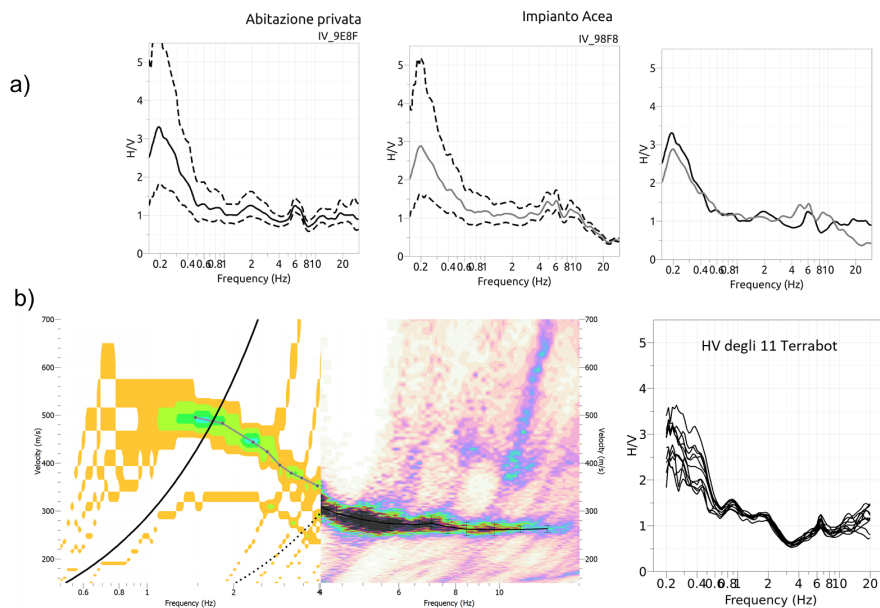
La prima analisi eseguita è stata il calcolo dei rapporti degli spettri di Fourier della componente orizzontale del moto del terreno (H) rispetto alla componente verticale (V). Questa tecnica permette di calcolare la curva H/V da registrazioni di vibrazioni sismiche ambientali (noise sismico). La curva H/V è largamente adoperata in studi di effetti di sito e microzonazione sismica per individuare eventuali frequenze di risonanza del terreno o sito investigato. Le frequenze di risonanza del sito vengono individuate tramite i picchi della curva H/V, e sono indicative della presenza di significativi contrasti di impedenza sismica nel profilo di rigidità del sottosuolo.

Le curve H/V delle due stazioni sismiche Reftek (Fig. 6a), ad eccezione di un picco nell'intorno di 0.2 Hz (frequenza al di sotto dell'intervallo giudicato interessante ai fini dell'investigazione), non mostrano picchi particolarmente pronunciati nella banda di frequenza 0.5-20 Hz. Il confronto fra le curve medie alle due stazioni (Fig. 6a pannello di destra) mostra un buon accordo almeno fino a 15 Hz.

In maniera consistente, la curva H/V media calcolata dagli 11 Terrabot appartenenti all'antenna sismica mostra assenza di picchi particolarmente pronunciati nella banda 0.5-20 Hz (Fig. 6b). I dati acquisiti dagli strumenti Terrabot hanno inoltre consentito di misurare la curva di dispersione delle onde superficiali con tecniche specifiche (f-k e spac). La curva di dispersione, misurata nel range 1.5-20 Hz, rappresenta l'andamento dei valori di velocità di fase apparenti in funzione delle frequenze. La curva di dispersione è legata alle proprietà del profilo verticale di velocità del sottosuolo (in particolare ai valori delle onde S e agli spessori dei vari strati), ed è quindi rappresentativa delle proprietà elastiche nel sottosuolo dell'area dove l'antenna viene disposta. La curva di dispersione di Fig. 6b indica valori relativamente bassi di velocità apparenti in linea con la geologia individuata in superficie (ghiaie e sabbie fluvio-lacustri e limi argillosi della Formazione Aurelia - Pleistocene medio; Carta geolitologica del territorio di Roma Capitale redatta a cura di Funicello R., Giordano G. e Mattei M.; 2016). Le velocità della curva di dispersione sono circa 260-280 m/s per la parte più superficiale del terreno (associata alle frequenze maggiori della dispersione), con velocità via via crescenti per la parte profonda (legata ai valori di frequenze minori), dove il valore di velocità si attesta attorno ai 500 m/s a circa 1 Hz.

Lo studio di microzonazione dell'area di Acilia nel momento di scrittura di questo report non è stato ancora consegnato (a conoscenza degli scriventi), e

non si sono potuti quindi confrontare i risultati ottenuti in termini di curve H/V e dispersione con quelli dello studio di microzonazione. Tuttavia la nostra analisi mostra un certo accordo delle curve H/V nei tre siti di Acilia (Via Fagnano 9, Via Ponte Ladrone e Parco di Villa Riccia) e ci consente di escludere che l'area di studio sia interessata da fenomeni di risonanza significativi tra 0.5 e 20 Hz.

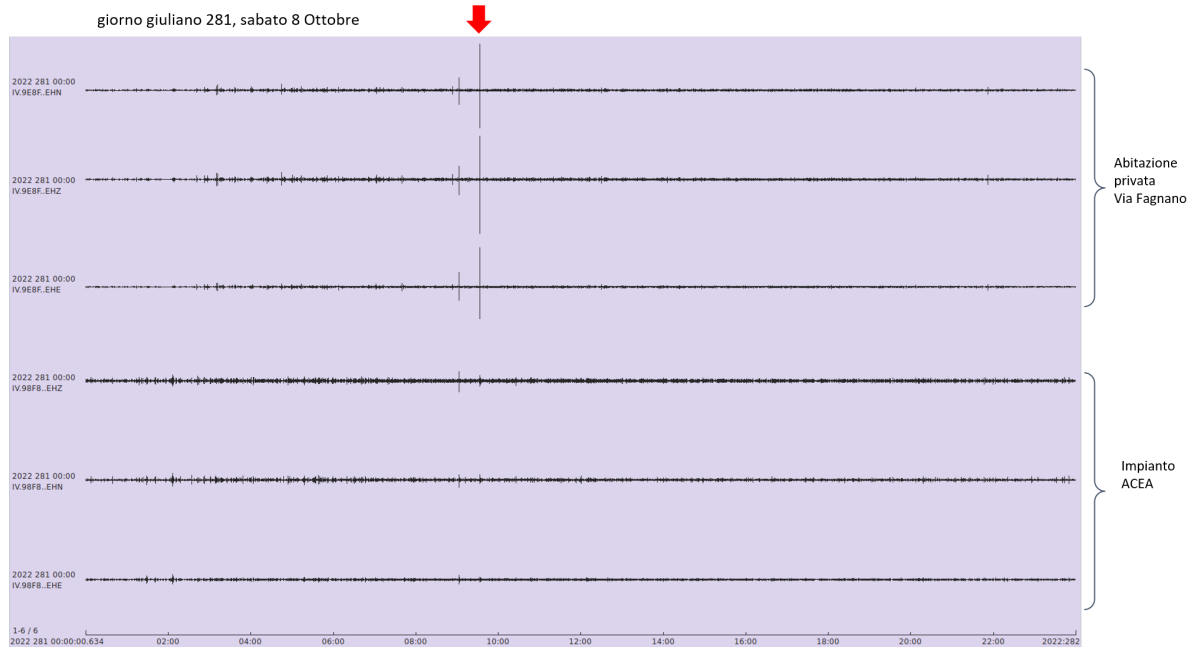


**Figura 6.** a) Curva H/V (media +/- 1 deviazione standard) calcolate alle due stazioni sismiche; curva H/V per l'abitazione privata di Via Fagnano (sinistra del pannello superiore della figura), per l'impianto ACEA di Via Ponte Ladrone (centro), e confronto delle due curve H/V medie (destra del pannello superiore). L'analisi è stata eseguita considerando una registrazione della durata di 24 ore (domenica 9 Ottobre). b) Curva di dispersione e curve H/V medie per l'antenna di 11 strumenti Terrabot. L'analisi è stata eseguita considerando le 2 ore di registrazione disponibili.

### 3.2 Evento dell'8 Ottobre 2022 ore 09:33 UTC

Durante il periodo dell'esperimento, un boato con associate vibrazioni del terreno è stato nitidamente avvertito dagli abitanti di Via Fagnano 9 durante la mattina di sabato 8 Ottobre (approssivamente alle 11:33 ore locali corrispondenti alle 09:33 orario UTC). L'evento, di seguito indicato anche come evento principale, ha indotto gli abitanti a uscire dalle proprie abitazioni.

L'evento è stato registrato chiaramente alla stazione sismica installata in via Fagnano 9 (Figura 7). Nel prosieguo del report si illustreranno le caratteristiche del segnale registrato al sito di via Fagnano 9, per poi passare al confronto tra questo segnale e quello registrato nella stessa finestra temporale alla stazione ubicata nell'impianto di sollevamento ACEA di Ponte Ladrone.



**Figura 7.** Registrazione giornaliera di sabato 8 Ottobre 2022 (giorno giuliano 281) alle due stazioni sismiche. Le prime 3 tracce in alto corrispondono ai segnali registrati alla stazione (Reftek 9E8F) installata a Via Fagnano 9 (dall'alto in basso componente NS, Z e EW). Le ultime tre tracce in basso si riferiscono alle medesime componenti del moto del suolo per la stazione (Reftek 98F8) di Via Ponte Ladrone 2. L'ampiezza delle tracce è normalizzata al massimo fra tutti i segnali, corrispondente al boato avvertito la mattina del giorno 8 Ottobre 2022 (asse y), e l'asse dei tempi si riferisce alle 24 ore (asse x). La freccia rossa nel grafico indica l'evento principale delle ore 09:33 UTC.

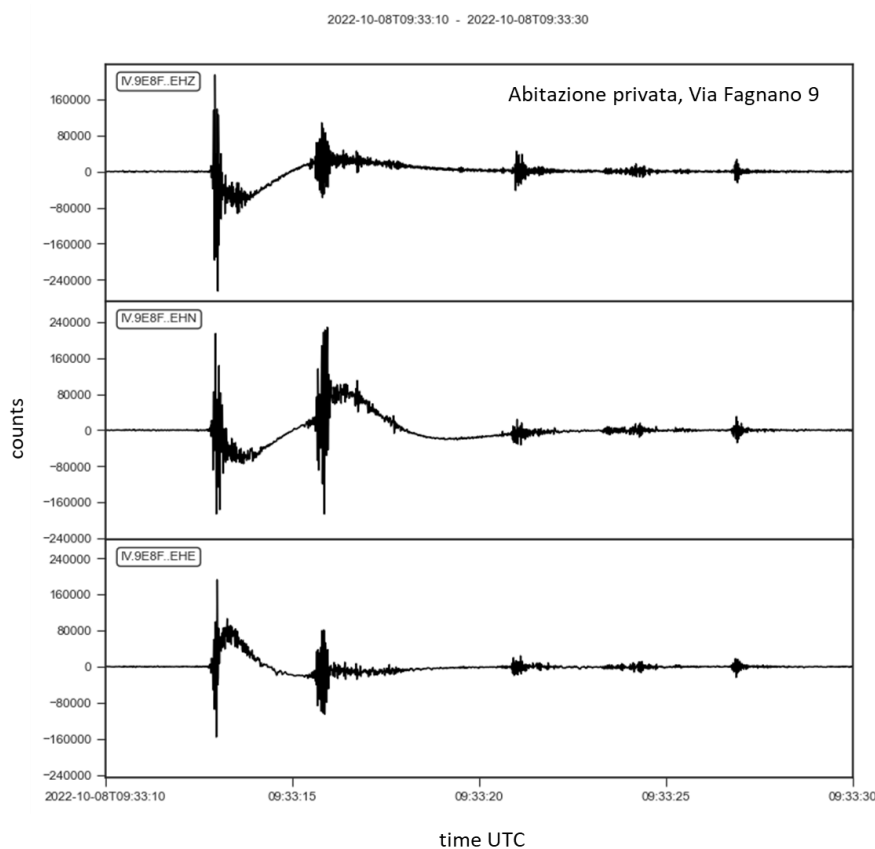
### 3.2.1 Segnale registrato

Un ingrandimento (Figura 8) dell'evento delle 09:33 UTC per la stazione di via Fagnano 9 mostra un segnale complesso di breve durata, caratterizzato da almeno 4 repliche che avvengono pochi secondi dopo il primo evento. I segnali sono ricchi di contenuto in alta frequenza, ma una rilevante porzione in bassa frequenza presente in corrispondenza della porzione più energetica della registrazione (Figura 8). Tale genere di segnale a bassa frequenza è stato osservato spesso con la stessa tipologia di strumenti in relazione a registrazioni di eventi sismici prossimi alla saturazione del sensore; Romeo (2012) nomina questo effetto come 'whale-shape' e lo descrive come un disturbo strumentale che si sovrappone ad un segnale apparentemente corretto (Fig. 9). Romeo

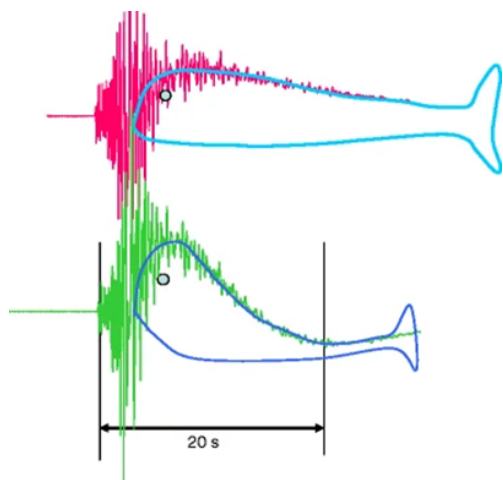


(2012) dimostra come l'effetto 'whale-shape' è dovuto ad un malfunzionamento dell'elettronica del sensore velocimetrico (a causa del convertitore di impedenza negativa adoperato in questi tipi di sensori). Si ritiene quindi corretto filtrare le tracce sopra i 2 Hz in modo da non mostrare la parte di bassa frequenza legata all'effetto 'whale-shape' (Figura 10).

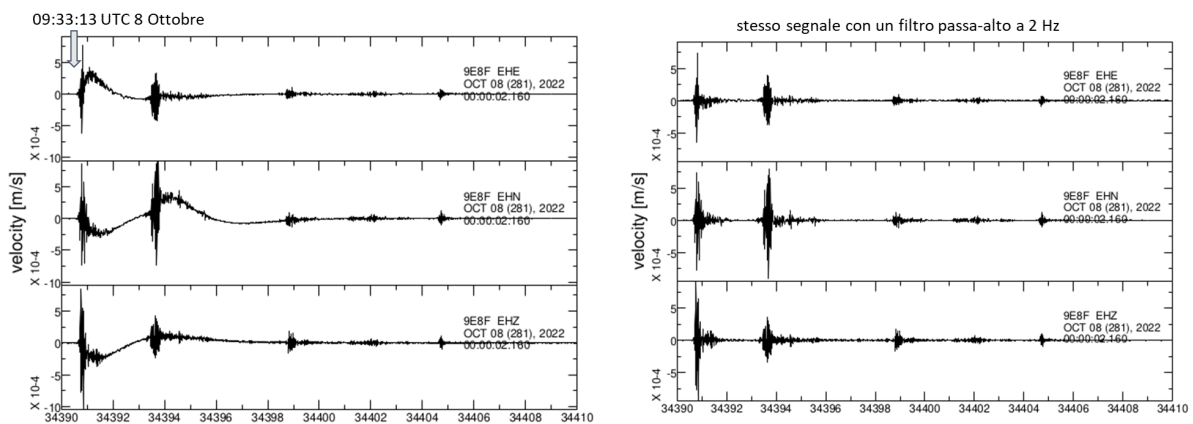
Il segnale velocimetrico registrato può essere derivato o integrato per determinare i valori di accelerazione o spostamento del suolo (Figura 11). I valori di picco misurati dalle tracce sismiche durante l'evento delle 09:33 UTC sono:  $1.6 \times 10^{-2}$  g per le accelerazioni,  $9.4 \times 10^{-4}$  m/s per le velocità, e  $6 \times 10^{-6}$  m per gli spostamenti.



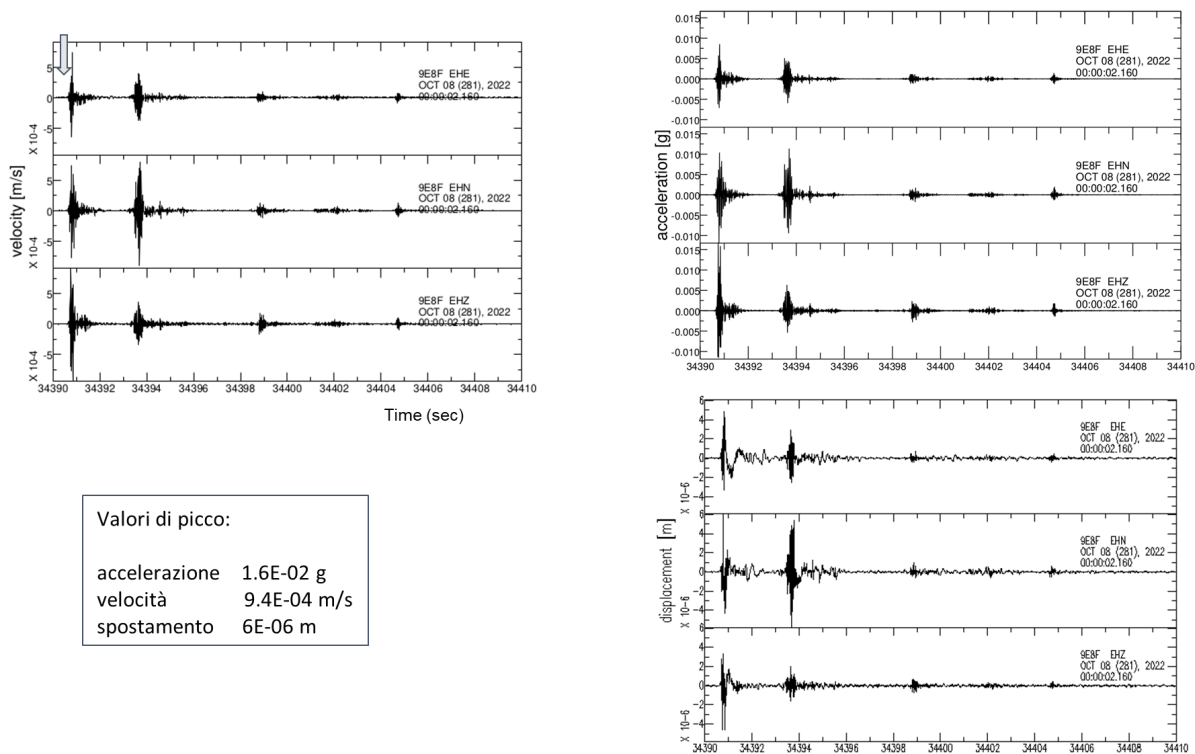
**Figura 8.** Evento di sabato 8 Ottobre, ore 09:33 UTC. Registrazione della stazione sismica 9E8F installata a Via Fagnano 9 (dall'alto in basso componente Z, NS e EW). L'asse y si riferisce alle ampiezze (digital counts); l'asse x al tempo UTC. La bassa frequenza in corrispondenza del primo segnale è legata ad un effetto strumentale del tipo 'whale-shape' (Romeo 2012).



**Figura 9.** Whale-shape estratto da Romeo (2012).



**Figura 10.** Evento di sabato 8 Ottobre, ore 09:33 UTC registrato al sito di Via Fagnano 9 (componente EW, NS e verticale). A sinistra il dato grezzo con la tipica ‘whale-shape’ descritta da Romeo (2012). A destra lo stesso segnale previa applicazione di un filtro passa alto a 2 Hz. Le ampiezze sono mostrate in velocità (m/s) dopo aver applicato le correzioni strumentali.



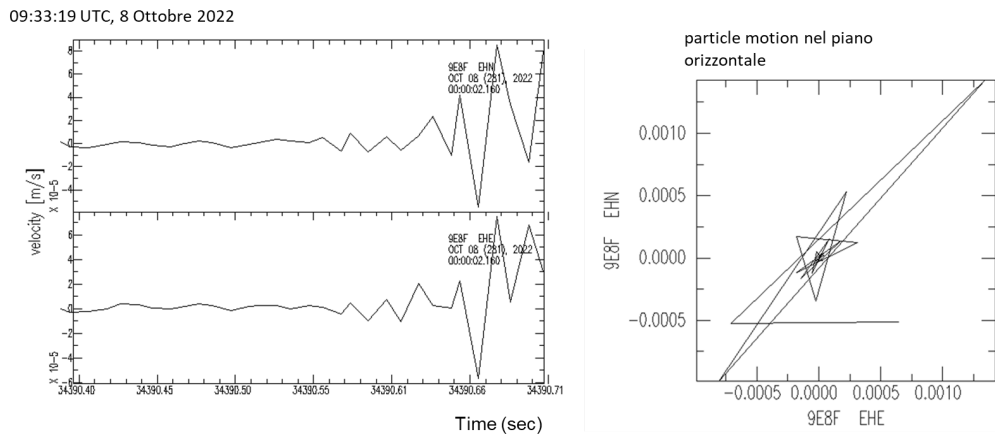
**Figura 11.** Evento di sabato 8 Ottobre, ore 09:33 UTC registrato a Via Fagnano 9 (componente EW, NS e verticale) previa applicazione di un filtro passa alto a 2 Hz. Per le 3 componenti del moto, viene mostrato il segnale in velocità (m/s) a sinistra, e in accelerazione (g) e spostamento (m) rispettivamente in alto e in basso a destra.

### 3.2.2 Particle motion

Per avere delle indicazioni sulla direzione di provenienza del segnale si sono eseguite una analisi di particle-motion con il codice Sac (Figura 12), ed una stima degli attributi di polarizzazione del moto del suolo come implementato in ObsPy (Figura 13) per il metodo proposto da Flinn (1965). La prima analisi di particle motion attraverso il codice Sac è relativa ai tempi di primo arrivo del primo segnale presente nelle registrazioni, ed include la composizione delle due componenti orizzontali del moto del suolo (EW e NS) allo scopo di individuare la traiettoria della singola particella nel piano orizzontale nella finestra di tempo selezionata. La finestra temporale selezionata di primo arrivo e il risultato vengono mostrati in Fig. 12; l'analisi di particle motion indica una direzione di arrivo del segnale nel piano orizzontale di circa N+45° (in senso orario da Nord).

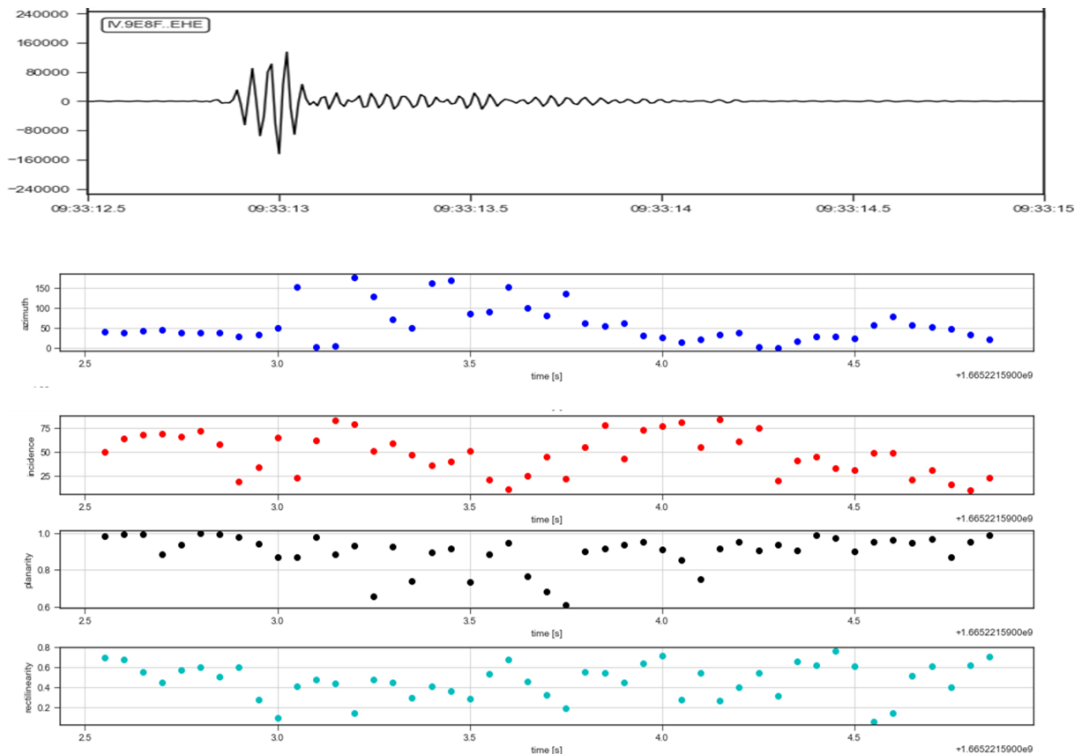
La seconda analisi (Fig. 13), realizzata mediante il codice Obspy, analizza le 3 componenti del moto registrate dalla stazione sismica e, attraverso il calcolo della matrice di covarianza dei dati e la decomposizione agli autovettori ed

autovalori associati, permette di stimare gli attributi di polarizzazione del segnale. Considerando i tempi di primo arrivo del segnale (Fig. 13), l'azimuth risultante è compreso tra i 40 e 50 gradi ed è consistente con quello determinato dalla precedente analisi, l'angolo di incidenza si attesta intorno ai 50-70 gradi, misurato rispetto all'asse verticale, con una planarità prossima a 1 e una rettilinearità del moto compresa tra 0.5-0.6 (ovvero l'ellissoide di polarizzazione del segnale presenta i due assi principali circa della stessa magnitudo).



**Figura 12.** Evento di sabato 8 Ottobre, ore 09:33 UTC registrato a Via Fagnano 9 (componente NS e EW). A sinistra viene mostrato un ingrandimento sui tempi di primo arrivo (relativo al primo segnale di Fig. 10), a destra il corrispondente particle motion nel piano orizzontale (componente NS su asse y, componente EW su asse x).

Attributi polarizzazione (Flinn 1965)  
 filtering bp 15-40 Hz; window length = 0.1 s

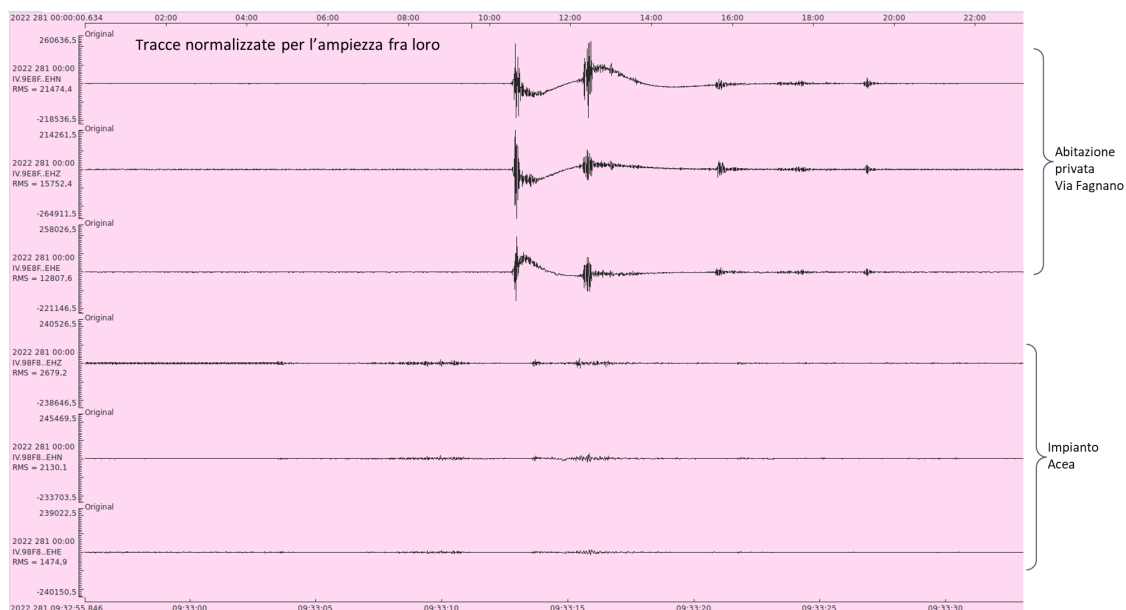


**Figura 13.** Evento di sabato 8 Ottobre, ore 09:33 UTC registrato a Via Fagnano 9. Dall'alto in basso: una componente del segnale (segnale della componente EW previa un filtro passa-banda tra 15-40 Hz), e risultati in termini degli attributi di polarizzazione del segnale in funzione del tempo, ovvero azimuth, incidenza, planarità e rettilinearità (Flinn 1965).

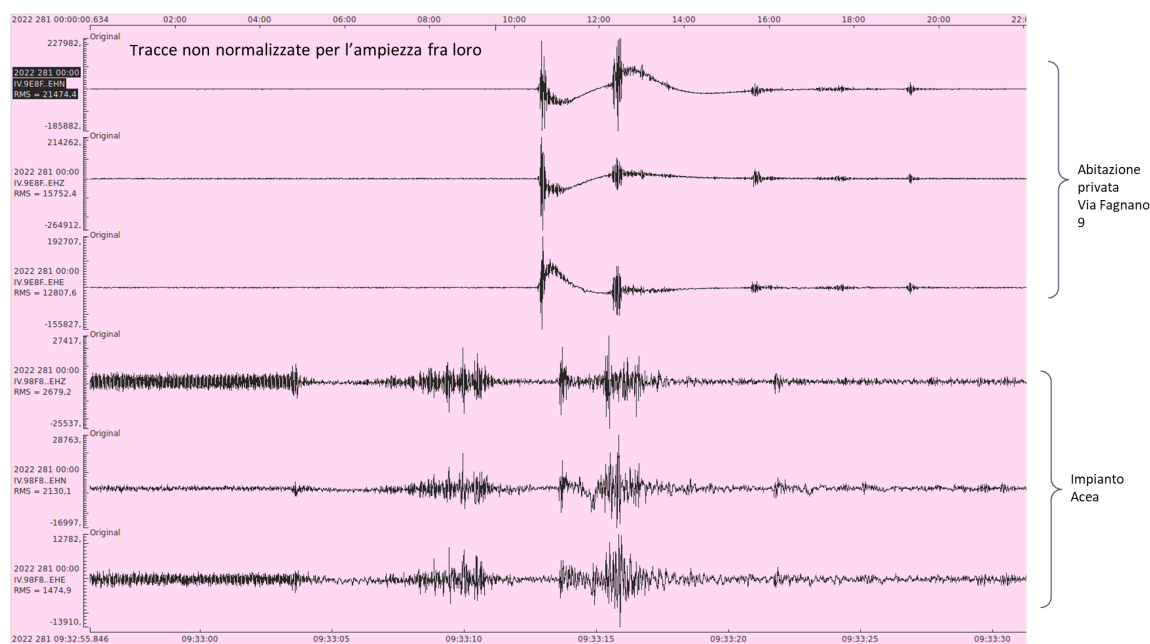
### 3.2.3 Spettrogrammi

Il confronto di Figura 7 fra le registrazioni alle due stazioni (Via Fagnano 9 e Via Ponte Ladrone 2) ha evidenziato una forte differenza nell'ampiezza dei segnali ai due siti in corrispondenza dell'evento di sabato 8 Ottobre. Un ingrandimento nell'intorno delle 09:33 UTC (Figura 14) rende ancor più chiara la differenza in ampiezza del segnale al sito di via Fagnano 9 rispetto quanto registrato contemporaneamente a via Ponte Ladrone 2. Mostrando la stessa Figura 14 ma senza applicare nessuna normalizzazione comune per le ampiezze delle tracce, si notano meglio le caratteristiche del segnale registrato all'impianto di sollevamento ACEA (Fig. 15). Il segnale principale con elevata ampiezza registrato al sito di Via Fagnano 9 sembra essere registrato solo successivamente a Via di Ponte Ladrone (dopo circa 0.8 secondi), seppur con ampiezze molto attenuate (Fig. 15). Tuttavia nelle registrazioni di via Ponte Ladrone sembra essere presente un disturbo monocromatico (vedi Fig. 15 fino

circa alle 09:33:04), che si interrompe ed è seguito da un segnale breve che sembra comunque ricco di alte frequenze (vedi il segnale nell'intorno delle 09:33:10 in Fig. 15). Gli spettrogrammi di Fig. 16 aiutano a delineare il contenuto in frequenza dei segnali in funzione del tempo. Il segnale monocromatico presente all'inizio delle registrazioni di Via Ponte Ladrone (fino alle 09:33:04) ha un contenuto energetico prevalente tra i 25-30 Hz (vedi Fig. 16 pannello superiore); allo stesso sito, il segnale che anticipa l'evento principale registrato a Via Fagnano 9 (presente nelle tracce di Via Ponte Ladrone tra le 09:33:07 e 09:33:11) ha contenuto in frequenza prevalente tra 35-45 Hz, il segnale successivo a quest'ultimo mostra un contenuto in frequenza tra i 10-20 Hz (registrato a via Ponte Ladrone alle 09:33:13.6). In riferimento alle tracce di Via Fagnano 9 (Fig. 16 pannello inferiore), l'evento principale, o meglio gli eventi, considerando anche le repliche a breve distanza temporale, che corrispondono al risentimento delle forti vibrazioni da parte della popolazione locale, hanno un contenuto in frequenza prevalente tra 20 e 40 Hz e il primo segnale si identifica alle ore 09:33:12.7 UTC. Per completezza, gli spettrogrammi delle 3 componenti del moto e per le due stazioni vengono mostrati in Figura 17. E' utile evidenziare che mentre in Fig. 16 gli spettrogrammi calcolati alla stazione sismica di via Fagnano 9 non sono filtrati, e pertanto presentano contenuto artificiale in bassa frequenza, inferiore a 2 Hz, dovuto al sopraccitato 'whale-effect' (Romeo 2012), la Fig. 17 confronta gli spettrogrammi dei dati elaborati con un filtro passa alto avente frequenza di taglio a 2 Hz.

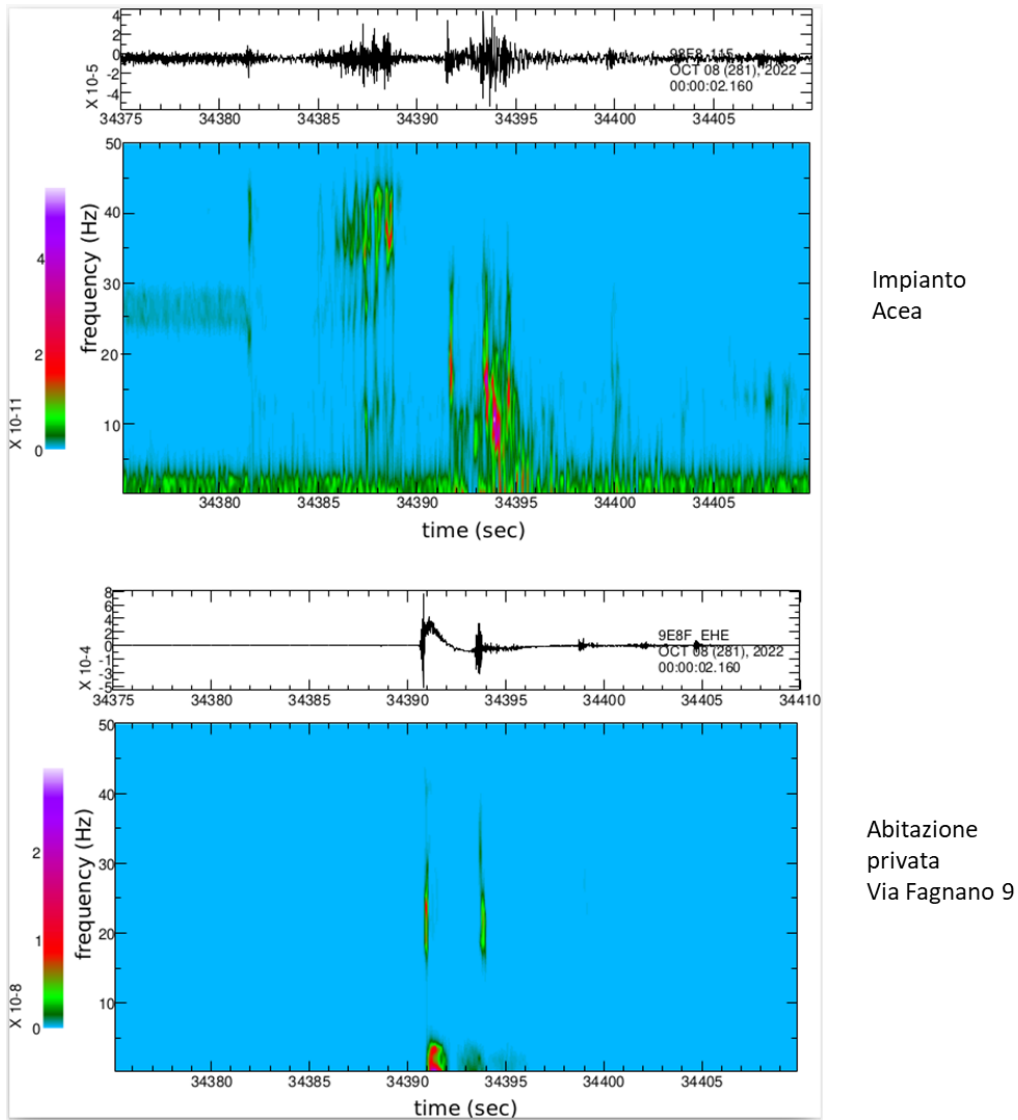


**Figura 14.** RegISTRAZIONI dell'evento di sabato 8 Ottobre, ore 09:33 UTC . Dall'alto in basso: le prime tre tracce in alto rappresentano la componente EW, NS e verticale del segnale registrato a Via Fagnano 9, le ultime tre tracce in basso i corrispondenti segnali registrati a Via di Ponte Ladrone 2. Le tracce sono rappresentate con ampiezza normalizzata (ovvero le ampiezze di tutte le tracce sono scalate a uno stesso valore massimo).

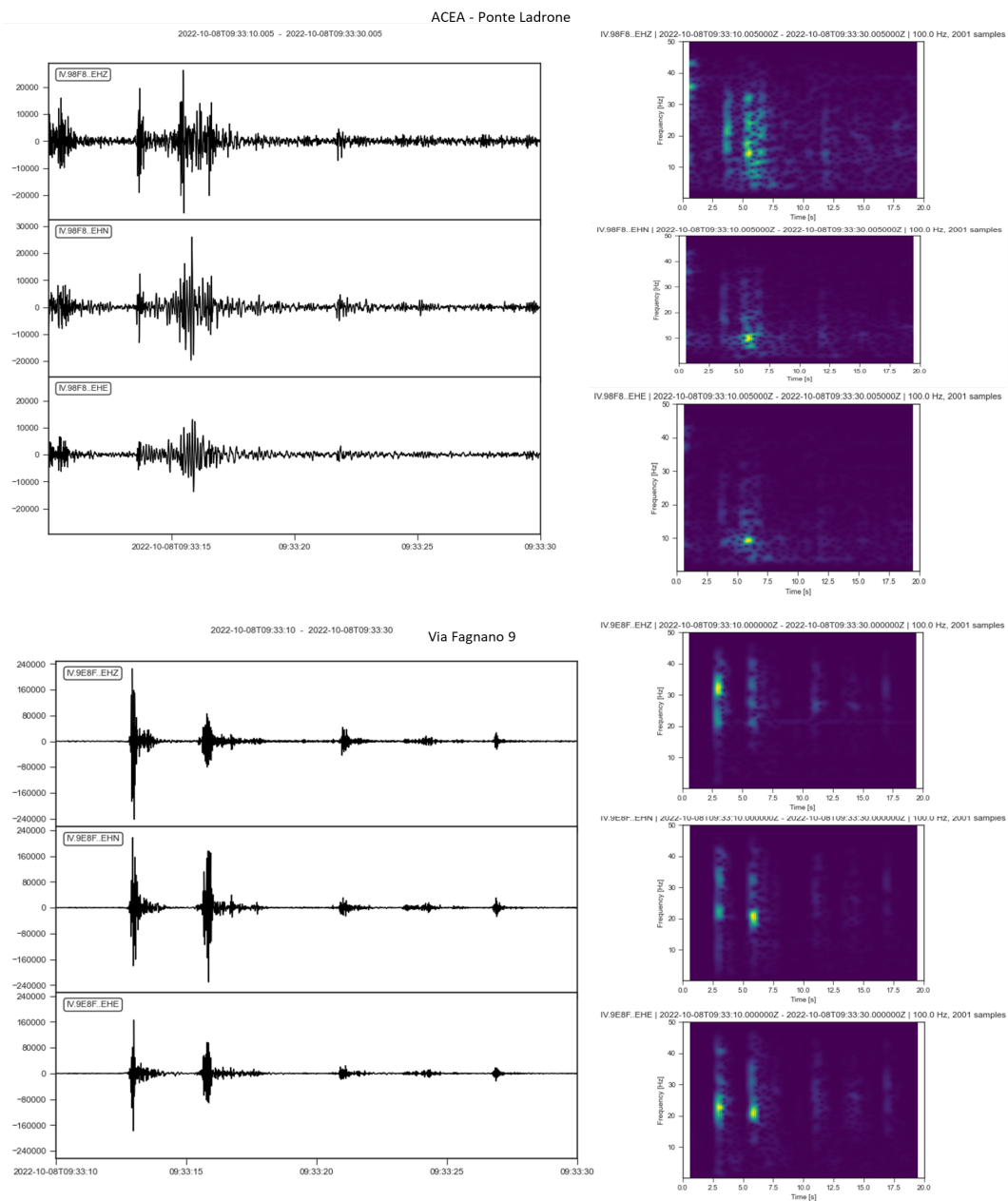


**Figura 15.** RegISTRAZIONI sismiche in corrispondenza dell'evento di sabato 8 Ottobre ore 09:33 UTC. Come in Figura 14 ma con le tracce ai due siti non normalizzate tra di loro per l'ampiezza.





**Figura 16.** RegISTRAZIONI dell'evento di sabato 8 Ottobre, ore 09:33 UTC. Spettrogramma del segnale (componente EW) per il sito di Via di Ponte Ladrone 2 (pannello in alto della figura) e Via Fagnano (in basso).

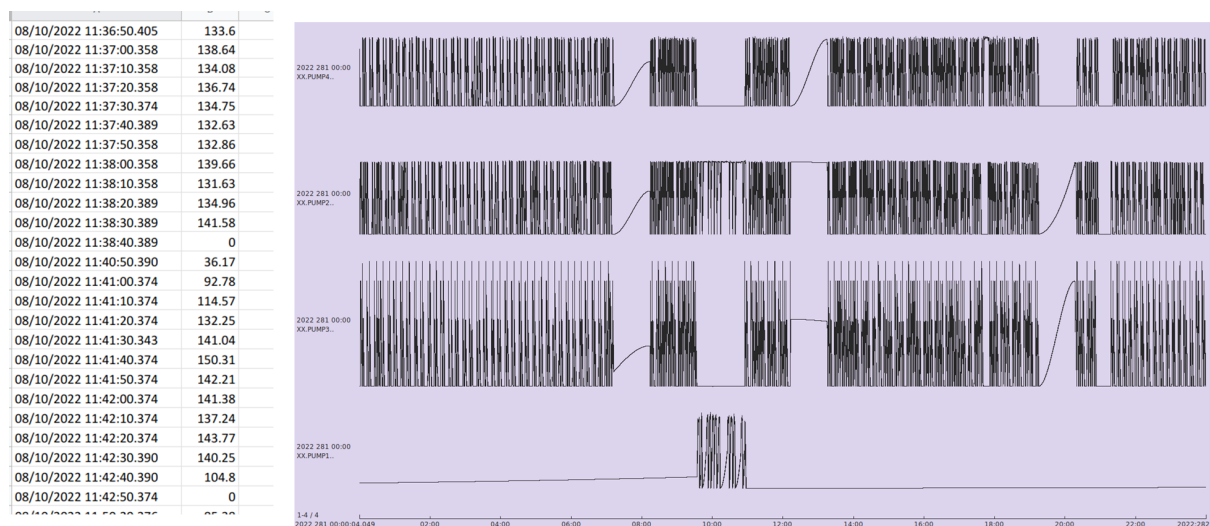


**Figura 17.** Regrazioni dell'evento di sabato 8 Ottobre, ore 09:33 UTC. Spettrogramma del segnale (componente EW, NS e Z) per il sito di Via di Ponte Ladrone 2 (pannello in alto della figura) e del segnale filtrato per il sito di Via Fagnano 9 (in basso).

### 3.2.4 Correlazione con le elettropompe

Grazie alla collaborazione con ACEA Ato2 Spa, e in particolar modo al Manager del Territorio Depurazione Roma Sud e Ostia Ing. Alessia Benedetti, per il periodo dell'esperimento è stato possibile analizzare i dati di assorbimento delle 4 elettropompe situate nell'impianto di sollevamento di Via Ponte Ladrone 2. I dati di assorbimento ci sono stati trasferiti come file xls, dove il tempo e il relativo valore di assorbimento sono riportati per ciascuna delle 4 elettropompe. Per agevolare il confronto con il segnale sismico registrato, i dati di assorbimento ricevuti da ACEA sono stati convertiti in formato miniseed (vedi Figura 18 e 19).

I valori di assorbimento delle elettropompe evidenziano un comportamento delle stesse caratterizzato da continue e frequenti accensioni e spegnimenti, in cui alcune pompe rimangono ad assorbimento pari a zero per periodi relativamente lunghi.



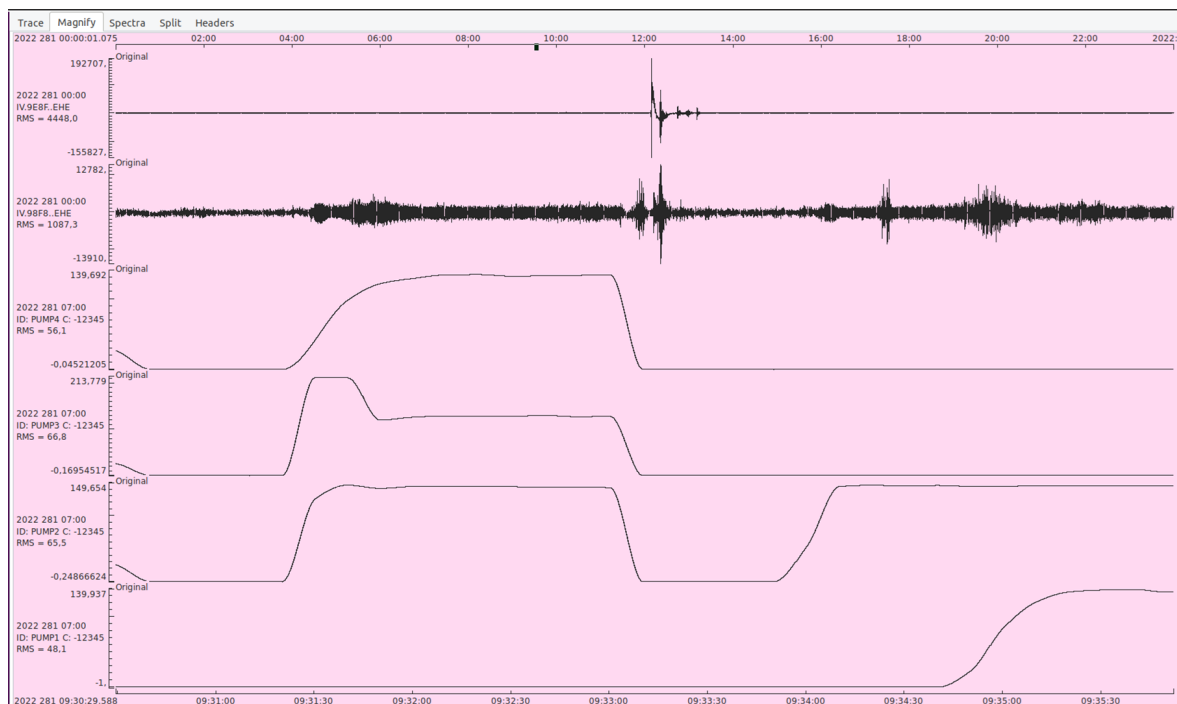
**Figura 18.** Dati di assorbimento delle 4 elettropompe ubicate nel sito di via di Ponte Ladrone ricevuti da ACEA. I dati di assorbimento sono stati trasformati in file miniseed (interpolati a 200 Hz) per facilitare il confronto con i segnali sismici registrati ai due siti. La figura si riferisce al giorno giuliano 281 (sabato 8 Ottobre 2022, con i tempi rappresentati sull'asse x), e dall'alto in basso le pompe rappresentate sono la #4, #2, #3 e #1.

Nel caso dell'evento principale delle 09:33 UTC di sabato 8 Ottobre (Fig. 19), si nota come per tre delle elettropompe i valori massimi di assorbimento (tra 130-140, vedi Tab. 2) decadono rapidamente (in circa 10 secondi) sino a valori uguali a zero pochi secondi prima, circa 2.7 secondi, della detezione del segnale corrispondente al boato avvertito dalla popolazione locale in Via Fagnano 9.

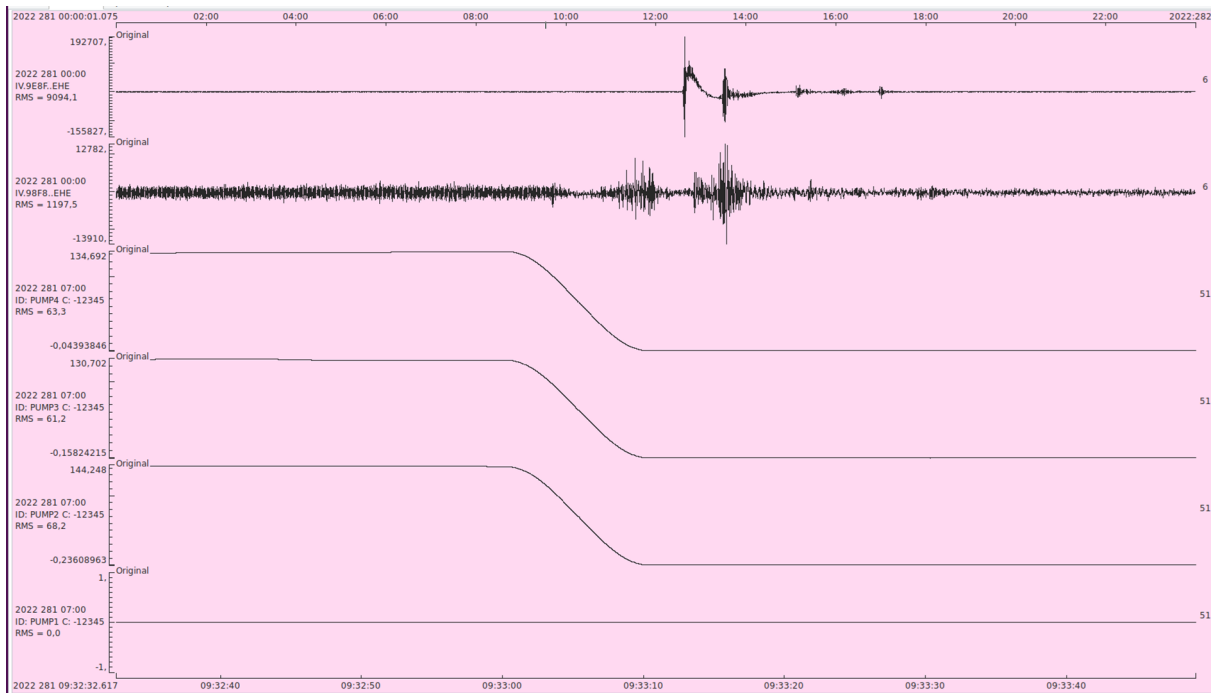
L'andamento degli assorbimenti delle pompe è mostrato anche in Fig. 20 con un ulteriore zoom; il decadimento è simultaneo per 3 delle 4 elettropompe (pompe #4, #3 e #2, mentre la pompa #1 è inattiva nella finestra mostrata) con il tempo di spegnimento che va dalle 09:33:0 alle 09:33:10 (Tab. 2). Si ricorda che il tempo di primo arrivo del segnale registrato a Via Fagnano 9 corrisponde alle 09:33:12.7, e quindi meno di 3 secondi dopo che le elettropompe raggiungano il valore minimo di assorbimento. La differenza di tempo tra il momento in cui le elettropompe raggiungono il valore di minimo ed il tempo di primo arrivo del segnale registrato è indicato nel prosieguo come delay.

Dalle figure 19 e 20 si nota inoltre come il segnale monocromatico tra i 25 e 30 Hz osservato al sito di Via Ponte Ladrone sia verosimilmente legato alle attività delle elettropompe, e che per lo stesso sito, il segnale successivo, con contenuto energetico prevalente nella banda di frequenza 35-45 Hz (e presente tra le 09:33:07 e 09:33:11), si manifesti durante la caduta di assorbimento.

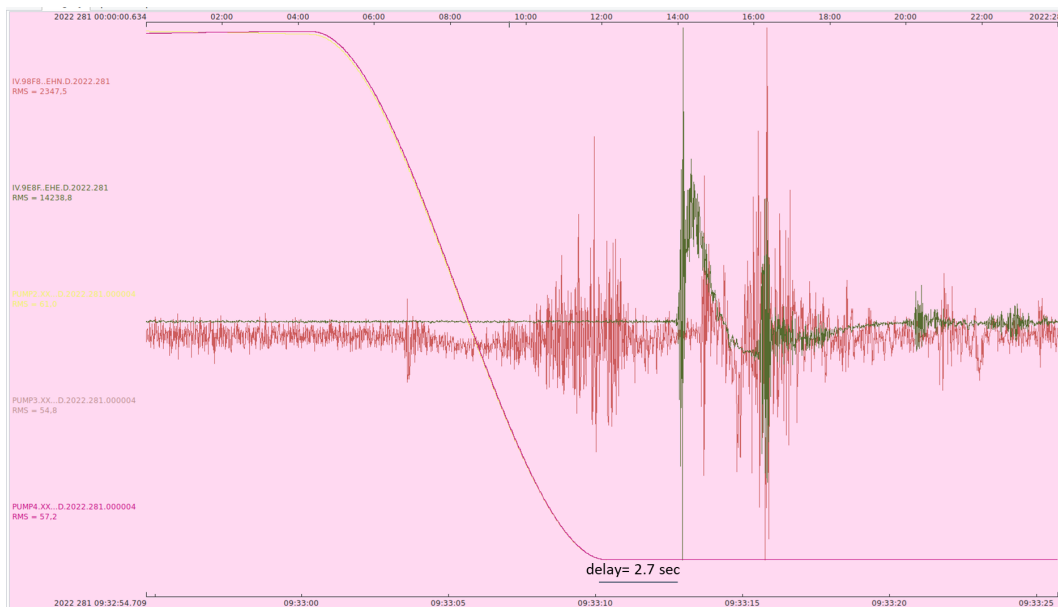
La figura 21 mostra una sovrapposizione degli andamenti dell'assorbimento delle elettropompe e dei segnali registrati alle due stazioni sismiche.



**Figura 19.** Evento delle 09:33 UTC per il giorno giuliano 281 (sabato 8 Ottobre 2022). Dall'alto in basso: segnale registrato (componente EW) a via Fagnano, a Via di Ponte Ladrone, assorbimento delle elettropompe #4, #3 e #2. I dati dei segnali non sono scalati per le ampiezze. I tempi sono riportati sull'asse x.



**Figura 20.** Come figura 19 ma con un ingrandimento ulteriore nell'intorno dell'evento delle 09:33 UTC per il giorno giuliano 281 (sabato 8 Ottobre 2022). Partendo dall'alto: traccia per il sito di Via Fagnano 9 e Ponte Ladrone 2 (componente EW), e andamento dell'assorbimento per elettropompa #4, #3, #2 e #1.



**Figura 21.** Evento delle 09:33 UTC per il giorno giuliano 281 (sabato 8 Ottobre 2022). Le tracce delle elettropompe e delle registrazioni alle 2 stazioni sismiche sono sovrapposte. Il delay mostra l'intervallo di tempo che intercorre tra il minimo assorbimento raggiunto dalle pompe e il tempo di primo arrivo del segnale registrato a Via Fagnano 9 corrispondente al boato con vibrazione del terreno. I segnali non sono scalati fra di loro per le ampiezze.

### 3.3 Segnali con caratteristiche simili all'evento dell' 8 Ottobre 2022

Durante il periodo dell'esperimento, la stazione sismica di Via Fagnano 9 ha registrato altri eventi con caratteristiche simili, seppur di ampiezze minori, a quelle dell'evento principale delle 09:33 UTC di sabato 8 Ottobre 2022.

La Tabella 2 riporta gli eventi simili per durata e contenuto in frequenza individuati tramite esame visivo delle registrazioni sismiche giornaliere (Fig. 22). Gli eventi di Tab. 2 presentano le seguenti caratteristiche riscontrate per l'evento principale:

- breve durata;
- contenuto energetico prevalente alle alte frequenze;
- repliche successive con caratteristiche analoghe rispetto al primo segnale.

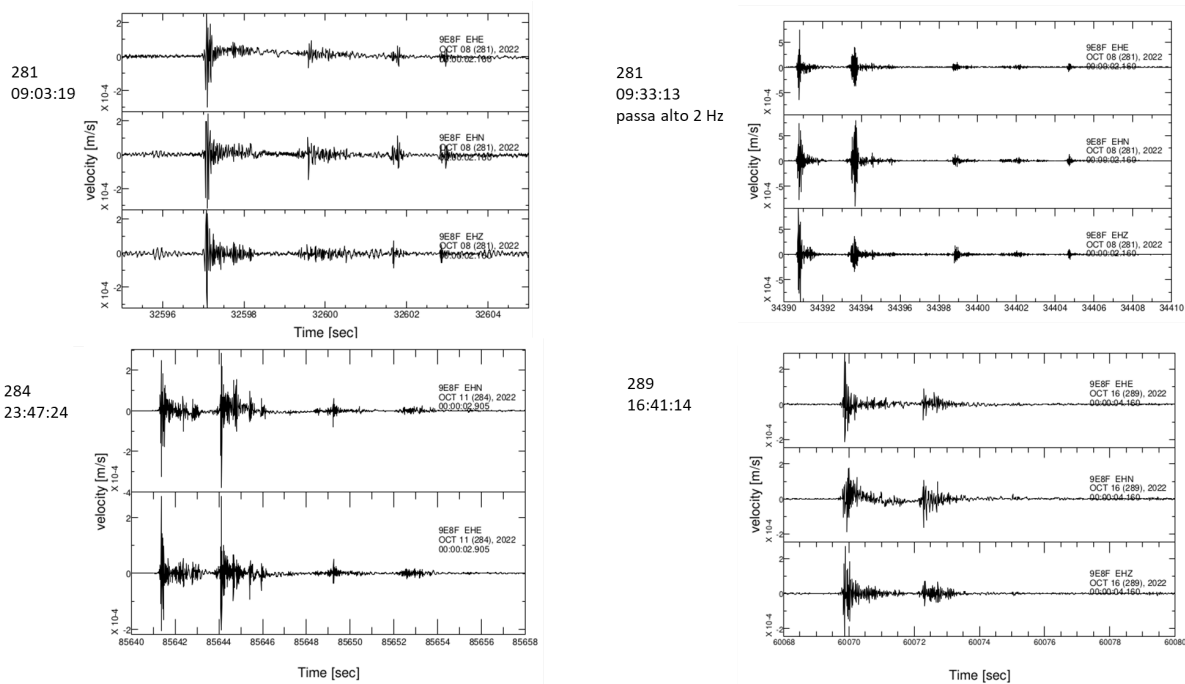
Anche il comportamento della stazione di Via Ponte Ladrone mostra per tutti gli eventi di Tab. 2 similitudini con quanto osservato e descritto per l'evento principale, ovvero segnali di debole ampiezza con caratteristiche simili a quelli mostrati ad es. in Fig. 15 (ultime 3 tracce in basso).

L'andamento degli assorbimenti delle elettropompe (Tab. 2) mostra un decadimento simultaneo dei valori massimi nei secondi precedenti la detezione del segnale sismico con caratteristiche simili all'evento principale registrato alla stazione di via Fagnano 9 per l'evento delle 09:03 (Evento A, giorno giuliano 281, sabato 8 Ottobre 2022) e l'evento delle 23:47 (Evento B, giorno giuliano 284, martedì 11 Ottobre 2022). Il decadimento delle elettropompe avviene in una finestra temporale di 10 secondi. La situazione è leggermente diversa per l'evento delle 16:41 (Evento C, giorno giuliano 289, domenica 16 Ottobre 2022) dove la elettropompa #2 tende negli istanti successivi ad incrementare il valore di assorbimento (da 0 a 36, vedi Tab. 2).

Un elemento da notare è il diverso delay per gli eventi individuati in Tab. 2 (si ricorda che il delay è stato definito come il momento di raggiungimento del minimo delle elettropompe ed il tempo di primo arrivo del segnale registrato al sito di Via Fagnano 9). Il delay è pari a 2.7 sec per l'evento principale e per l'Evento B, mentre tende a raddoppiare per gli Eventi A e C.

**Tabella 2.** Segnali con caratteristiche simili all'evento principale del giorno 8 Ottobre 2022 09:33 UTC (in neretto in tabella). Vengono riportati anche i valori delle elettropompe negli istanti precedenti agli eventi registrati al sito di Via Fagnano 9.

Giorno Giuliano e id evento	Tempo UTC primo arrivo registrato nell'abitazione private	Pump_1	Pump_2	Pump_3	Pump_4
281 (sabato 8 Ottobre) #evento A	09:03:19	off	09:03:02 143 09:03:12 40	09:03:02 125 09:03:12 0	09:03:02 130 09:03:12 0
<b>281</b> <b>#evento principale</b>	<b>09:33:13</b>	off	09:33:0 140 09:33:10 0	09:33:0 130 09:33:10 0	09:33:0 134 09:33:10 0
284 #evento B	23:47:24	off	23:47:11 145 23:47:21 0	23:47:11 130 23:47:21 0	23:47:11 130 23:47:21 0
289 (domenica 16 Ottobre) #evento C	16:41:14	off	16:40:58 0 16:41:08 36	16:40:58 113 16:41:08 0	16:40:58 120 16:41:08 0

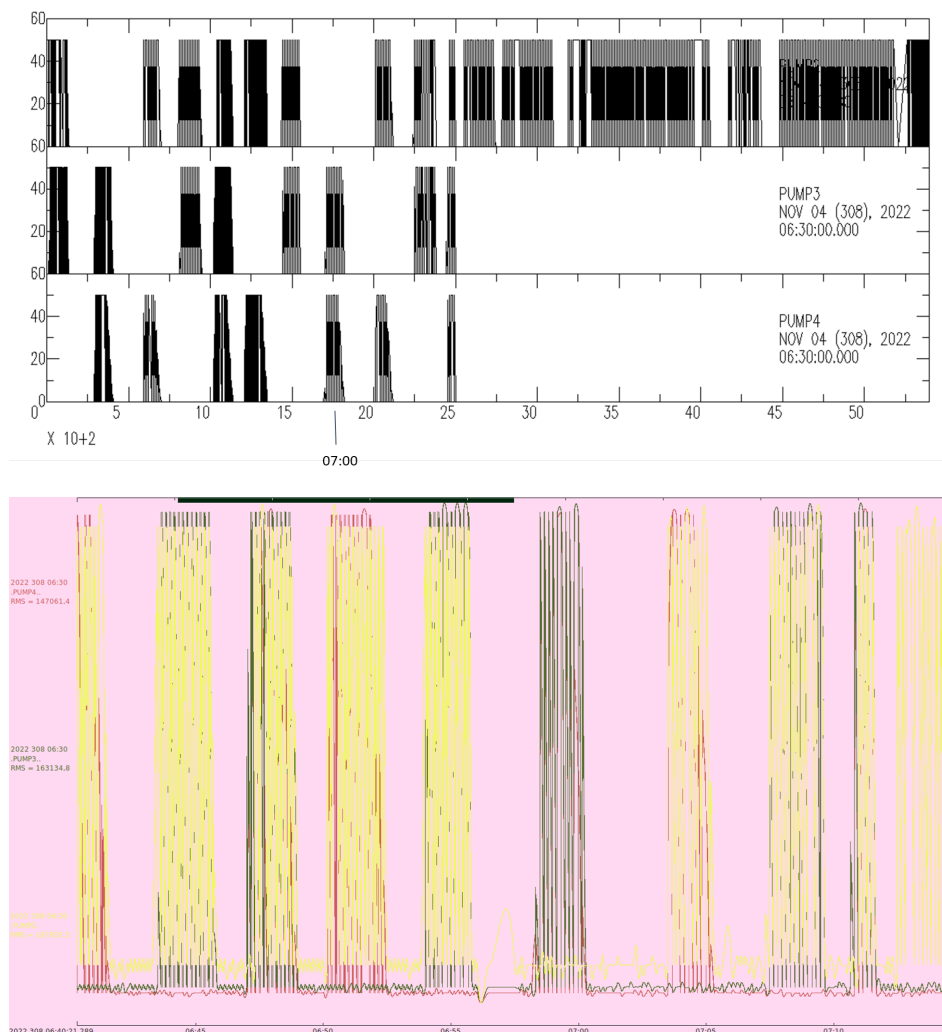


**Figura 22.** Segnali con caratteristiche simili all'evento delle 09:33 UTC del giorno giuliano 281 (sabato 8 Ottobre 2022) registrati in corrispondenza della stazione sismica di via Fagnano 9 e riportati in Tabella 2. Le ampiezze in velocità (m/s) sono riportate sull'asse y mentre sull'asse x si riporta il tempo. In alto a sinistra sono mostrati i segnali corrispondenti all'Evento A, in basso a sinistra all'Evento B, in basso a destra all'Evento C e in alto a destra i segnali corrispondenti all'evento principale.

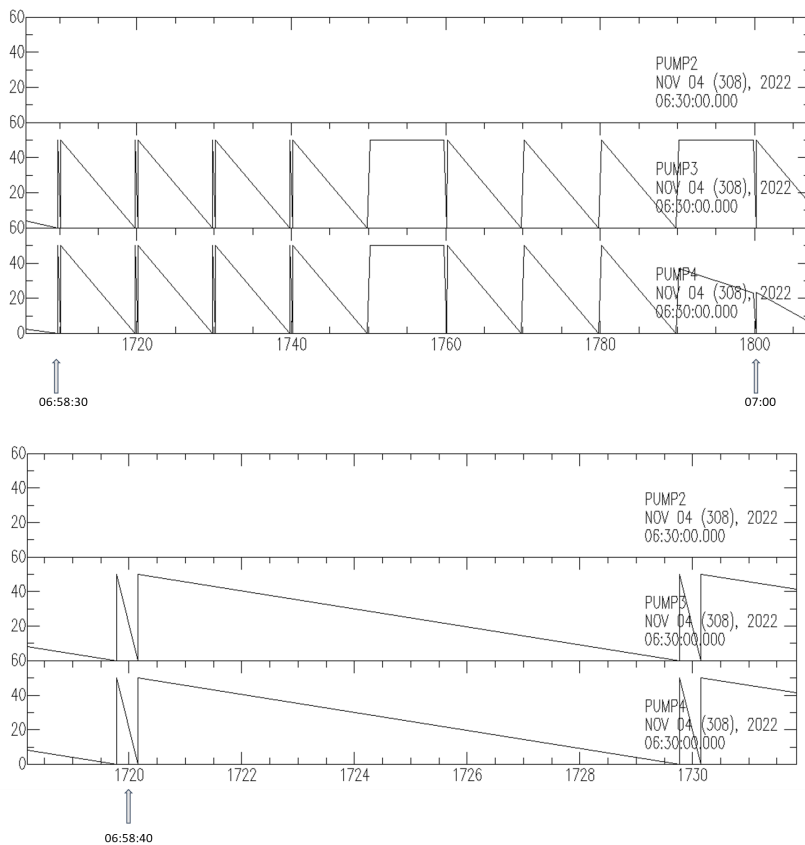


### 3.4 Attività delle elettropompe del 4 novembre 2022

La mattina del 4 novembre 2022, verso le ore 07:00 locali, i residenti di Via Fagnano hanno nuovamente avvertito boati e vibrazioni. In data 4 novembre non erano installate stazioni sismiche ad Acilia. Pur tuttavia è stato ritenuto utile analizzare i dati di assorbimento delle elettropompe nello stesso periodo forniti da ACEA. Nell'ora segnalata dai residenti (circa ore 07:00 locali), le elettropompe #2 e #1 risultano inattive, mentre le elettropompe #3 e #4 sono soggette a una serie repentina di accensioni e spegnimenti (Fig. 23). Il valore massimo di assorbimento raggiunto dalle elettropompe nella mattina del 4 novembre è circa 50 e le serie di accensioni/spegnimenti avvengono in maniera molto rapida, in meno di 0.5 sec (Figure 24 e 25), e in maniera contemporanea per le elettropompe #2 e #3.



**Figura 23.** Diagramma che mostra l'assorbimento delle elettropompe ACEA al sito di Ponte Ladrone in funzione del tempo nella mattina del 4 Novembre 2022.



**Figura 24.** Due diversi ingrandimenti in merito all'assorbimento delle elettropompe (#2, #3 e #4) per la mattina del 4 Novembre 2022. L'asse x rappresenta i tempi in secondi.

POMPA03		POMPA04	
04/11/2022 06:58:29.785	0	04/11/2022 06:58:29.785	0
04/11/2022 06:58:29.786	50.1	04/11/2022 06:58:29.786	50.19
04/11/2022 06:58:30.143	0	04/11/2022 06:58:30.143	0
04/11/2022 06:58:30.144	50.1	04/11/2022 06:58:30.144	50.19
04/11/2022 06:58:39.785	0	04/11/2022 06:58:39.785	0
04/11/2022 06:58:39.786	50.1	04/11/2022 06:58:39.786	50.21
04/11/2022 06:58:40.158	0	04/11/2022 06:58:40.158	0
04/11/2022 06:58:40.159	50.11	04/11/2022 06:58:40.159	50.19
04/11/2022 06:58:49.770	0	04/11/2022 06:58:49.770	0
04/11/2022 06:58:49.771	50.08	04/11/2022 06:58:49.771	50.21
04/11/2022 06:58:50.143	0	04/11/2022 06:58:50.143	0
04/11/2022 06:58:50.144	50.09	04/11/2022 06:58:50.144	50.2
04/11/2022 06:58:59.785	0	04/11/2022 06:58:59.785	0
04/11/2022 06:58:59.786	50.1	04/11/2022 06:58:59.786	50.19
04/11/2022 06:59:00.143	0	04/11/2022 06:59:00.143	0
04/11/2022 06:59:00.144	50.11	04/11/2022 06:59:00.144	50.2
04/11/2022 06:59:09.817	0	04/11/2022 06:59:09.817	0
04/11/2022 06:59:10.159	50.1	04/11/2022 06:59:10.159	50.22
04/11/2022 06:59:10.164	50.1	04/11/2022 06:59:10.164	50.21
04/11/2022 06:59:19.772	50.12	04/11/2022 06:59:19.772	50.19
04/11/2022 06:59:20.174	0	04/11/2022 06:59:20.174	0
04/11/2022 06:59:20.175	50.09	04/11/2022 06:59:20.175	50.21
04/11/2022 06:59:29.818	0	04/11/2022 06:59:29.818	0
04/11/2022 06:59:30.175	50.1	04/11/2022 06:59:30.175	50.2
04/11/2022 06:59:30.180	50.1	04/11/2022 06:59:30.180	50.2
04/11/2022 06:59:39.818	0	04/11/2022 06:59:39.818	0
04/11/2022 06:59:40.175	50.11	04/11/2022 06:59:40.175	50.19
04/11/2022 06:59:40.180	50.08	04/11/2022 06:59:40.180	50.14
04/11/2022 06:59:49.818	0	04/11/2022 06:59:49.818	0
04/11/2022 06:59:50.175	50.09	04/11/2022 06:59:50.175	37.07
04/11/2022 06:59:50.180	50.1	04/11/2022 06:59:50.180	36.83
04/11/2022 06:59:59.803	50.11	04/11/2022 06:59:59.803	23.01
04/11/2022 07:00:00.159	0	04/11/2022 07:00:00.159	0
04/11/2022 07:00:00.160	50.09	04/11/2022 07:00:00.160	23.31

**Figura 25.** Attività delle elettropompe #3 e #4 per la mattina del 4 Novembre 2022. I tempi in cui le elettropompe #3 e #4 passano da un assorbimento di circa 50 a un valore uguale a 0 in circa 0.5 secondi sono segnate in arancione, mentre i tempi in cui l'assorbimento varia da 23 a 0 sono evidenziati in giallo.

#### 4. Conclusioni preliminari

Da quanto evidenziato nel presente documento è possibile trarre le seguenti conclusioni preliminari:

- È stato registrato almeno un segnale sismico caratteristico alla stazione installata in via Fagnano 9 in corrispondenza del boato e delle vibrazioni del terreno avvertite dai residenti (sabato 8 Ottobre 2022 ore 09:33 UTC; indicato come evento principale).
- Il segnale registrato al sito di Via Fagnano 9 corrispondente all'evento principale è di breve durata, seguito nel giro di pochi secondi da 4 repliche con ampiezza e durata decrescente, ed è un segnale ricco di alte frequenze (vedi ad es. Fig. 17 per le tracce di Via Fagnano).
- Contemporaneamente all'evento principale osservato per il sito di Via Fagnano 9, il segnale sismico registrato al sito ACEA di Via Ponte Ladrone 2 presenta valori di ampiezza inferiori di diversi ordini di grandezza (Fig. 14). Poiché un segnale di natura incerta è visibile nelle registrazione del sito ACEA ma con tempo origine successivo all'evento principale registrato in via Fagnano 9, nel caso in cui fosse possibile associare tale segnale univocamente all'evento principale, i dati osservati per l'evento principale suggerirebbero una propagazione da Via Fagnano verso il sito ACEA di Via Ponte Ladrone (si veda ad es. Fig. 15).
- Altri segnali con caratteristiche simili all'evento principale si individuano nelle registrazioni sismiche ottenute alle stazioni di monitoraggio in continuo (Tabella 2). Questi segnali, almeno 3, sono preceduti da assorbimenti delle elettropompe ACEA presso il sito di Ponte Ladrone che decadono molto rapidamente e simultaneamente: gli assorbimenti delle elettropompe vanno da valori alti (120-145) a valori prossimi allo zero in circa 10 secondi (Fig. 20). Durante il decadimento dell'assorbimento delle elettropompe, nel segnale sismico registrato presso il sito di Ponte Ladrone si osserva energia in alta frequenza non presente nella registrazione di Via Fagnano 9 (es. Fig. 15 tra le 09:33:07 e 09:033:11). Tale tipologia di segnale precede l'evento principale che si registra a Via Fagnano.

- Nella mattina del 4 novembre sono stati avvertiti chiaramente dalla popolazione locale boati con vibrazioni del terreno simili all'evento principale. In questo periodo, nel quale non erano operative stazioni sismiche nell'area, l'analisi dei dati recuperati da ACEA ha evidenziato che gli assorbimenti di 2 delle 4 elettropompe decadono in maniera repentina e simultanea da un valore massimo di circa 50 a 0 in un intervallo di tempo molto breve, meno di 0.5 secondi (Figure 24 e 25).

Dalle analisi condotte si deduce che il ruolo delle elettropompe dell'impianto di sollevamento di Via Ponte Ladrone nell'origine dei boati e delle vibrazioni risentite dai residenti di Via Fagnano rimane controverso, e non è possibile determinare la ragione per cui i boati maggiori si risentano maggiormente nell'intorno di via Fagnano, all'altezza del civico 9.

Come indicazione per ricavare ulteriori elementi utili a determinare il ruolo dell'impianto di sollevamento ACEA nella genesi degli eventi avvertiti dalla popolazione locale, gli autori di questo report suggeriscono, attraverso la collaborazione di ACEA, di organizzare un esperimento controllato per generare decadimenti nell'assorbimento delle elettropompe simili a quelli osservati poco prima della detezione dell'evento principale presso il sito di via Fagnano durante il periodo di monitoraggio e registrare l'eventuale segnale sismico originato in diversi siti nell'area oggetto di studio, al fine di verificare se un repentino e simultaneo decadimento delle elettropompe possa effettivamente essere correlato alle vibrazioni risentite a via Fagnano.

## **Ringraziamenti**

*Si ringraziano i residenti di Via Fagnano 9 per la disponibilità mostrata durante l'esperimento, così come ACEA Ato Spa -Depurazione Roma Sud e Ostia per la collaborazione e la condivisione dei dati di assorbimento delle elettropompe. Un grazie al Dott. Gianluca Ferri dell'Ufficio Rischio Geologico e Morfologico per l'organizzazione delle misure. Si ringraziano inoltre i seguenti colleghi INGV che hanno partecipato alle discussioni sui dati raccolti durante l'esperimento: Riccardo De Ritis, Marco Marchetti e Vincenzo Sapia.*

## DISCLAIMER

### **Esclusione di responsabilità e limiti di uso delle informazioni**

*L'INGV, in ottemperanza a quanto disposto dall'Art.2 del D.L. 381/1999, svolge funzioni di sorveglianza sismica e vulcanica del territorio nazionale, provvedendo all'organizzazione della rete sismica nazionale integrata e al coordinamento delle reti sismiche regionali e locali in regime di convenzione con il Dipartimento della Protezione Civile.*

*L'INGV concorre, nei limiti delle proprie competenze inerenti la valutazione della Pericolosità sismica e vulcanica nel territorio nazionale e secondo le modalità concordate dall'Accordo di programma decennale stipulato tra lo stesso INGV e il DPC in data 2 febbraio 2012 (Prot. INGV 2052 del 27/2/2012), alle attività previste nell'ambito del Sistema Nazionale di Protezione Civile.*

*In particolare, questo documento<sup>1</sup> ha finalità informative circa le osservazioni e i dati acquisiti nell'esperimento ad Acilia da parte degli autori del documento stesso. Il contenuto del report esprime il parere degli autori.*

*L'INGV fornisce informazioni scientifiche utilizzando le migliori conoscenze scientifiche disponibili al momento della stesura dei documenti prodotti; tuttavia, in conseguenza della complessità dei fenomeni naturali in oggetto, nulla può essere imputato all'INGV circa l'eventuale incompletezza ed incertezza dei dati riportati.*

*L'INGV non è responsabile dell'utilizzo, anche parziale, dei contenuti di questo documento da parte di terzi e di eventuali danni arrecati a terzi derivanti dal suo utilizzo.*

*La proprietà dei dati contenuti in questo documento è dell'INGV. I dati delle stazioni sismiche sono disponibili previa richiesta e consenso degli autori del presente report.*

---

<sup>1</sup> Questo documento rientra nella categoria di livello 3 come definita nei "Principi della politica dei dati dell'INGV (D.P. n. 200 del 26.04.2016)".

## Bibliografia

Beyreuther, M., Barsch, R., Krischer, L., Megies, T., Behr, Y. and Wassermann, J., (2010). ObsPy: A Python toolbox for seismology. *Seismological Research Letters*, 81(3), pp.530-533.

Funiciello, R., Giordano, G., Mattei, M. (2016). Carta geolitologica del territorio di Roma Capitale (1:50000), elaborato gestionale del Piano Regolatore Generale di Roma, 2016.

Flinn, E.A., (1965). Signal analysis using rectilinearity and direction of particle motion. *Proceedings of the IEEE*, 53(12), pp.1874-1876.

Goldstein, P., Dodge, D., Firpo, M., Minner, L., Lee, W.H.K., Kanamori, H., Jennings, P.C. and Kisslinger, C., (2003). SAC2000: Signal processing and analysis tools for seismologists and engineers. *The IASPEI international handbook of earthquake and engineering seismology*, 81, pp.1613-1620.

Ringler, A.T. and Evans, J.R., (2015). A quick SEED tutorial. *Seismological Research Letters*, 86(6), pp.1717-1725.

Romeo, G. (2012). Whale watching: effects of strong signals on Lippmann style seismometers.

*J Seismol* 16, 25–34. <https://doi.org/10.1007/s10950-011-9246-7>

Wathelet, M., Chatelain, J.L., Cornou, C., Giulio, G.D., Guillier, B., Ohrnberger, M. and Savvaidis, A., (2020). Geopsy: A user-friendly open-source tool set for ambient vibration processing. *Seismological Research Letters*, 91(3), pp.1878-1889.