ISSN 2039-7941
Anno 2018_Numero 400

rapporti tecnici INGV

Potenziamento della Rete Sismica Nazionale in Sardegna: *site selection* nell'area della Foresta Demaniale Fiorentini, Bultei (SS)

400

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Direttore Responsabile
Silvia MATTONI

Editorial Board
Luigi CUCCI - Editor in Chief (INGV-RM1)
Raffaele AZZARO (INGV-CT)
Mario CASTELLANO (INGV-NA)
Viviana CASTELLI (INGV-BO)
Rosa Anna CORSARO (INGV-CT)
Mauro DI VITO (INGV-NA)
Marcello LIOTTA (INGV-PA)
Mario MATTIA (INGV-CT)
Milena MORETTI (INGV-ONT)
Nicola PAGLIUCA (INGV-RM1)
Umberto SCIACCA (INGV-RM2)
Alessandro SETTIMI
Salvatore STRAMONDO (INGV-ONT)
Andrea TERTULLIANI (INGV-RM1)
Aldo WINKLER (INGV-RM2)

Segreteria di Redazione
Francesca Di Stefano - Referente
Rossella Celi
Tel. +39 06 51860068
redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:
Barbara Angioni (RM1)

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.173 | 2014, 23 LUGLIO
© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI
Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma

ISSN 2039-7941
Anno **2018**_Numero **400**

rapporti tecnici

INGV

POTENZIAMENTO DELLA RETE SISMICA NAZIONALE IN SARDEGNA: *SITE SELECTION* NELL'AREA DELLA FORESTA DEMANIALE FIORENTINI, BULTEI (SS)

Giovanni Battista Cimini, Paolo Casale

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti)

400

Come citare: Cimini G.B., Casale P., (2018). Potenziamento della Rete Sismica Nazionale in Sardegna: *site selection* nell'area della Foresta Demaniale Fiorentini, Bultei (SS). Rapp. Tec. INGV, 400: 1-23.

Indice

Introduzione 7

1. Caratteristiche generali dell'area e siti di misura 7
2. Analisi del rumore sismico 11
3. Sismogrammi di eventi sismici 19
4. Conclusioni 22

Ringraziamenti 23

Bibliografia 23

Introduzione

L'attuale copertura della Rete Sismica Nazionale (RSN) in Sardegna è costituita da quattro stazioni permanenti ubicate nella fascia orientale dell'isola che si affaccia sul mar Tirreno e da una stazione temporanea del progetto Sulcis [Anselmi et al., 2017] acquisita in tempo reale presso la sala operativa del nostro Istituto (Figura 1). Le stazioni permanenti sono installate nei comuni di Dorgali (DGI), Villasalto (VSL), Cagliari (CGL) e Aglientu (AGLI). Quest'ultima è entrata in funzione solo recentemente (marzo 2017) nella provincia di Obia-Tempio anche per la necessità di sostituire la stazione di Oschiri (OSKI), da tempo non più funzionante. L'area centro-occidentale, dalla zona del Sassarese a Nord, alle province di Oristano e dell'Ogliastra al centro, e del Campidano nella parte meridionale, sono tuttora prive di punti di osservazione. Un ampliamento della rete sarebbe importante non solo per una migliore rilevazione degli eventi lontani (telesismi) e regionali (ad es. eventi dell'Appennino), ma anche per la localizzazione della sismicità propria del blocco Sardo-Corso e dei mari circostanti. Sebbene, infatti, la Sardegna sia considerata sostanzialmente asismica, una certa attività è presente soprattutto ai bordi del blocco continentale, con magnitudo anche di rilievo come nel caso degli eventi del 26 aprile 2000 (M_d 4.2 e 4.7), e 18 dicembre 2004 (M_L 4.3) localizzati nel mar Tirreno centrale a circa 60 km ad est di Olbia [*database* ISIDe – ISIDe working group 2016]. Di recente, peraltro, due terremoti sono avvenuti in prossimità e all'interno dell'isola, rispettivamente nelle Bocche di Bonifacio, il 1 ottobre 2014 (M_L 2.6) e in Gallura, il 20 ottobre 2015 (M_L 2.8) [Cimini et al., 2016]. Il manifestarsi di questa sismicità e l'esigenza da parte della Protezione Civile di rendere più adeguato il monitoraggio sismico della Sardegna, hanno spinto alla ricerca di siti per nuove stazioni permanenti, programma iniziato con la valutazione di alcuni siti nell'Alta Gallura e la messa in opera della stazione di Aglientu.

In questo rapporto tecnico si descrive l'attività svolta per la scelta di una seconda postazione nella parte centro-settentrionale della Regione, nella zona geografica approssimativamente equidistante ai siti di AGLI e DGI. L'area presa in considerazione è situata nella foresta di Fiorentini, una delle più antiche ed estese foreste demaniali della Sardegna. Si è indagata tale area in quanto, già sulla carta, offriva i requisiti fondamentali per la realizzazione di una stazione sismica di qualità [Trnkoczy et al., 2012]. Il luogo è caratterizzato, infatti, dall'assenza di fonti di disturbo importanti quali ferrovie, strade con traffico continuo, fiumi, aree di cava, zone industriali, impianti eolici, città o zone abitate in prossimità. Va inoltre considerato che il complesso forestale è costantemente presenziato, un elemento questo sempre più importante per la sicurezza delle apparecchiature contro furti, danneggiamenti e manomissioni.

1. Caratteristiche generali dell'area e siti di misura

La Foresta Demaniale di Fiorentini è situata nella parte sud-orientale della provincia di Sassari (Figura 1), nel territorio comunale di Bultei. Dal punto di vista storico-geografico è inclusa nella subregione del Goceano, che comprende il tratto del bacino superiore del fiume Tirso e la catena montuosa dal medesimo nome. La geologia della regione è caratterizzata dal complesso metamorfico ercinico. In particolare nella zona protetta affiorano alternanze di metarenarie quarzose, filladi quarzifere e quarziti appartenenti a successioni terrigene prevalentemente attribuite al Postgotlandiano (Carbonifero Inferiore) [Carmignani et al., 2012]. Si tratta di formazioni caratterizzate da un medio/alto grado di compattezza, soprattutto le quarziti che notoriamente presentano un'elevata resistenza sia dal punto di vista meccanico che rispetto alla degradazione chimica da parte degli agenti atmosferici. Questi tipi di litologie non producono, in genere, amplificazioni di sito delle onde sismiche. La Figura 2 mostra l'area della riserva forestale con a margine i paesi di Nughedu San Nicolò e Bultei per riferimento. All'interno della mappa sono evidenziati i tre luoghi, sedi delle strutture dell'Ente Foreste (ora denominato agenzia Fo.Re.S.T.A.S) elencate nella legenda, presi in considerazione come potenziali siti per la postazione permanente, in quanto forniti di locali per l'alloggiamento della strumentazione, rete elettrica, spazio all'esterno per il posizionamento del sensore e facilità di accesso. Dopo il riscontro in loco di tali requisiti, ed altre verifiche speditive quali la visibilità verso Sud per il puntamento della parabola satellitare e l'esistenza di fonti di rumore evidenti, il sito della colonia montana Sa Fraigada è stato scartato per la presenza di alberi ad alto fusto e di un'area ristoro nelle immediate vicinanze, meta di numerosi turisti soprattutto nel periodo estivo e perciò sede di disturbi antropici. Negli altri due siti, attigui ai fabbricati della storica Caserma Fiorentini e del Vivaio Sa Pruna (Figura 2), è stata quindi effettuata una prima prova di rumore con l'installazione di due stazioni mobili,

costituite entrambe da un acquisitore Reftek 130 e da un sensore Nanometrics Trillium 40s. A seguito di questo *test*, realizzato tra il 17 e il 25 maggio 2016, l'attenzione si è concentrata sul secondo sito, in virtù della minor frequenza di disturbi nelle registrazioni (dovuta verosimilmente a minore frequentazione di personale e automezzi, maggiore distanza dalla strada provinciale, etc.) rispetto al primo.

Per la definizione conclusiva del sito, tuttavia, si è reso necessario estendere l'analisi del *background noise*, in seguito alla realizzazione di lavori di rilievo sull'impianto idrico del vivaio. Difatti, per sopperire a periodi con scarse precipitazioni, l'impianto è stato recentemente ampliato con una pompa sommersa installata a circa 80 m di profondità in un pozzo retrostante il fabbricato principale, un serbatoio di raccolta e un'autoclave per il pompaggio dell'acqua ai vari punti di utilizzo. La Figura 3 mostra la radura del Vivaio Sa Pruna con la posizione di tali apparati e delle due stazioni aggiuntive utilizzate per questo secondo *test*.

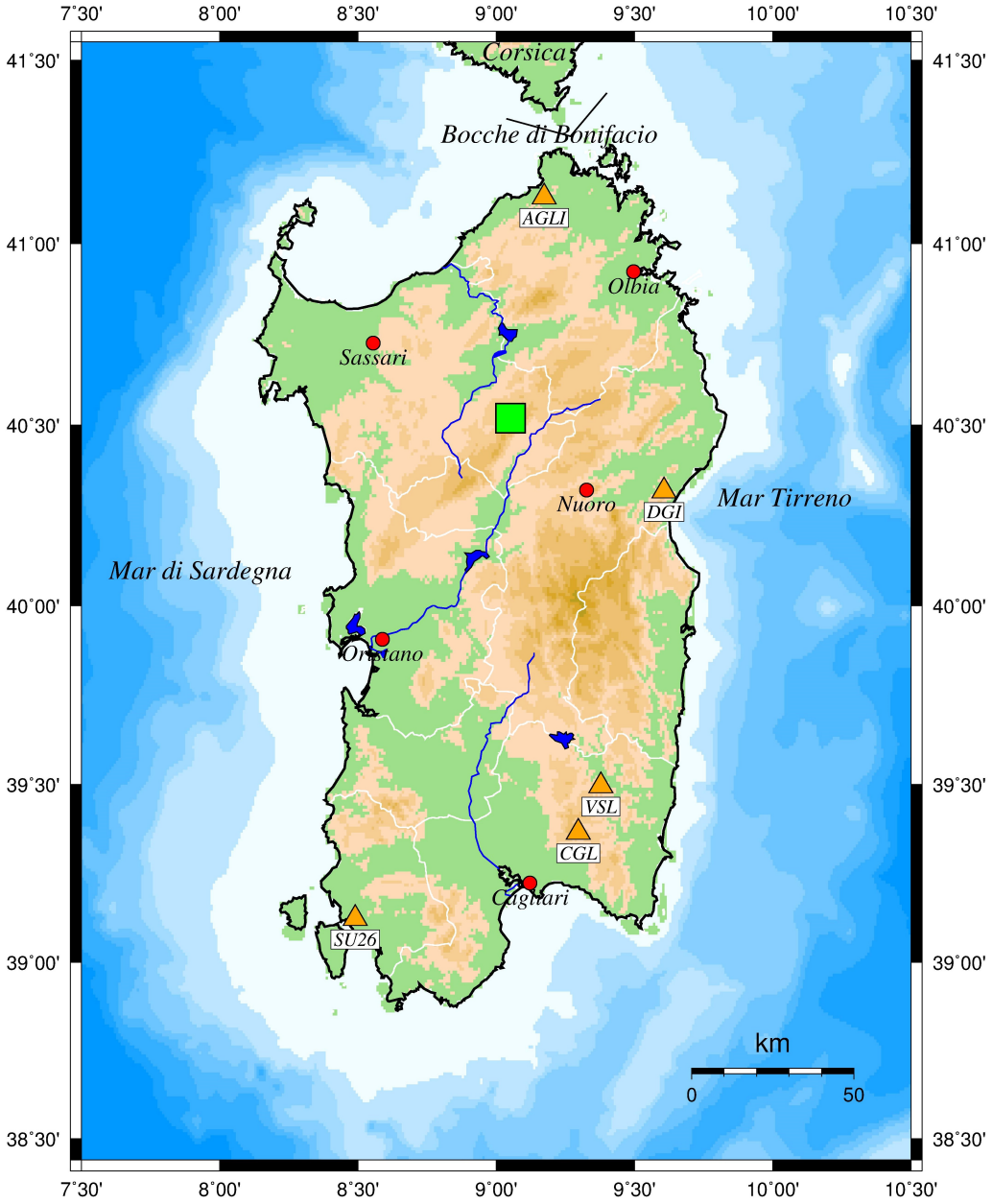


Figura 1. Stazioni permanenti delle RSN in Sardegna (triangoli arancioni). SU26 è la stazione temporanea di Carbonia del progetto Sulcis [Anselmi et al., 2017] collegata in tempo reale al sistema di acquisizione dell'INGV. Il quadrato verde indica la zona della Foresta Demaniale di Fiorentini.

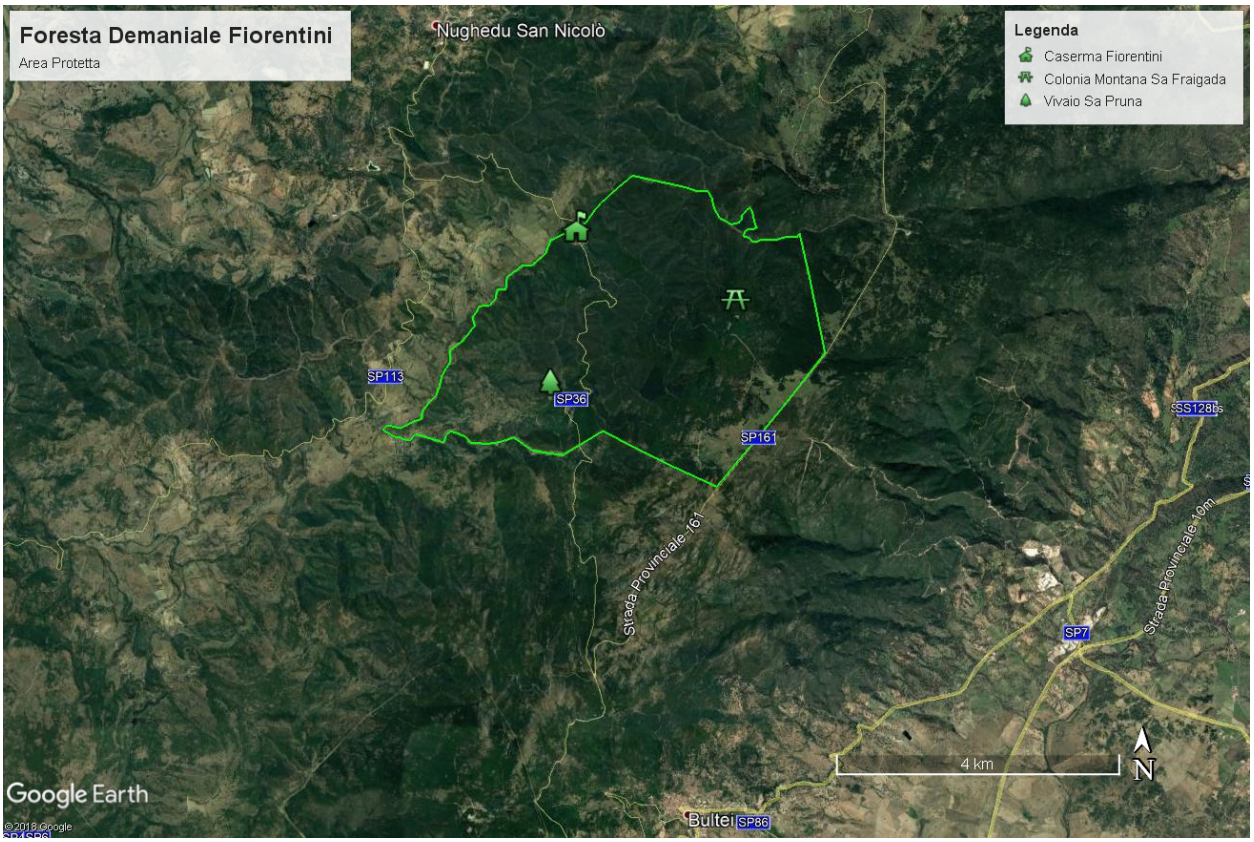


Figura 2. La Foresta Demaniale di Fiorentini nel Goceano. La legenda indica i tre siti esaminati per la realizzazione della nuova stazione.



Figura 3. Posizione delle stazioni temporanee SPN1 e SPN2 (triangoli rossi) nell'area del Vivaio Sa Pruna. La legenda mostra i principali elementi dell'impianto idrico presi in esame per l'analisi dei disturbi sul rumore di fondo.

Lo scopo della nuova indagine era duplice: valutare l'impatto sulla qualità del segnale sismico del funzionamento del sistema idraulico sopra schematizzato, e perfezionare la scelta dell'ubicazione finale del sensore all'interno dell'area selezionata. Per questo si è deciso di attuare un'installazione molto accurata, ovvero 'quasi permanente', e di eseguire una registrazione piuttosto lunga (quasi tre mesi) in modo da poter esaminare più approfonditamente le caratteristiche del *noise* nel tempo. Le Figure 4 e 5 evidenziano la fase di preparazione dei due siti con in dettaglio gli scavi effettuati per l'alloggiamento dei sismometri. Al fondo delle cavità, profonde circa 60 cm, è stata realizzata una basetta in cemento ancorata al suolo tramite alcuni tondini di ferro. I sensori sono stati isolati termicamente con una scatola di polistirene sigillata ai basamenti così costituiti tramite silicone. L'installazione è stata completata con l'interramento totale dei coprisensori per ulteriore isolamento e protezione.



Figura 4. Installazione della stazione SPN1. A sinistra lo scavo e la piccola piattaforma in cemento realizzati per il posizionamento del sensore. Il substrato è costituito da roccia compatta.



Figura 5. Installazione della stazione SPN2. A sinistra particolare sulla scatola in polistirene usata per l'isolamento termico dei sensori. Il substrato è costituito da frammenti della stessa roccia compatta che verosimilmente è presente a circa 1-1.5 m di profondità, misti a copertura terrigena.

Il punto di collocazione di SPN1 è stato ricercato con una certa accuratezza considerando la distribuzione ed il funzionamento previsto per i nuovi dispositivi. La posizione scelta è in un lato del sito con substrato molto compatto e che rimane in prossimità della parte dello stabile messa a disposizione per le apparecchiature di alimentazione e trasmissione dati. La stazione SPN2, distante circa 20 m dalla prima, è stata invece volutamente posizionata vicino (~5 m) all'imboccatura del pozzo contenente la pompa profonda. Questa, fortunatamente, viene attivata soltanto di rado e prevalentemente in estate, avendo l'unica funzione di rifornire il capiente serbatoio posto in superficie. Riguardo alla natura del terreno sottostante, SPN2 poggiava su uno strato di frammenti di roccia prodotto dal livellamento dell'area per la costruzione dell'edificio principale (Figura 3). La distanza tra l'autoclave, l'apparato che più frequentemente entra in funzione, e le stazioni temporanee supera di poco i 30 m. Nella Tabella 1 sono riportate le coordinate delle stazioni, la strumentazione impiegata e il periodo di acquisizione effettuato nei due siti. La configurazione comprendeva anche un pannello solare da 70W, una batteria di alimentazione e l'antenna GPS. La registrazione è stata posta in modalità continua con una frequenza di campionamento di 100 *sps*, *gain* unitario e memorizzazione dei dati in formato compresso su *compact flash*.

Stazione	Posizione			Strumentazione		Registrazione	
	Lat (N)	Lon (E)	Alt (m)	Digitalizzatore	Sensore	Start	Stop
SPN1	40.50921	9.03970	741	Reftek 130 SN 9194	Trillium 40s SN 132	2017:291:13:00	2018:011:09:00
SPN2	40.50913	9.03958	743	Reftek 130 SN 932A	Trillium 40s SN 342	2017:292:10:00	2018:011:08:20

Tabella 1 Stazioni temporanee utilizzate per la misura del *noise* nel sito del Vivaio Sa Pruna (Figura 3). SPN1 è stata attivata il 19 ottobre 2017, SPN2 il giorno seguente. Le stazioni hanno acquisito ininterrottamente fino all'11 gennaio 2018.

2. Analisi del rumore sismico

L'analisi del *background noise* è stata effettuata attraverso due fasi principali. Nella prima si è valutata la consistenza dei disturbi derivanti dall'utilizzo del nuovo impianto idrico, mentre nella seconda si è analizzato il livello spettrale a lungo termine attraverso la cosiddetta *PDF analysis* [McNamara and Buland, 2004]. La *PDF analysis* è un'analisi della *Power Spectral Density (PSD)* del rumore ambientale basata su una funzione di densità di probabilità (*PDF*). La caratteristica principale di questa analisi è che i fenomeni transitori, quali ad esempio disturbi occasionali, eventi sismici, anomalie nel flusso dei dati, etc. (*system transients*), si manifestano e sono rappresentati con un basso livello di probabilità, mentre, invece, le condizioni del rumore ambientale si rivelano con un alto livello di probabilità di occorrenza [McNamara and Boaz, 2005].

Per valutare l'influenza degli apparati idraulici sono state svolte varie prove di accensione e spegnimento dell'autoclave e della pompa, in condizioni di calma meteorologica e di sostanziale assenza di altri disturbi di natura antropica. Tali prove sono riassunte dalla Figura 6 che mostra l'effetto associato alle singole operazioni sulle componenti verticali dei due sismometri. Come si può osservare, le accensioni dell'autoclave, a seguito del prelievo di acqua in punti diversi del sito (1-interno fabbricato; 5-fontana esterna), sono caratterizzate da impulsi netti (di ampiezza maggiore nella registrazione di SPN2), mentre le successive disattivazioni appaiono meno evidenti, praticamente confondibili con il segnale di fondo. Per il caso 1 sono presenti due impulsi successivi, il primo dei quali relativo ad un utilizzo dell'acqua di breve durata (qualche secondo), prova effettuata come verifica dell'attivazione dell'autoclave anche in tali evenienze. Esaminati in dettaglio, gli impulsi appaiono di breve durata (<2 s) ed hanno un contenuto spettrale che si concentra in bande ad alta frequenza, dai 15 Hz in su, con un primo massimo attorno ai 18 Hz

(Figura 7). Un comportamento analogo si riscontra in concomitanza dello spegnimento della pompa profonda (4) che, in termini di ampiezze registrate, rappresenta l'evento più marcato. Durante il suo funzionamento (da 3 a 4 in Figura 6), si nota un lieve aumento del rumore tra 2 e 4 Hz (Figura 8), dovuto, con ogni probabilità, al fluire dell'acqua nella condotta verso il serbatoio e alla caduta entro quest'ultimo per via del riempimento dall'alto. Nella Figura 8 gli spettri delle tre componenti sono rappresentati contemporaneamente e, per inciso, nella pur breve durata del funzionamento della pompa, non si osservano differenze apprezzabili tra le ampiezze spettrali delle stesse. Difatti, in tutto il *range* di frequenze, gli andamenti relativi alle medie delle componenti orizzontali non superano quello della componente verticale per più di 3 dB, valore corrispondente ad un fattore 2 di amplificazione. L'assenza di amplificazioni locali nel sito in esame verrà meglio verificata alla fine di questo paragrafo su intervalli temporali maggiori e con il metodo dei rapporti spettrali H/V.

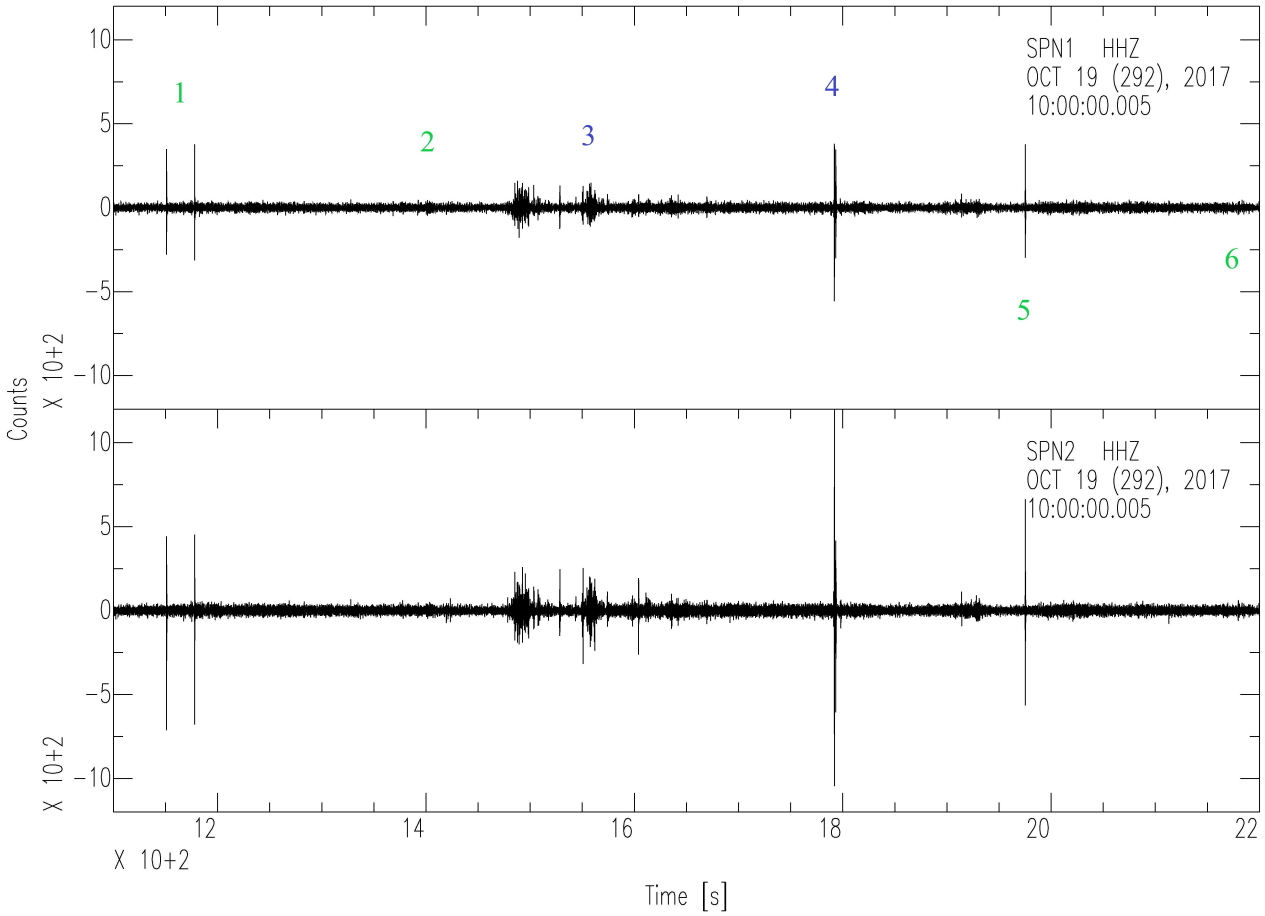


Figura 6. Registrazione dei disturbi dovuti all'accensione/spegnimento degli apparati idrici del vivaio Sa Pruna. In verde l'accensione (1, 5) e lo spegnimento (2, 6) dell'autoclave che alimenta i vari punti dell'impianto. In blu l'accensione (3) e lo spegnimento (4) della pompa sommersa che rifornisce il serbatoio. I sismogrammi sono filtrati con un passa alto avente *corner frequency* pari ad 1 Hz.

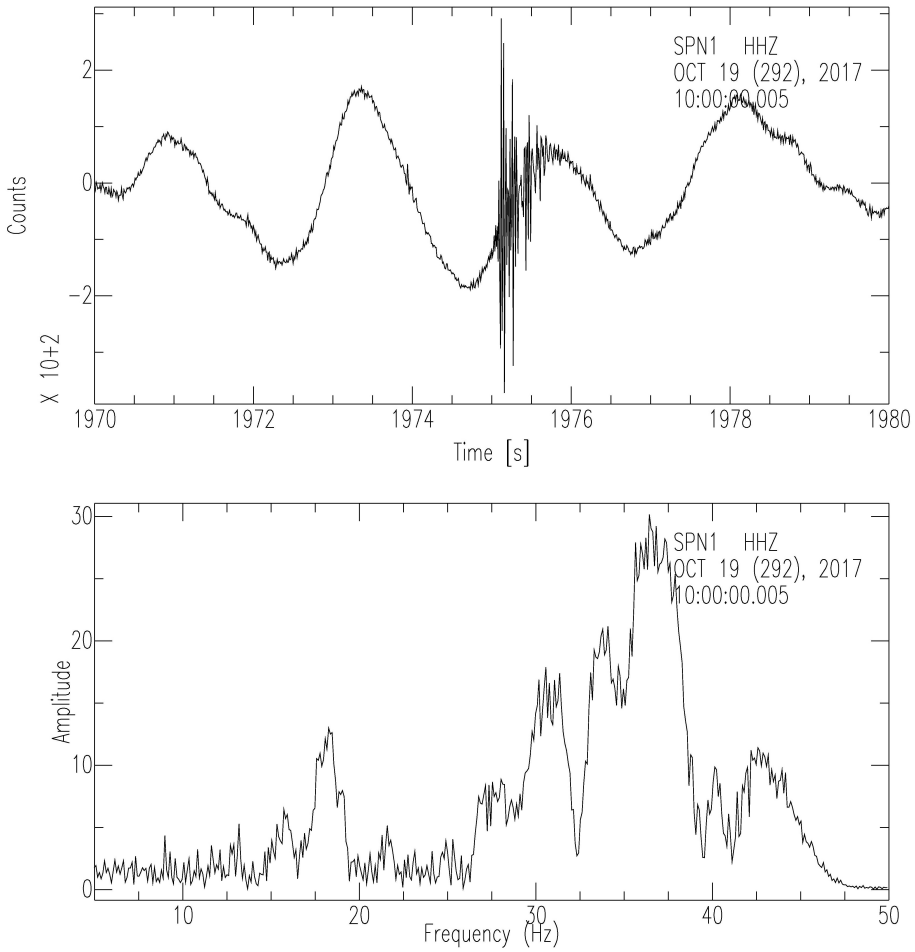


Figura 7. Sismogramma e spettro dell'impulso di accensione dell'autoclave attivato dall'apertura della fontana esterna (caso 5 in Figura 6). Il disturbo ha una durata di poco superiore ad un secondo (diagramma in alto), comunque ben visibile sul rumore di fondo dominato dai microsismi marini. Per maggiore visibilità delle bande di frequenza in gioco e delle relative ampiezze, lo spettro (diagramma in basso) è mostrato da 5 Hz in su.

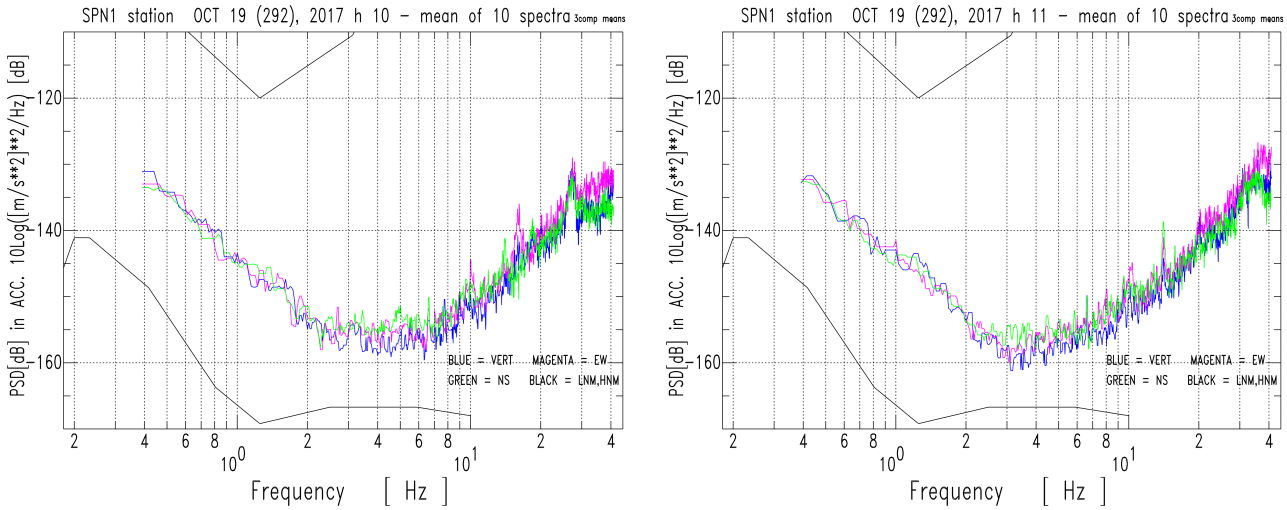


Figura 8. Spettri *PSD* durante il funzionamento della pompa sommersa (a sinistra) e dopo la fine delle prove di cui alla Figura 6 (a destra). Si osserva un leggero aumento del rumore sismico nell'intervallo di frequenze tra 2 e 4 Hz.

Riguardo ai risultati della *PDF analysis*, essi sono riportati nelle Figure 9 e 10 rispettivamente per le stazioni SPN1 e SPN2, e nella Figura 11 per la stazione permanente di Aglientu (AGLI), aggiunta per confronto. AGLI è una stazione a trasmissione satellitare costituita da un digitalizzatore GAIA2 e da un sensore Nanometrics Trillium 40 s. La frequenza di campionamento è uguale a quella imposta nelle stazioni temporanee, di conseguenza i canali in *output* sono gli stessi (HHZ, HHN, HHE). I diagrammi mostrano le *PSD* [Welch, 1967] relative a tali canali calcolate per 31 giorni consecutivi, dall'11 novembre all'11 dicembre 2017. Le *PSD* sono determinate su segmenti orari che si sovrappongono del 50% (47 *PSD* al giorno), estratti dalla registrazione continua. L'intervallo temporale considerato comprende due periodi caratterizzati da forte vento (12-15 novembre e 9 -11 dicembre), con velocità al suolo fino a 20 m/s (~40 nodi) e direzione prevalente da Nord-Ovest (http://www.centrometeo.com/modellinumerici/archivio-storico). In occasione di tali particolari situazioni meteorologiche, le *PSD* dei giorni coinvolti mostrano un chiaro aumento del rumore sismico in tutto il *range* dei microsismi marini (0.05-1.0 Hz circa) e, in misura più contenuta, anche per frequenze superiori a 2-3 Hz. Gli spettri sono presentati in unità di decibel riferiti a 1 $(m/s^2)^2$/Hz (0 db) e, nel caso delle stazioni temporanee, sono limitati nelle alte frequenze a 40 Hz dall'azione del filtro digitale anti-aliasing dell'acquisitore Reftek. La *corner frequency* di questo filtro è posta all'80% della frequenza di Nyquist, pari, nel nostro caso, a 50 Hz. Le curve in grigio scuro, HNM e LNM, indicano rispettivamente i modelli empirici *High Noise* e *Low Noise* corrispondenti ai valori estremi della *PSD* osservati dalle stazioni installate nel mondo [Peterson, 1993].

I diagrammi di SPN1 e SPN2 evidenziano entrambi un livello di *background noise* sufficientemente buono nell'ampio *range* di frequenze che va da 0.01 a 40 Hz, livello che risulta sostanzialmente uguale nei due siti tra 0.05 e 10 Hz circa. A frequenze maggiori si nota un aumento più forte del rumore di SPN2, visibile su tutte e tre le componenti. SPN1 sembra presentare un comportamento leggermente migliore anche per periodi superiori a 25 s (0.04 Hz), sebbene limitato alla componente HHZ. Riguardo alla distribuzione delle *PSD* nel campo delle basse frequenze (<0.1 Hz), con diversi campioni che appaiono superare il modello HNM, è utile precisare che il periodo esaminato è stato contraddistinto da un importante numero di telesismi (19) di magnitudo compresa tra 6.0 e 7.3. Come è noto, maggiore è la magnitudo di un terremoto, maggiori sono i lunghi periodi e le ampiezze delle onde sismiche che vengono generate. Tale sismicità a bassa frequenza, come pure gli eventi locali e, in generale, tutti i disturbi di natura transitoria, è inclusa nel calcolo delle PSD ma risulta associata ad una bassa probabilità di occorrenza. In particolare è interessante notare che, per periodi da 1 s ad almeno 100 s, la *PSD* massima osservata (la curva in rosso nelle Figure 9-11) è dovuta esclusivamente all'evento di Mw 7.3. Questo forte telesisma, peraltro, è avvenuto relativamente vicino al sito di registrazione, essendo stato localizzato nella regione di confine tra Iraq e Iran ad una distanza epicentrale di circa 30° (https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage).

Il confronto con la *PDF analysis* di AGLI, parimenti caratterizzata da un deciso incremento del *noise* sopra gli 8 Hz (Figura 11), mostra inoltre la maggiore dispersione delle relative *PSD* nella banda 1-10 Hz rispetto a SPN1, la cui moda della distribuzione appare più 'vincolata'. In aggiunta, estendendo la comparazione ad un'altra stazione della RSN in Sardegna, l'andamento del rumore ambientale rilevato per SPN1 risulta più simile, nel complesso, a quello della stazione 'quasi ipogea' DGI (Figura 1), situata nella Grotta Ispinigola di Dorgali (NU) ed equipaggiata con strumentazione analoga (digitalizzatore a 24 bit e sensore Trillium 40 s). I diagrammi del *noise* di DGI [Marzorati e Lauciani, 2015] per il periodo autunnale esaminato sono visibili sul sito http://sqlx-srvr.int.ingv.it/.

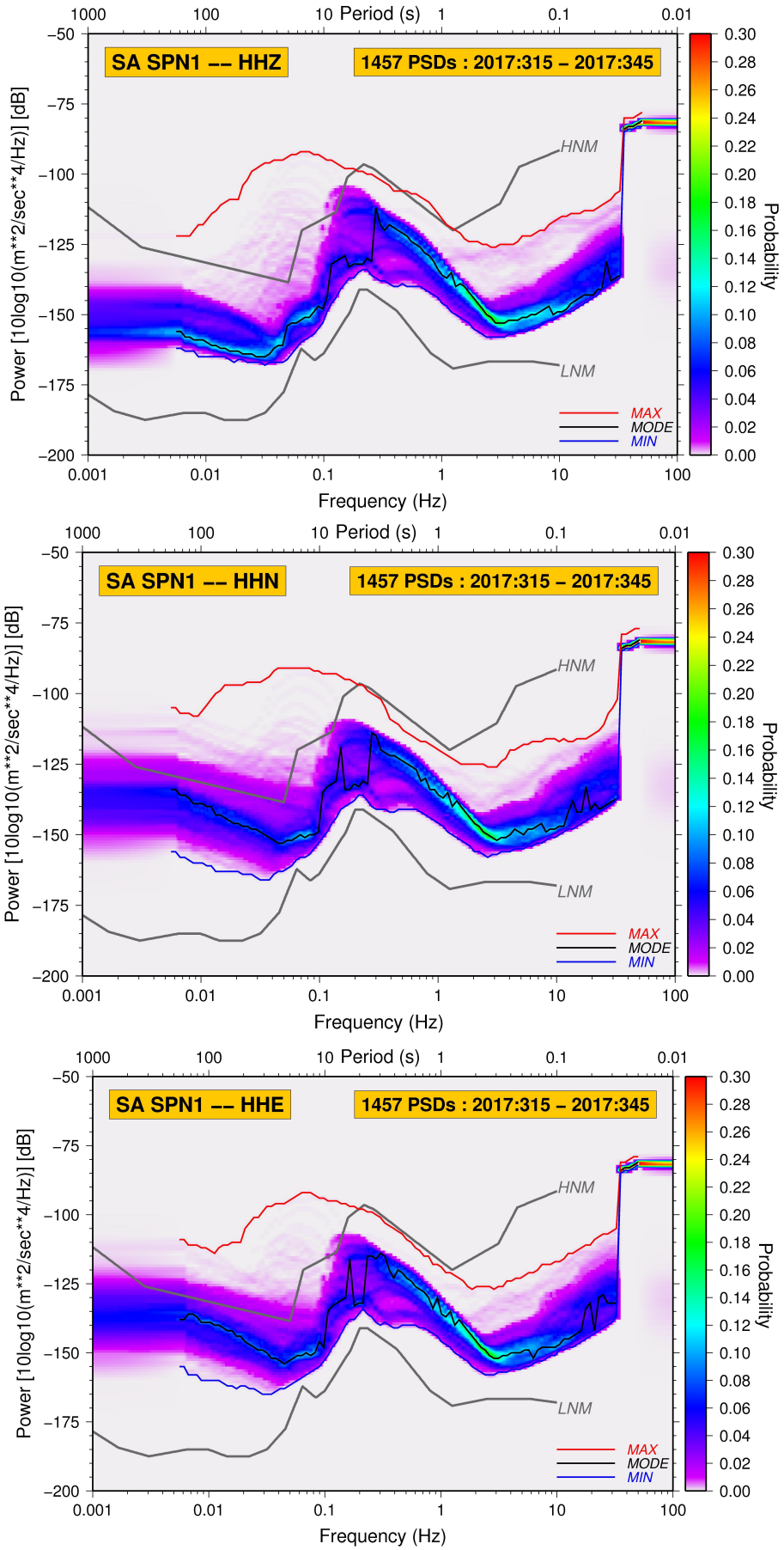


Figura 9. *PDF Analysis* del *background noise* osservato alla stazione SPN1.

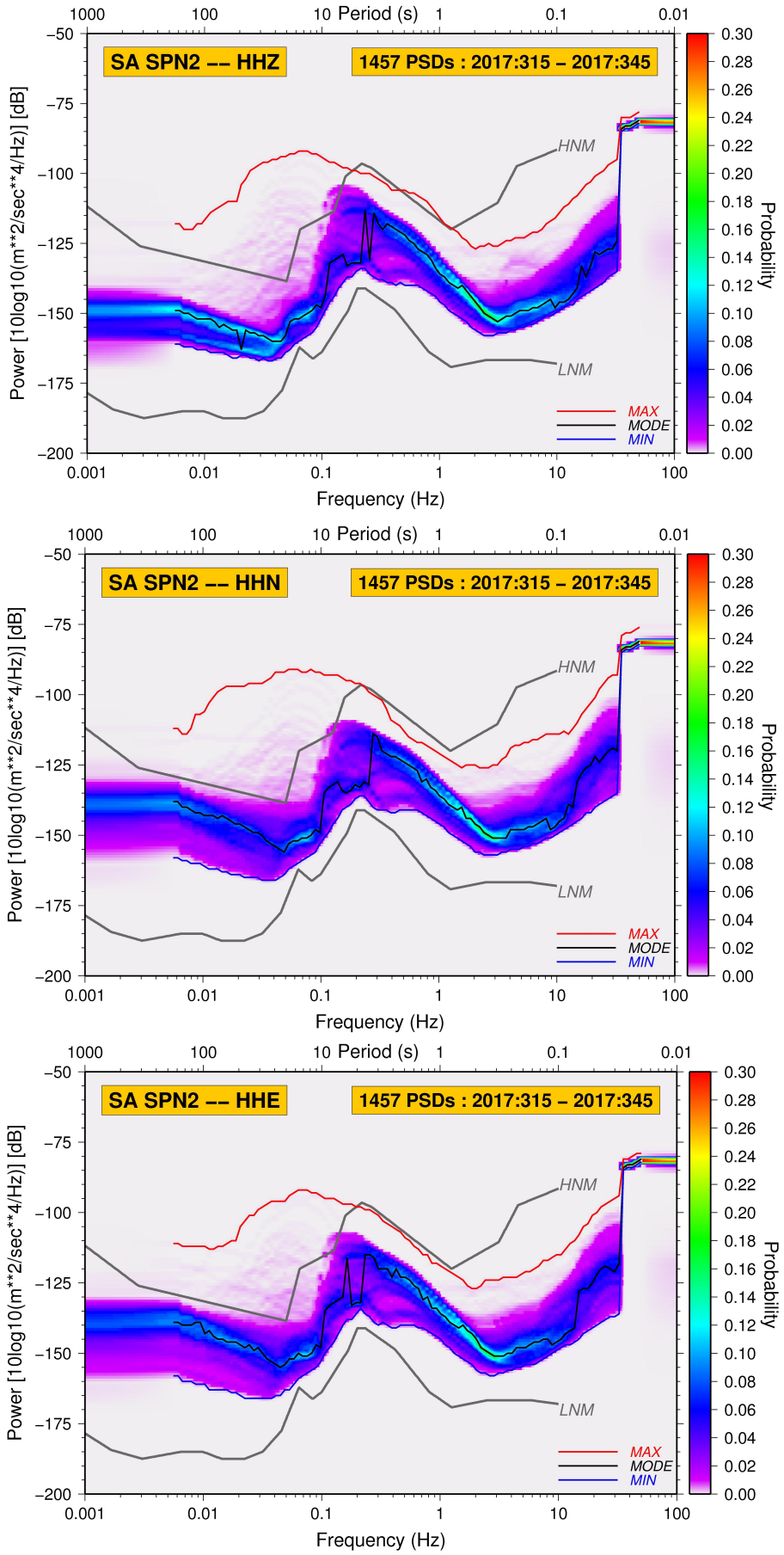


Figura 10. *PDF Analysis* del *background noise* osservato alla stazione SPN2.

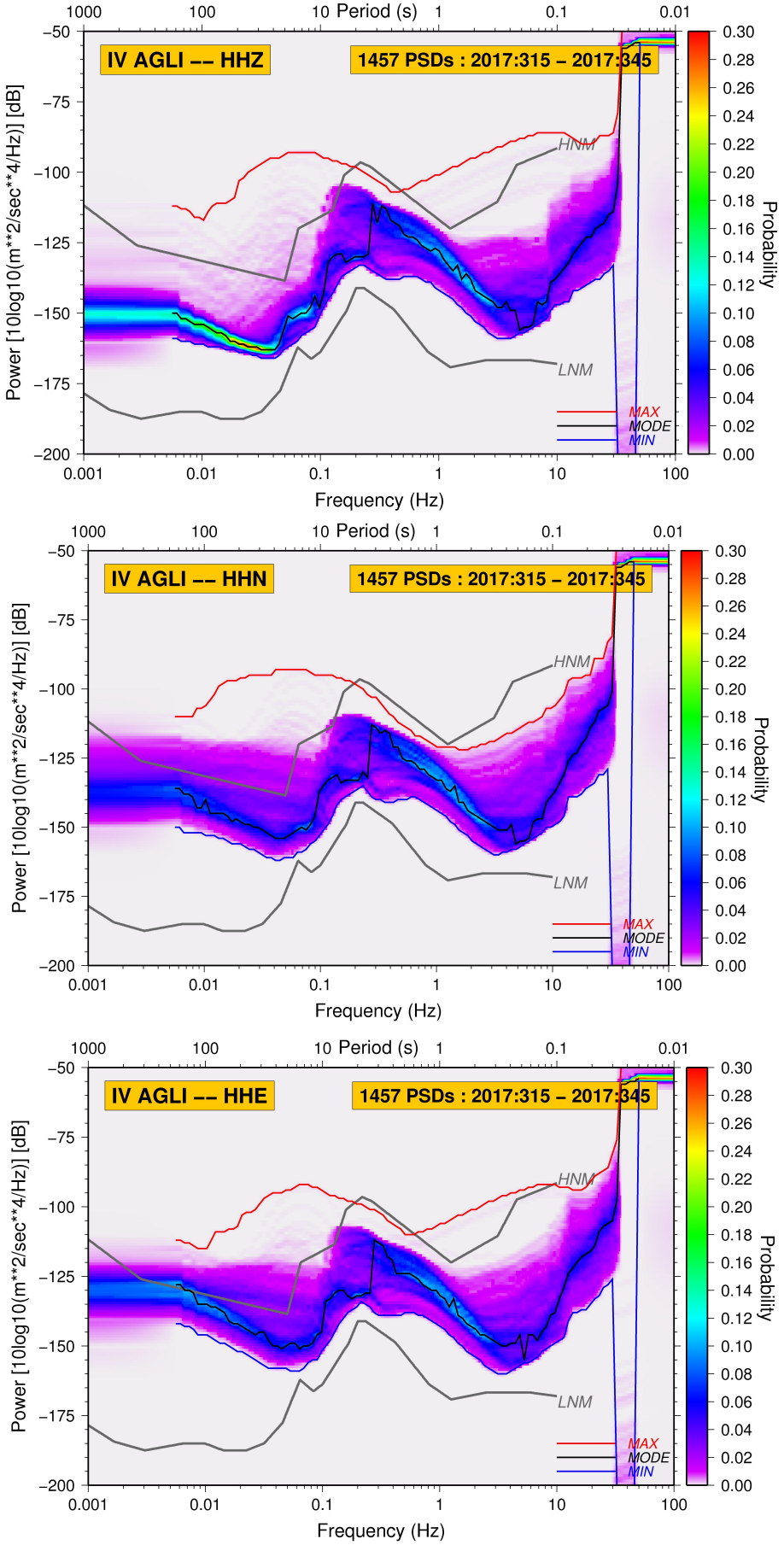


Figura 11. *PDF Analysis* del *background noise* osservato alla stazione permanente AGLI.

A complemento della *PDF analysis* suesposta, si è voluta indagare, seppur in modo speditivo, l'eventuale presenza di effetti di amplificazione locale nel sito in esame. Per questo scopo si è usato il metodo dei rapporti spettrali H/V (Nakamura, 1989). Il metodo consiste nel mediare opportunamente gli spettri di Fourier delle due componenti orizzontali nord-sud ed est-ovest del campo d'onda del rumore sismico e fare il rapporto con il corrispondente spettro della componente verticale. Si ottiene così una curva che rappresenta il rapporto delle ampiezze H/V in funzione della frequenza. I rapporti H/V sono stati ottenuti usando il software Geopsy (http://www.geopsy.org/), selezionando finestre temporali di rumore sismico lunghe da 80 a 150 s. Il calcolo è stato eseguito per due giornate con caratteristiche meteorologiche molto diverse e quindi con un diverso livello del rispettivo *background noise*. La Figura 12 riporta i risultati per i giorni scelti, il 21 ottobre con tempo sereno e calmo (diagramma in alto) e il 23 ottobre con tempo perturbato (diagramma in basso). Nei grafici la curva nera indica la media geometrica dei rapporti, le curve in tratteggio la banda tra +/- una deviazione standard. In particolare nel giorno di calma meteorologica, la media dei rapporti si mantiene sempre al di sotto del valore 1.2 per tutte le frequenze da 0.15 a 30 Hz. Nel giorno perturbato, caratterizzato da vento molto forte, si osserva un lieve incremento del rapporto H/V tra 3 e 6 Hz, in particolare intorno ai 5 Hz la media raggiunge il valore di 1.6. Si tratta comunque sempre di valori inferiori a 2 e quindi indicativi di una certa stabilità nel rapporto H/V. L'andamento sostanzialmente piatto del rapporto H/V sull'intero *range* di frequenze esaminato, costituisce una buona indicazione del fatto che il sito è esente da amplificazioni locali (anche ad alta frequenza), e che la roccia compatta su cui è stato posizionato il sensore (Figura 4) non presenta problemi di fratturazione e/o fagliazione evidenti.

Le analisi sopra descritte dimostrano l'effettiva validità del sito SPN1 per una stazione a larga banda, anche in prospettiva di una realizzazione permanente più adeguata, dal punto di vista costruttivo, di quella descritta nella presente *site selection*.

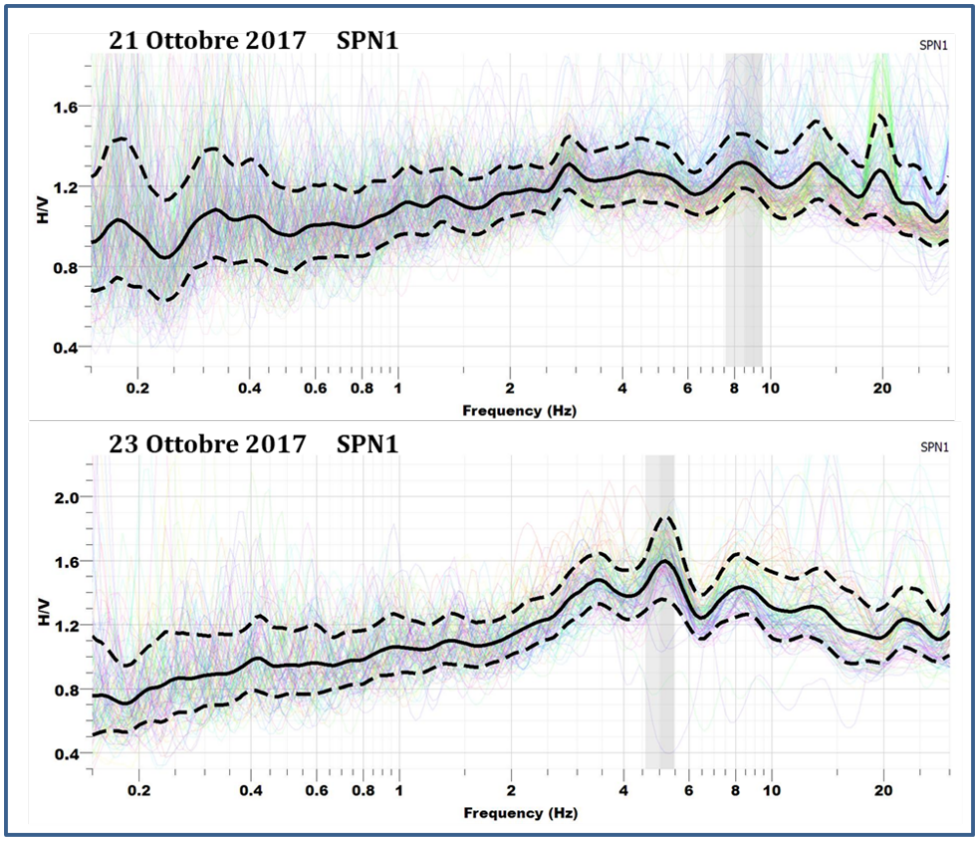


Figura 12. Rapporti spettrali H/V per la stazione SPN1. In alto l'andamento in un giorno di calma meteorologica (21 ottobre), in basso quello di un giorno molto perturbato (23 ottobre). Nel caso del giorno di 'quiete' la curva è essenzialmente piatta con valori del rapporto intorno a 1. Nel giorno perturbato, il rapporto H/V, pur mantenendosi sempre inferiore a 2, mostra un incremento nella banda 3-6 Hz, con la media che raggiunge il valore massimo di 1.6 intorno ai 5 Hz.

3. Sismogrammi di eventi sismici

Durante la misura del *noise*, le stazioni SPN1 e SPN2 hanno registrato efficacemente gran parte dei numerosi telesismi di magnitudo $M_w \geq 5.5$ verificatisi nel periodo, diversi eventi degli Appennini e del Tirreno meridionale, di magnitudo superiore a 3.5 circa, ed alcuni terremoti della regione del blocco Sardo-Corso. Esempi di tali registrazioni sono dati nelle figure che seguono con l'intento di qualificare il livello di detezione delle varie fasi sismiche nei siti di prova. Le Figure 13 e 14 sono relative rispettivamente ad un telesisma del settore centrale della dorsale medio atlantica (*Romanche Fracture Zone* - https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/) e ad un evento regionale localizzato nelle vicinanze di Amatrice, nel reatino. In entrambi i casi sono mostrati solo i sismogrammi acquisiti dalla stazione SPN1 in quanto quelli di SPN2 non presentano differenze apprezzabili. Nella registrazione telesismica sono identificabili molti degli arrivi previsti dai modelli di velocità globali, quale ad esempio l'ak135 [Kennett et al., 1995], per la distanza epicentrale (51°) e la profondità (10 km) date. Tra i più importanti si evidenziano quelli delle onde di volume P ed S, visibili rispettivamente intorno a 2500s e 2950s, e del treno di onde superficiali con la variazione del periodo delle fasi che le caratterizza, a partire da 3400s circa. Nelle successive Figure 15, 16 e 17 sono mostrati i sismogrammi di tre eventi locali avvenuti nel Mar di Sardegna e nell'entroterra della Corsica settentrionale, ad una distanza dal *test site* compresa tra 150 e 270 km, secondo le localizzazioni epicentrali (Figura 18) fornite dai bollettini francesi del CEA/DASE. In particolare, i sismogrammi non filtrati di Figura 15, pur essendo relativi ad un terremoto di piccola magnitudo (M_L 2.2) e piuttosto lontano dal sito di misura, mostrano comunque dei chiari arrivi delle onde P ed S. Nel caso specifico, tali letture ridurrebbero in maniera significativa l'ampio *gap* azimutale (oltre 200°) che solitamente risulta associato alla localizzazione degli eventi dell'area. Ciò è vero anche per gli eventi, non così infrequenti, della Corsica, come ad esempio quello di Figura 16, e mari circostanti, per i quali i dati della futura stazione sarebbero molto utili per vincolarne le posizioni epicentrali verso Sud. Le registrazioni di cui alla Figura 17 sono relative ad un evento posto circa 70 km a nord-ovest dell'Asinara. Esso testimonia una certa ricorrenza della sismicità in questa area al bordo del blocco Sardo-Corso, essendo stata oggetto nel recente passato di diversi altri terremoti con magnitudo fino a 3.0 (http://www-dase.cea.fr/evenement).

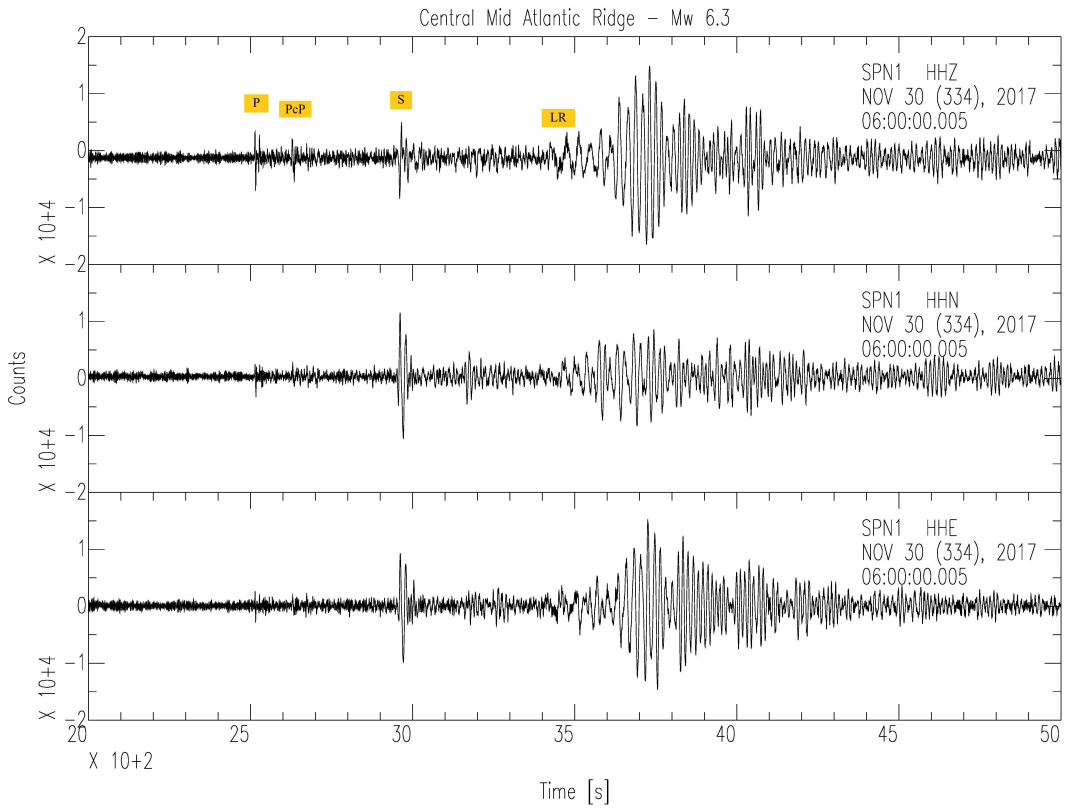


Figura 13 Registrazione di un telesisma della dorsale medio atlantica alla stazione SPN1. La distanza epicentrale è di 51° corrispondenti a circa 5700 km.

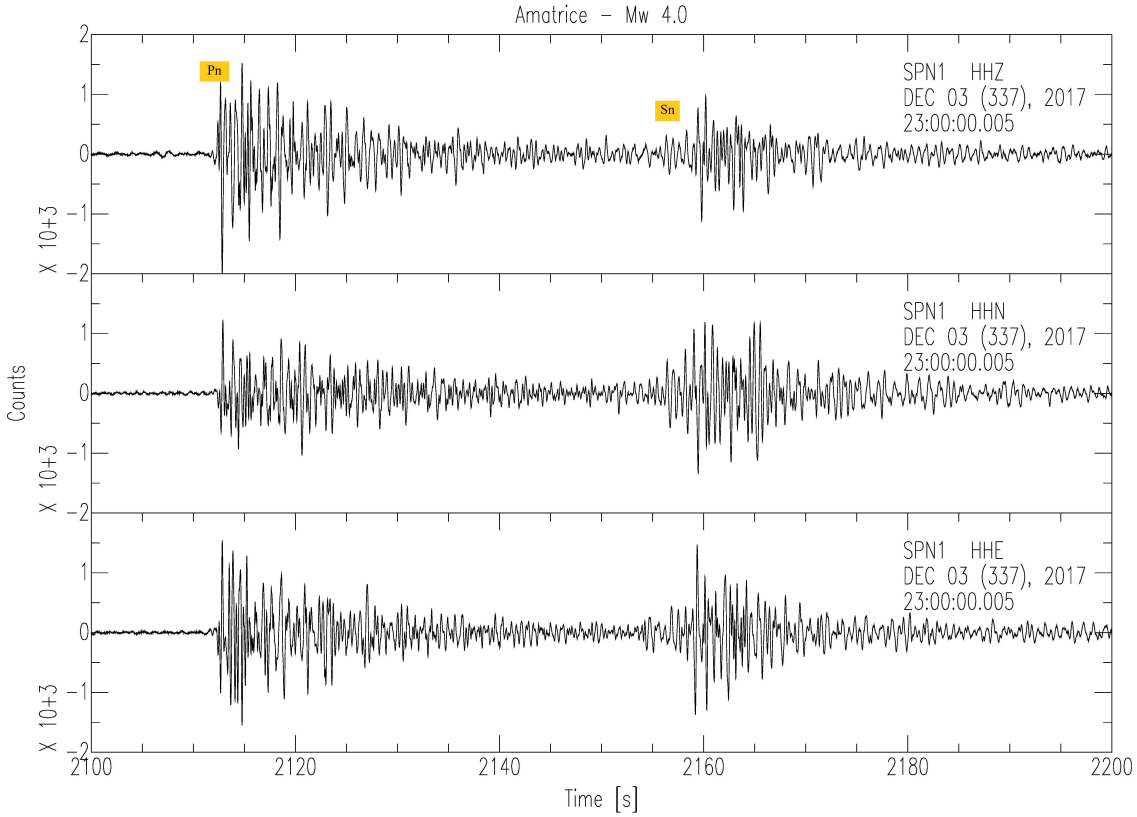


Figura 14 Registrazione di un terremoto di magnitudo Mw 4.0 avvenuto nei pressi di Amatrice (RI). I sismogrammi sono stati filtrati tramite un passa alto con *corner frequency* posta ad 1 Hz. La distanza epicentrale è di circa 430 km.

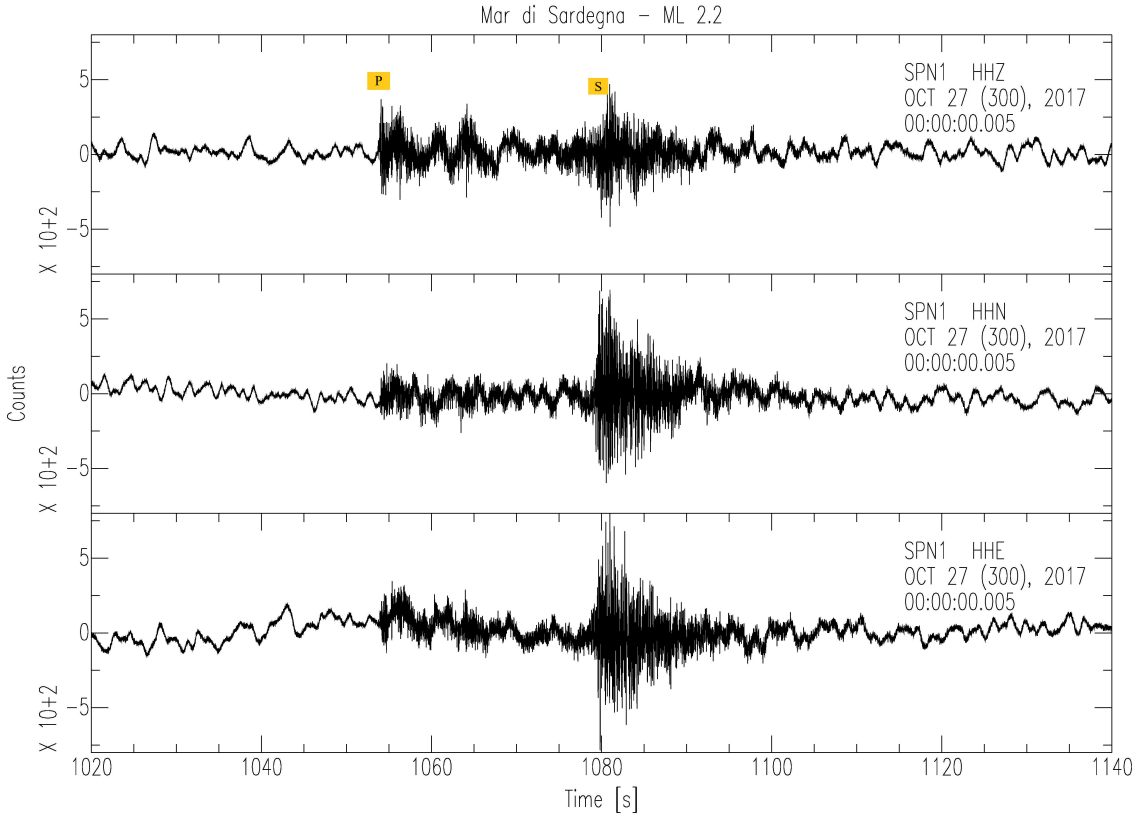


Figura 15 Sismogrammi di un evento localizzato nel Mar di Sardegna tra la costa occidentale dell'isola e le Baleari, distante più di 250 km dalla stazione SPN1.

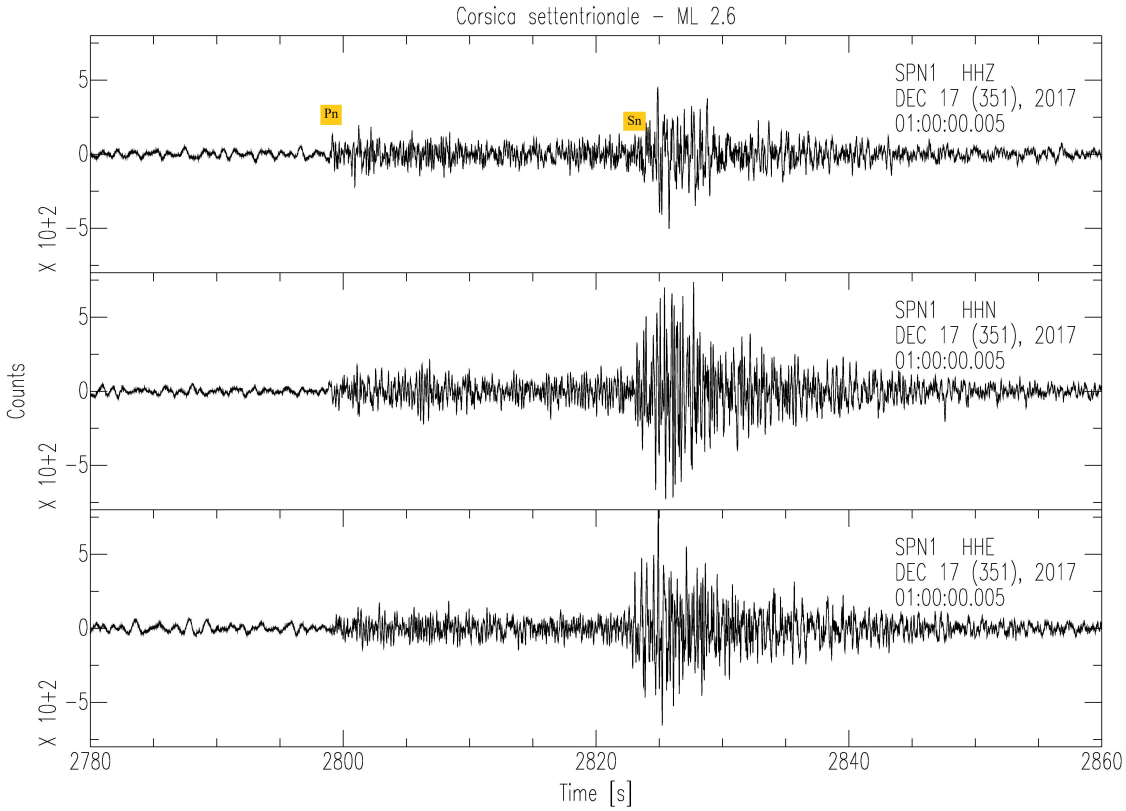


Figura 16 Sismogrammi di un evento localizzato nella Corsica settentrionale a circa 200 km dalla stazione SPN1.

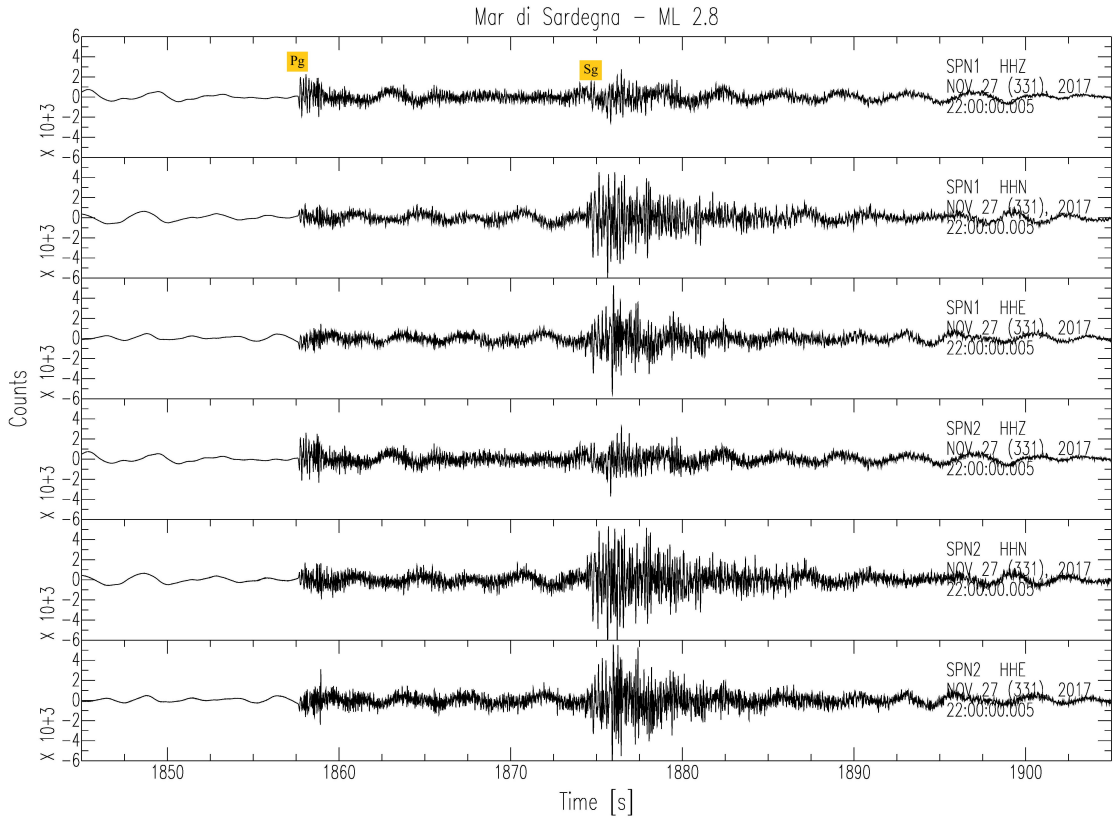


Figura 17 Sismogrammi relativi ad un evento localizzato nel Mar di Sardegna, a Nord-Ovest dell'Asinara, a circa 150 km dalle stazioni SPN1 e SPN2.

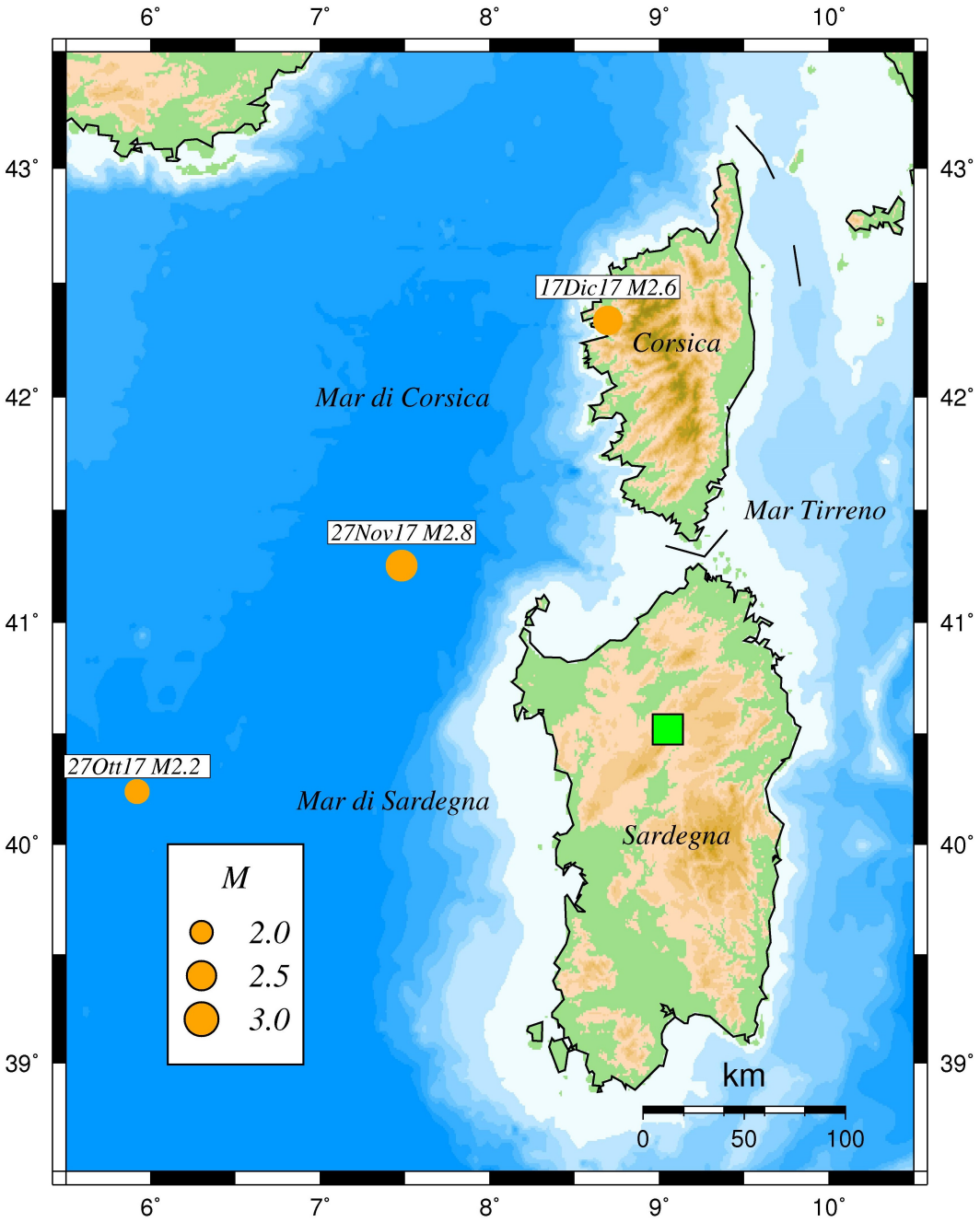


Figura 18 Mappa degli epicentri degli eventi locali registrati durante la misura del *noise*.

4. Conclusioni

I dati acquisiti durante la campagna di monitoraggio nell'area della Foresta Demaniale Fiorentini hanno permesso di validare l'idoneità del sito Vivaio Sa Pruna come futura stazione permanente della RSN nella Sardegna centro-settentrionale. Le caratteristiche generali, geologiche e di rumore ambientale relativamente contenuto su un ampio *range* di frequenze, propendono per una realizzazione *very broad band* nel luogo selezionato. I disturbi dovuti all'utilizzo dell'impianto idrico non appaiono inficiare significativamente il livello del *noise*, essendo limitati alla breve durata (qualche secondo) dell'impulso dell'accensione/spegnimento degli apparati. La registrazione efficace di eventi sismici alle varie scale di propagazione è un notabile risultato, data la posizione geografica dell'isola, sia per la sorveglianza sismica

che per nuovi studi sulla struttura del Mediterraneo centro-occidentale. Ciò rende particolarmente utile il proseguimento del programma di potenziamento intrapreso.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Agenzia Fo.Re.STAS per la disponibilità delle strutture e la fattiva collaborazione data nel corso delle misure per la selezione dei siti di stazione. Si ringraziano A. Delladio, M. Moretti e S. Rao, responsabili dell'U.F. Reti Temporanee e dell'U.F. Laboratorio Reti Sismiche del CNT per l'uso della strumentazione ed i tecnici delle due U.F. per l'approntamento della stessa nelle varie prove. Si ringrazia G. Cultrera e M. Pischiutta per gli utili suggerimenti sull'analisi dei rapporti spettrali e F. Cara per l'attenta revisione del manoscritto.

Bibliografia

Anselmi M., Buttinelli M., Pastori M., Piccinini D., Colasanti G., Chiarabba C. (2017). *L'esperimento Sulcis (SW Sardegna): acquisizione di dati sismici per lo studio della microsismicità nell'area del bacino carbonifero*, Rapporti Tecnici INGV, N. 363, 66 pp.

Carmignani L., Oggiano G., Funedda A., Conti P., Pasci S. and Barca S. (2012). *Carta Geologica della Sardegna, Scala 1:250.000*, LAC Litografia Artistica Cartografica, Firenze.

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, 28 pp.

INGV Single File PHP gallery - galleria diagrammi spettrali delle reti IV (RSN), MN (MedNet), Z3 (alpArray) http://sqlx-srvr.int.ingv.it/

ISIDe working group (2016). version 1.0, DOI: 10.13127/ISIDe. http://iside.rm.ingv.it.

Kennett B.L.N., Engdahl E.R. and Buland R. (1995). Constraints on seismic velocities in the Earth from travel times, *Geophys. J. Int*., 122, 108-124.

Marzorati S., Lauciani V., (2015). *SQLX: Test di Installazione e Funzionamento.* Rapporti Tecnici INGV, N. 297, 25 pp.

McNamara D.E. and Boaz R.I., (2005). *Seismic noise analysis system using power spectral density probability density functions: a stand-alone software package*, USGS Open-File Report 2005-1438.

McNamara D.E. and Buland, R.P. (2004). *Ambient noise levels in the continental United States*, Bull, Seism, Soc. Am., 94, 4 1517-1527.

Nakamura Y., (1989*). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*, Quaterly Report of the Railway Technical Research Institute, 30 (1), 25-30.

Peterson J., (1993). *Observations and modeling of seismic background noise*, USGS Open-file report 93-322, Albuquerque, New Mexico.

Trnkoczy A., Bormann P, Hanka W., Holcomb L.G., Nigbor R.L., Shinohara M., Suyehiro K. and Shiobara, H., (2012). *Site Selection, Preparation and Installation of Seismic Stations*. In: New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP-2), IASPEI (P. Bormann, ed.) GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Chapter 7, pp. 1-108.

Welch P.D., (1967). *The Use of Fast Fourier Transform for the Estimation of Power Spectra: A Method Based on Time Averaging Over Short, Modified Periodograms*, IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics 15(2): 70 - 73, doi: 10.1109/TAU.1967.1161901.

ISSN 1590-2595

Quaderni di Geofisica

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

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

ISSN 2039-7941

rapporti tecnici INGV

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

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

ISSN 2039-6651

Miscellanea INGV

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

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc.

Coordinamento editoriale e impaginazione
Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale
Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2018 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