



Concessione di stoccaggio di gas naturale
“Minerbio stoccaggio” (BO)
Struttura Preposta al Monitoraggio
Anno di esercizio 2018
Relazione Trimestrale N.2



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Progetto: SPERIMENTAZIONE ILG MINERBIO STOCCAGGIO

(Codice progetto: 913; Codice CUP: D81I18000300004)

UR-Milano

Settembre 2018

INDICE

1. Introduzione	1
2. Domini di rilevazione e rete di monitoraggio sismico integrata (RSIMS)	2
3. Analisi di rumore sismico ambientale	6
4. Sismicità registrata	17
5. Conclusioni	21
Bibliografia.....	22

1. Introduzione

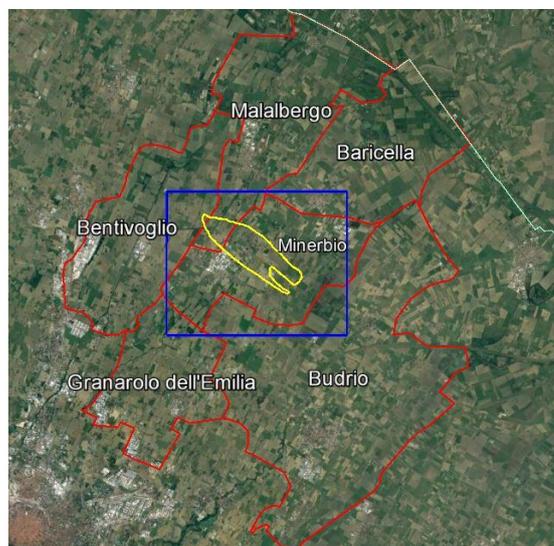
La concessione di stoccaggio di gas naturale “Minerbio Stoccaggio”, assegnata dal Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE) a STOGIT S.p.A. (da qui in poi denominato “Concessionario”), interessa un’area di 68.6 km² situata in provincia di Bologna, principalmente nel territorio comunale di Minerbio (MiSE-DGS-UNMIG, 2017). La concessione, ubicata circa 18 km a nord-est di Bologna, viene a trovarsi in una zona caratterizzata da intensa attività antropica, legata sia ad attività produttive che alla presenza di importanti vie di comunicazione. Il giacimento di stoccaggio, situato ad una profondità media di 1270 m, appartiene alla categoria dei giacimenti a gas esauriti (*Depleted Field*) ossia sfruttato in passato durante la fase di produzione primaria protrattasi sino al 1971 e, dal 1975, convertito all’attività di stoccaggio (Fig. 1).

Il monitoraggio della sismicità dell’area, unitamente a quello delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro, viene effettuato dal Concessionario per la verifica delle condizioni di sicurezza di esercizio dei giacimenti anche in riferimento alle indicazioni contenute nel documento MiSE “Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell’ambito delle attività antropiche” (MiSE-DGS-UNMIG, 2014), da qui in poi denominato “ILG”. Quest’ultimo prescrive in particolare l’individuazione di una struttura preposta al monitoraggio (denominata “SPM”) e lo svolgimento di un’attività di sperimentazione del monitoraggio di attività antropiche come, ad esempio, lo stoccaggio di gas naturale in sottoterraneo. In data 5/5/2016, il “Protocollo Operativo – Attività di Sperimentazione degli Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della concessione *Minerbio Stoccaggio*”, sottoscritto da MiSE, Regione Emilia Romagna (RER) e Concessionario, individua l’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) come SPM (RER, 2016a; 2016b). Il Protocollo Operativo, avviato ufficialmente in data 11/7/2016 per la durata di due anni, viene poi attuato mediante la stipula di una convenzione della durata di un anno tra Comune di Minerbio e INGV, avviata ufficialmente in data 17/5/2018 (INGV, 2018a).

L’attività precedente l’attivazione di quest’ultima convenzione è stata rendicontata nel rapporto “Concessione di stoccaggio di gas naturale Minerbio Stoccaggio (BO). SPM - Monitoraggio Sismico – Anno di esercizio 2017 – Relazione N.01” (INGV-MI, 2017a), nel documento di sintesi inviato da INGV a MiSE, RER e Concessionario in data 27/7/2017 (INGV-MI, 2017b) e nel documento “Sintesi attività svolta nel periodo Luglio-Dicembre 2017 nell’ambito del Protocollo Operativo” (INGV-MI, 2018a).

L’attività condotta nel primo trimestre 2018 è stata presentata nella Relazione Trimestrale N.1 (INGV, 2018b). In particolare, l’allegato A della suddetta relazione (INGV-MI, 2018b) illustra dettagliatamente il monitoraggio sismico effettuato nel periodo Gennaio 2018 – Marzo 2018. Nella presente relazione, viene descritta l’attività di monitoraggio sismico relativa al periodo Aprile 2018- Giugno 2018.

Figura 1. Concessione di stoccaggio di gas naturale “Minerbio Stoccaggio” (rettangolo blu) e proiezione in superficie del contatto gas-acqua (GWC) originario del *reservoir* (linea gialla). Il contatto GWC è localizzato a 1370 m di profondità e corrisponde ad un’area di circa 8 km². Vengono mostrati i confini dei comuni interessati dalla concessione di stoccaggio. La linea chiara in alto a destra indica il confine tra le provincie di Bologna e Ferrara.



2. Domini di rilevazione e rete di monitoraggio sismico integrata (RSIMS)

I domini di rilevazione per il monitoraggio sismico sono stati definiti nei precedenti rendiconti del Protocollo Operativo (INGV-MI, 2017a; 2018b) sulla base di una dettagliata analisi dell'assetto geostrutturale dell'area e considerando la geometria del *reservoir* in termini di profondità ed estensione della superficie del contatto GWC (INGV-MI, 2017a). Le Fig. 2 e 3 mostrano rispettivamente le proiezioni dei domini di rilevazione in superficie e lungo la sezione C-C' della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna (Boccaletti et al., 2004).

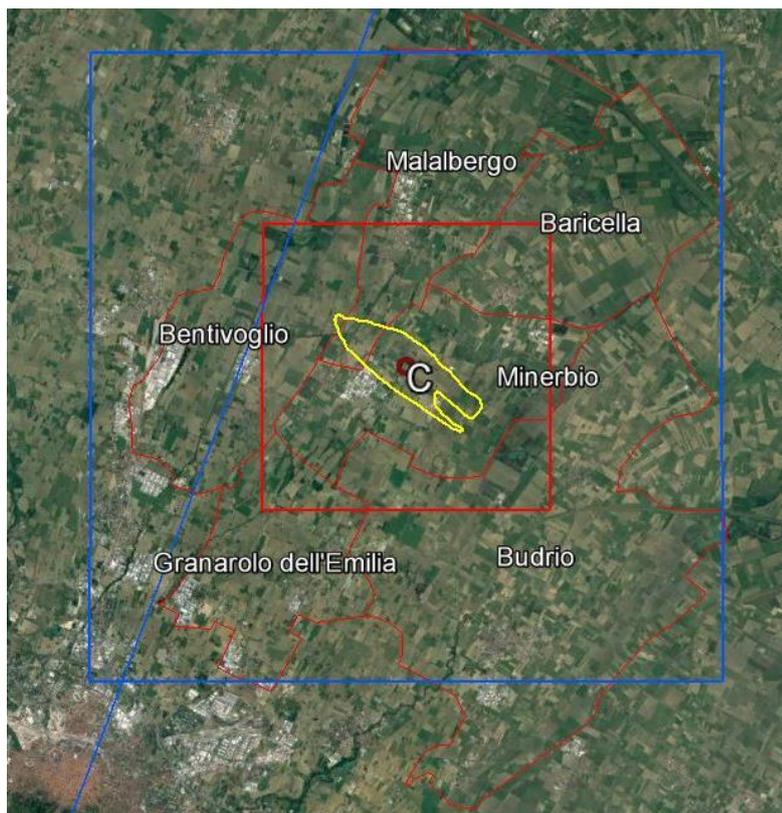


Figura 2. Proiezione in superficie dei domini di rilevazione interno (DI) ed esteso (DE) (box rosso e box blu, rispettivamente). DI e DE hanno dimensioni di $(10 \times 10 \times 5) \text{ km}^3$ e $(22 \times 22 \times 11) \text{ km}^3$ rispettivamente. Vengono mostrati la proiezione in superficie del contatto GWC, i confini dei comuni interessati dalla concessione "Minerbio Stoccaggio" e la posizione di C, il punto centrale delle proiezioni in superficie dei domini di rilevazione, di coordinate: 44.623 N; 11.490 E. La linea blu che affianca il lato ovest del dominio interno corrisponde alla traccia della sezione C-C' di Boccaletti *et al.* (2004)., Le dimensioni lineari del contatto GWC, situato a 1370 m di profondità, sono di circa 2 e 6 km nelle direzioni NE-SO e NO-SE, rispettivamente.

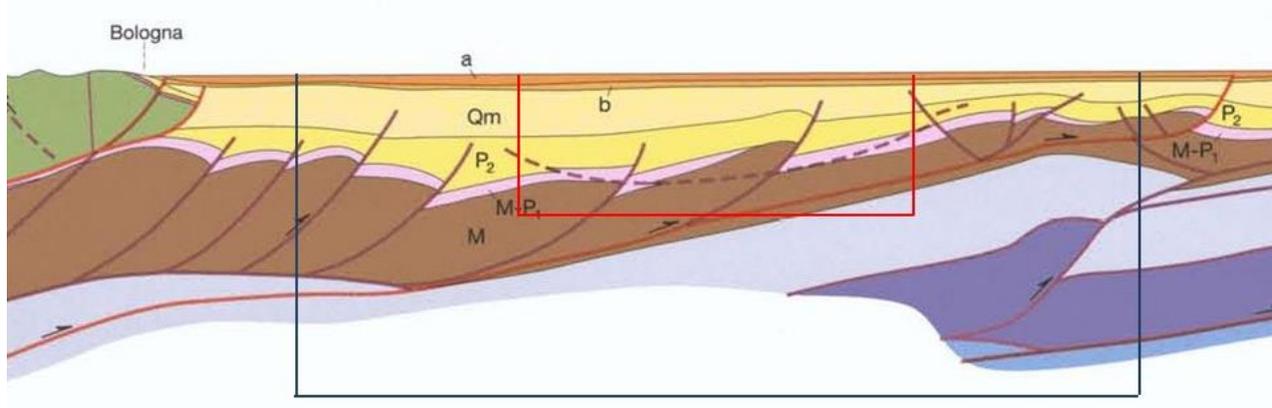


Figura 3. Proiezioni dei domini di rilevazione sulla sezione C-C' di Boccaletti *et al.* (2004). Linea rossa: dominio interno; linea blu: dominio esteso. Le profondità dei domini DI e DE sono di 5 e 11 km, rispettivamente

La rete per il monitoraggio della microsismicità è stata completata in data 20/4/2018 con l'installazione delle ultime due stazioni della Rete Microsismica Minerbio Stoccaggio (RMMS). In tal modo, la RMMS risulta essere costituita da 4 stazioni in superficie (MI01; MI02; MI03; MI06) e 4 stazioni in pozzetto (MI04; MI05; MI08; MI10) equipaggiate con sensori velocimetrici a corto periodo. Il sensore da pozzo di MI04 è installato a 100 m di profondità mentre quelli di MI05, MI08 e MI10 sono installati ad una profondità di 150 m. MI04 è dotata anche di un accelerometro, installato in superficie. La RMMS così realizzata corrisponde alla configurazione di rete RP2018 illustrata nell'allegato A della Relazione Trimestrale N.1 (INGV-MI, 2018b). Secondo le analisi di detezione condotte nella suddetta relazione, le soglie di localizzazione ottenute in entrambi i domini di rilevazione sono sostanzialmente equivalenti a quelle raggiungibili con la configurazione RP2017, inizialmente prevista dal Concessionario, che comprendeva 3 stazioni aggiuntive. Nella configurazione attuale, la RMMS comprende 5 stazioni all'interno della proiezione in superficie di DI, installate a distanze comprese tra 0.9 e 3.9 km da C (punto centrale delle proiezioni in superficie dei domini di rilevazione) e 3 stazioni all'interno della proiezione in superficie della parte di DE non inclusa in DI, installate a distanze comprese tra 7.2 e 8.2 km da C (Fig.4).

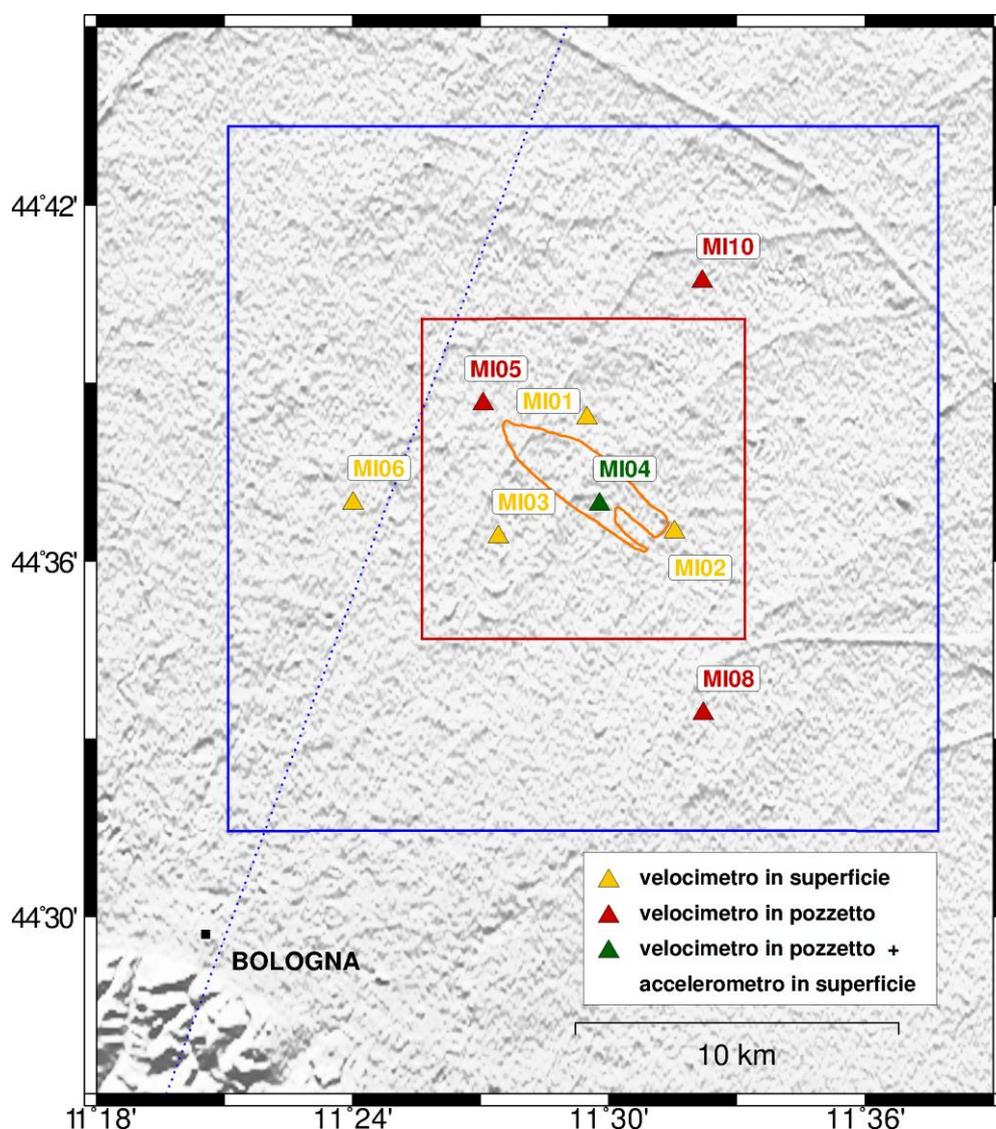


Figura 4. Configurazione della Rete Microsismica “Minerbio Stoccaggio”. I sensori velocimetrici in pozzetto sono installati alle profondità di 100 m (MI04) e di 150 m (MI05, MI08 e MI10). Vengono indicate le proiezioni in superficie della linea di contatto GWC (linea arancione), del Dominio Interno di rilevazione (figura quadrata rossa) e del Dominio Esteso di rilevazione (figura quadrata blu). La linea blu tratteggiata corrisponde alla sezione C-C' della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna (Boccaletti et al., 2004).

Come indicato in MiSE-DGS-UNMIG (2014), la RMMS viene integrata dalle stazioni delle reti regionali operanti nell'area. A tal fine sono state considerate 12 stazioni della Rete Sismica Nazionale (RSN) (INGV-CNT (2018a) e 2 stazioni del Progetto AlpArray (AlpArray, 2016; INGV, 2016). Ad eccezione della stazione AlpArray A307A, collocata all'interno della proiezione in superficie di DI ad una distanza di 6.0 km da C, le stazioni che integrano la RMMS sono installate a distanze comprese fra 25 e 55 km circa da C. Complessivamente sono installati 8 sensori velocimetrici a corto periodo (NDIM, CAVE, RAVA, SERM, IMOL, ZCCA, MTRZ, BRIS) e 10 accelerometri (NDIM, SERM, FERS, MODE, CMPO, FAEN, BRIS, IMOL, MTRZ, ZCCA). 6 siti sono equipaggiati mediante doppio sensore (SERM, IMOL, MTRZ, ZCCA, BRIS, NDIM) e fra questi, SERM e IMOL sono dotati di sensore velocimetrico installato in pozzetto (a 135 e 175 m di profondità, rispettivamente). Le due stazioni AlpArray sono equipaggiate con sensori velocimetrici broad-band. La disposizione della Rete Sismica Integrata Minerbio Stoccaggio (RSIMS) viene mostrata in Fig. 5 mentre in Tab. 1 vengono riportate le caratteristiche strumentali. Le stazioni della RSN, del progetto AlpArray e della RMMS sono contrassegnate dalle sigle "IV"; "Z3" e "MI", rispettivamente.

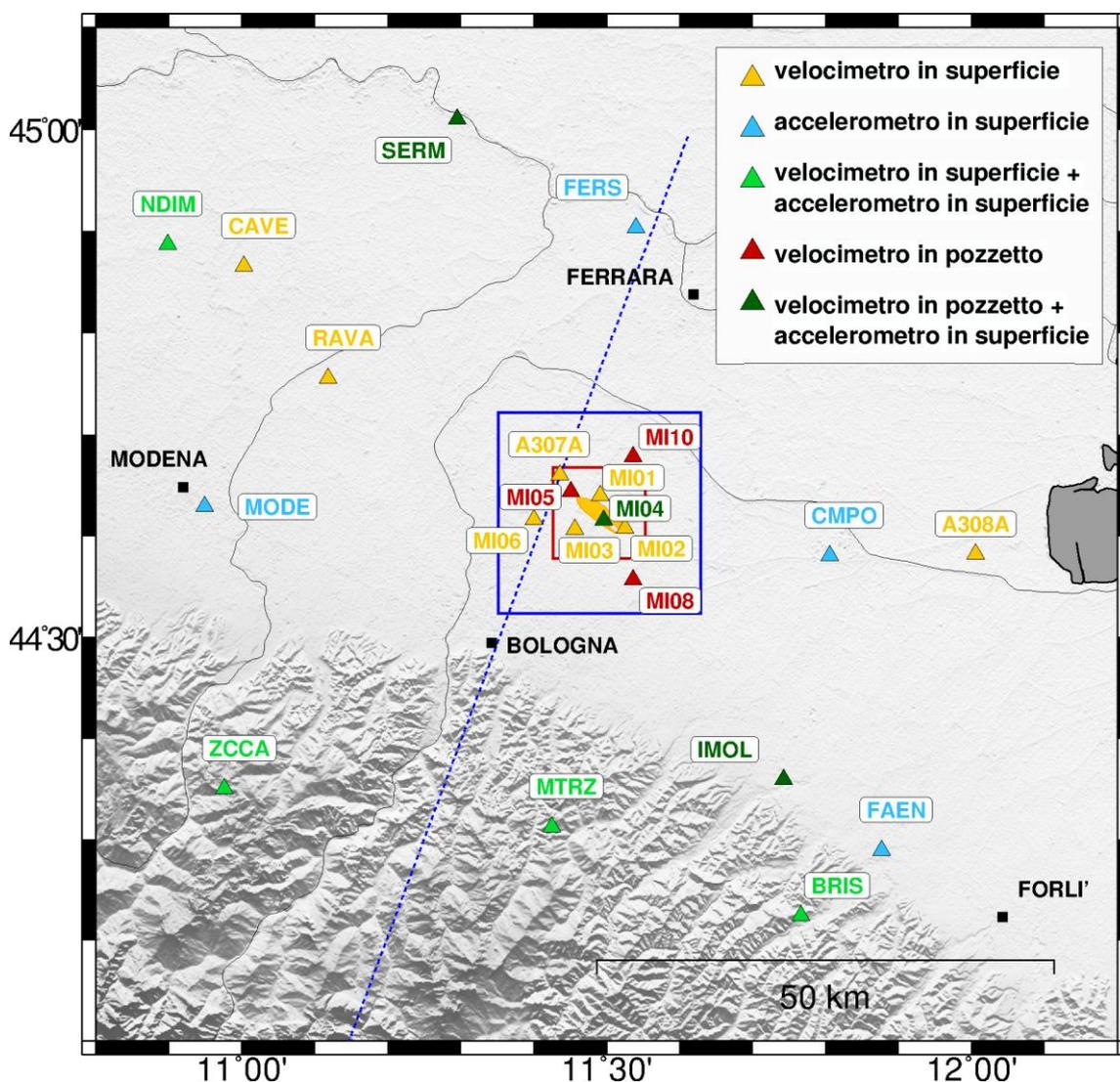


Figura 5. Stazioni della Rete Sismica Integrata Minerbio Stoccaggio (RSIMS). I sensori velocimetrici in pozzetto sono installati a profondità variabili tra 100 e 200 m (cfr. Tab. 1). Vengono indicate le proiezioni in superficie della linea di contatto GWC (linea gialla), del Dominio Interno di rilevazione (figura quadrata rossa) e del Dominio Esteso di rilevazione (figura quadrata blu). La linea blu tratteggiata corrisponde alla sezione C-C' della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna (Boccaletti et al., 2004).

Rete	Sigla Stazione	Lat. N (°)	Lon. E (°)	Quota (m)	Profondità (m)	Località	Distanza (km)	Azimuth (°)	Acquisitore	Sensore 1	Sensore 2
MI	MI01	44.64014	11.49142	9	0	Minerbio - Fondo Fiumicello	1.9	3	Solgeo Dymas 24 Master	LE3D-1S	_
MI	MI02	44.60820	11.52558	9	0	Minerbio - San Martino in Soverzano	3.3	120	Solgeo Dymas 24 Master	LE3D-1S	_
MI	MI03	44.60666	11.45678	15	0	Minerbio – Spettolera	3.2	235	Solgeo Dymas 24 Master	LE3D-1S-MKIII	_
MI	MI04	44.61596	11.49631	11	100	Minerbio – Tintoria	0.9	147	Solgeo Dymas 24 Master	LE3D-BH	SARA SA10 2G
MI	MI05	44.64411	11.45093	9	150	Bentivoglio – Saletto	3.9	307	Solgeo Dymas 24 Master	SARA SS10 BHV	_
MI	MI06	44.61623	11.40021	17	0	Bentivoglio – Santa Maria in Duno	7.2	264	Solgeo Dymas 24 Master	SARA S02	LE3D-1S-MKIII
MI	MI08	44.55698	11.53678	18	150	Budrio – Riccardina	8.2	153	Solgeo Dymas 24 Master	SARA SS10 BHV	_
MI	MI10	44.67853	11.53648	7	150	Malalbergo- Boschi	7.2	31	Solgeo Dymas 24 Master	SARA SS10 BHV	_
IV	BRIS	44.22454	11.76657	260	0	Brisighella	49.5	153	GAI A2	TRILLIUM-40S	EPISENSOR-2G
IV	CAVE	44.86580	11.00310	18	0	Cavezzo	47.1	305	GAI A2	TRILLIUM-120S	_
IV	CMPO	44.58080	11.80560	2	0	Campotto Po	25.5	100	GAI A2	_	EPISENSOR-2G
IV	FAEN	44.28950	11.87700	41	0	Faenza	48.2	140	GAI A2	_	EPISENSOR-2G
IV	FERS	44.90350	11.54060	3	0	Ferrara	31.4	7	GAI A2	_	EPISENSOR-2G
IV	IMOL	44.35955	11.74248	27	175	Imola	35.5	145	GAI A2	LE3D-BH	EPISENSOR-2G
IV	MODE	44.62972	10.94917	41	0	Modena	42.9	271	GAI A2	_	EPISENSOR-2G
IV	MTRZ	44.31280	11.42480	570	0	Monterenzio	34.9	188	TRIDENT	TRILLIUM-40S	EPISENSOR-2G
IV	NDIM	44.88730	10.89870	19	0	Novi di Modena	55.3	302	GAI A2	TRILLIUM-40S	EPISENSOR-2G
IV	RAVA	44.75587	11.11880	15	0	Ravarino	32.9	297	GAI A2	LE3D-5S	_
IV	SERM	45.00997	11.29582	7	135	Sermide	45.7	340	GAI A2	LE3D-BH	EPISENSOR-2G
IV	ZCCA	44.35085	10.97650	700	0	Zocca	50.8	234	GAI A2	TRILLIUM-40S	EPISENSOR-2G
Z3	A307A	44.66076	11.43631	9	0	Bentivoglio	6.0	315	REFTEK130	TRILLIUM-120C	_
Z3	A308A	44.58249	12.00568	-2	0	Longastrino	41.2	96	REFTEK130	TRILLIUM-120C	_

Tabella 1. Rete Sismica Integrata Minerbio Stoccaggio (RSIMS): stazioni della Rete Microsismica Minerbio Stoccaggio gestita dal Concessionario (sigla “MI”), installate all’interno della proiezione superficiale del Dominio Esteso di rilevazione; stazioni della Rete Sismica Nazionale (sigla “IV”) e stazioni del progetto AlpArray (sigla “Z3”). Le stazioni IV e Z3 sono installate in un’area di (110 x 110) km² centrata attorno alla posizione del giacimento “Minerbio Stoccaggio”. In particolare vengono riportate la quota dei sensori e la profondità dei sensori velocimetrici, il tipo di acquisitore e i sensori installati, la distanza e l’azimuth rispetto al punto C di Fig.2. Si noti che gli accelerometri sono tutti installati in superficie. Il 27/06/2018, il sensore 1 della stazione MI04 è stato sostituito con un sensore velocimetrico caratterizzato dalla medesima frequenza propria (1 Hz) modello SARA SS10BHV.

A partire da Marzo 2018 i segnali registrati dalle stazioni riportate in Tab.1 vengono acquisiti in tempo reale su server dedicato presso INGV-MI. L’acquisizione in tempo reale viene realizzata mediante il software Seedlink (IRIS, 2018a) utilizzato dai più importanti centri di ricerca sismologica e ampiamente collaudato da INGV. Presso INGV-MI è stato creato e configurato il nodo master dedicato all’acquisizione dati Seedlink, nel quale confluiscono direttamente i dati delle stazioni della RSN e di AlpArray che compongono la RSIMS (cfr. Tab.1) e i dati provenienti dal nodo Seedlink, realizzato presso il Concessionario, che raccoglie i segnali trasmessi dalle stazioni della RMMS. Questo tipo di configurazione permette di implementare facilmente la RMMS con eventuali nuove stazioni. L’attività svolta nel primo semestre 2018 ha inoltre consentito di completare il popolamento dell’archivio delle forme d’onda registrate in continuo da tutte le stazioni della rete, anche relativamente ai periodi precedenti la realizzazione del collegamento in tempo reale. Attualmente, l’archivio risulta completo a partire da Maggio 2015 e costantemente aggiornato in tempo reale a partire da Marzo 2018. I dati registrati in continuo dalle stazioni della RSIMS sono archiviati nel formato miniSEED (IRIS, 2018b), affermatosi da tempo in ambito scientifico come formato standard per la trasmissione in tempo reale dei dati sismici.

Sul server di acquisizione sono stati installati il software PQLX (USGS, 2018), che consente di effettuare in tempo reale una prima analisi di qualità delle forme d’onda acquisite, e un sistema di riconoscimento automatico di segnali transienti in coincidenza temporale (trigger off-line), per l’individuazione di eventuali eventi sismici (Cattaneo et al., 2011). A partire dalle registrazioni in continuo, in corrispondenza

di ogni evento riconosciuto il sistema di trigger produce una serie di tracce “tagliate” appartenenti alle stazioni che sono risultate in coincidenza rispetto all’evento stesso. Mediante un ulteriore software (SacPicker - Spallarossa et al., 2011), ogni evento riconosciuto viene poi rivisto manualmente per definirne l’eventuale natura sismica e calcolarne la magnitudo e i parametri di localizzazione.

A scopo di monitoraggio preventivo, a valle del sistema di acquisizione è stato comunque installato e configurato anche il software Earthworm (Earthworm Central, 2016) che consente: il riconoscimento automatico degli eventi sismici in tempo reale; la localizzazione degli eventi e il calcolo della magnitudo.

3. Analisi di rumore sismico ambientale

Durante il secondo trimestre del 2018 è proseguita l’analisi della qualità delle forme d’onda registrate dalle stazioni della RSIMS mediante la stima del rumore sismico ambientale. A tal fine è stato impiegato il software PQLX (USGS, 2018), che utilizzando l’algoritmo sviluppato da McNamara e Buland (2004) per calcolare lo spettro di potenza (PSD) del segnale registrato in continuo, analizza finestre della durata di un’ora, con sovrapposizione del 50%, ottenendo in tal modo 48 curve di PSD per ogni giorno di registrazione. Le finestre vengono sovrapposte allo scopo di diminuire la varianza della stima. Le Probability Density Functions (PDF) di PSD possono poi essere stimate scegliendo il periodo di funzionamento della stazione. In questo rapporto le PDF vengono calcolate per il periodo Aprile-Giugno 2018 considerando separatamente le stime orarie diurne e quelle notturne. Le PDF così ottenute vengono poi confrontate con le curve standard di riferimento NHNM (New High Noise Model) e NLNM (New Low Noise Model) ricavate da Peterson (1993). Per il periodo preso in considerazione sono state ottenute: più di 4300 curve PSD per le stazioni MI01, MI02, MI03 e MI04; più di 1800 curve per le stazioni MI05 e MI06 (installate il 12-04-2018); circa 1700 curve per le stazioni MI08 e MI10 (installate il 20-04-2018).

Per le stazioni MI01, MI02 e MI03, l’andamento delle PDF relative al secondo trimestre 2018 è molto simile a quello delle curve omologhe ottenute con le registrazioni del primo trimestre (INGV-MI, 2018b). Le PDF di PSD, calcolate con le componenti verticali del moto, sono mostrate nelle figure da 6 a 13. Ad eccezione della Fig. 9, per la quale si rimanda alla descrizione specifica riportata nella didascalia, ogni figura è suddivisa in 6 pannelli, realizzati utilizzando gli strumenti di analisi messi a disposizione da PQLX. A partire dalla PDF ottenuta per tutto il periodo analizzato (pannello A0) è stata operata una selezione delle PSD che hanno contribuito alla PDF stessa (pannello A0 – riquadri colorati in rosso e in giallo) allo scopo di visualizzare le tracce corrispondenti (pannello B0), le PDF corrispondenti (pannelli A1 e A2) e i corrispondenti intervalli temporali (pannelli B1 e B2). Nei pannelli B1 e B2 vengono riportati in ascissa i giorni giuliani e in ordinata il tempo GMT. I segmenti verticali indicano gli intervalli temporali corrispondenti alle PSD selezionate. I pannelli A1 e B1 si riferiscono alla selezione indicata dal riquadro colorato in rosso, corrispondente alle PSD più rumorose, mentre i pannelli A2 e B2 si riferiscono alla selezione indicata dal riquadro colorato in giallo, corrispondente alle PSD meno rumorose. Il pannello B0 si riferisce alle serie temporali selezionate dal riquadro rosso. Di seguito viene riportata l’analisi di dettaglio relativa ad ogni singola stazione.

MI01

Nel pannello A0 risulta ben visibile la presenza di uno sdoppiamento della PDF per frequenze maggiori di 0.7 Hz. Selezionando il ramo superiore (rettangolo rosso) si nota che le relative PSD (cfr. pannello A1) sono generate nelle ore diurne, mediamente dalle 05:00 GMT alle 18:00 GMT (cfr. pannello B1). Il ramo inferiore, selezionato con il rettangolo giallo indicato nel pannello A0, è invece relativo alle PSD generate mediamente nelle ore notturne e durante i giorni festivi (cfr. pannello B2). Come si può notare, i pannelli B1 e B2 sono tra loro complementari. Mediamente, per frequenze > 1 Hz i livelli di noise osservati durante le ore diurne si attestano attorno a circa -105 dB, con una variazione di circa 15 dB rispetto ai livelli di noise che si osservano durante la notte.

MI02

Come per MI01, per frequenze > 1 Hz i livelli di noise osservati durante le ore diurne si attestano attorno a circa -105 dB. La variazione giorno/notte risulta invece leggermente superiore, pari a circa 20 dB.

MI03

La stazione MI03 si conferma più rumorosa delle precedenti: questa caratteristica risulta ben visibile osservando il ramo inferiore della PDF per frequenze > 1Hz (cfr. pannello A0). Le corrispondenti curve di PSD, che si riferiscono alle ore notturne (cfr. pannello B2), risultano infatti mediamente superiori alle curve NHNM di Peterson (1993). La differenza giorno/notte per questa stazione è circa 12 dB per frequenze > 1Hz.

MI04

L'analisi della PDF ottenuta con le registrazioni della stazione MI04, equipaggiata con sensore in pozzetto a 100 m di profondità, evidenzia livelli di noise particolarmente elevati durante il giorno e alcune criticità di funzionamento del sensore che si sono protratte per un periodo di circa 30 giorni. Se si osserva il pannello A0 della Fig. 9, è infatti possibile notare nella PDF la presenza di 3 rami. Selezionando il ramo superiore per frequenze > 2 Hz, si ottengono curve di PSD corrispondenti alle ore diurne che si attestano mediamente attorno a -100 dB, nonostante il sensore sia installato in pozzetto (cfr. pannelli A1 e B1). Selezionando il ramo inferiore (posto mediamente a -25 dB rispetto al ramo superiore), si può notare che le curve di PSD sono generalmente relative alle ore notturne e ai giorni festivi dal giorno giuliano 091 (01/04/2018) al giorno giuliano 153 (01/06/2018) e dal giorno giuliano 178 (27/07/2018) fino alla fine del periodo analizzato (cfr. pannelli A2 e B2). Selezionando il ramo compreso tra quelli precedenti si osserva approssimativamente un andamento complementare rispetto a quello corrispondente alla selezione del ramo inferiore. Le curve di PSD che hanno generato il ramo centrale sono quelle comprese tra i giorni giuliani 153 e 178, durante i quali il sensore LE3D-BH che equipaggiava la stazione si è guastato. L'analisi effettuata mostra che il malfunzionamento risulta più evidente durante le ore meno energizzate dal noise, quelle notturne.

A seguito del rilevamento del guasto, in data 27/06/2018 il Concessionario ha eseguito un intervento di manutenzione della stazione provvedendo a recuperare il sensore in pozzo esistente e a sostituirlo con un altro modello, il sensore SARA SS10BHV, con frequenza propria uguale a quella del sensore precedente (1 Hz). A partire dalla data dell'intervento la stazione ha ripreso il corretto funzionamento, mantenendo la variazione dei livelli di noise giorno/notte osservati nel primo trimestre 2018. È importante osservare che in questa situazione è risultata vincente la scelta di utilizzare un modello di sensore in pozzo di tipo "recuperabile".

MI05

Il sensore della stazione MI05 è installato in pozzetto ad una profondità di 150 m. Le differenze giorno/notte delle curve PDF sono decisamente meno evidenti (5 dB circa) rispetto a quelle osservate con MI04, probabilmente a causa della maggior profondità di installazione del sensore stesso. Durante le ore diurne, per frequenze > 1 Hz il livello di noise osservato si attesta mediamente attorno a -110 dB.

MI06

La stazione, equipaggiata con sensore posto in superficie, risulta decisamente rumorosa, con livelli di noise che mediamente risultano superiori alla curva NHNM di circa 12 dB attorno a 2 Hz. La variazione giorno/notte risulta minima, circa 5 dB attorno a 2 Hz.

MI08

La stazione MI08, equipaggiata con sensore in pozzetto a 150 m di profondità, risulta più silenziosa delle precedenti, con una differenza tra i livelli di noise osservati durante il giorno e durante la notte di circa 5 dB attorno a 1 Hz. Isolando la parte più energizzata dalla PDF, per frequenze comprese tra 1 e 3 Hz si misurano livelli di PSD attorno a -115 dB, leggermente minori o uguali ai livelli delle curve di riferimento NHNM.

MI10

La stazione MI10, equipaggiata con sensore in pozzetto a 150 m di profondità, presenta dei livelli di noise molto simili a quelli della stazione MI08. Non risulta evidente una chiara differenza tra i livelli di noise giorno/notte e, per frequenze comprese tra 1 e 3 Hz, le PSD sono mediamente inferiori alla curva di riferimento NHNM di una quantità variabile tra 10 e 25 dB.

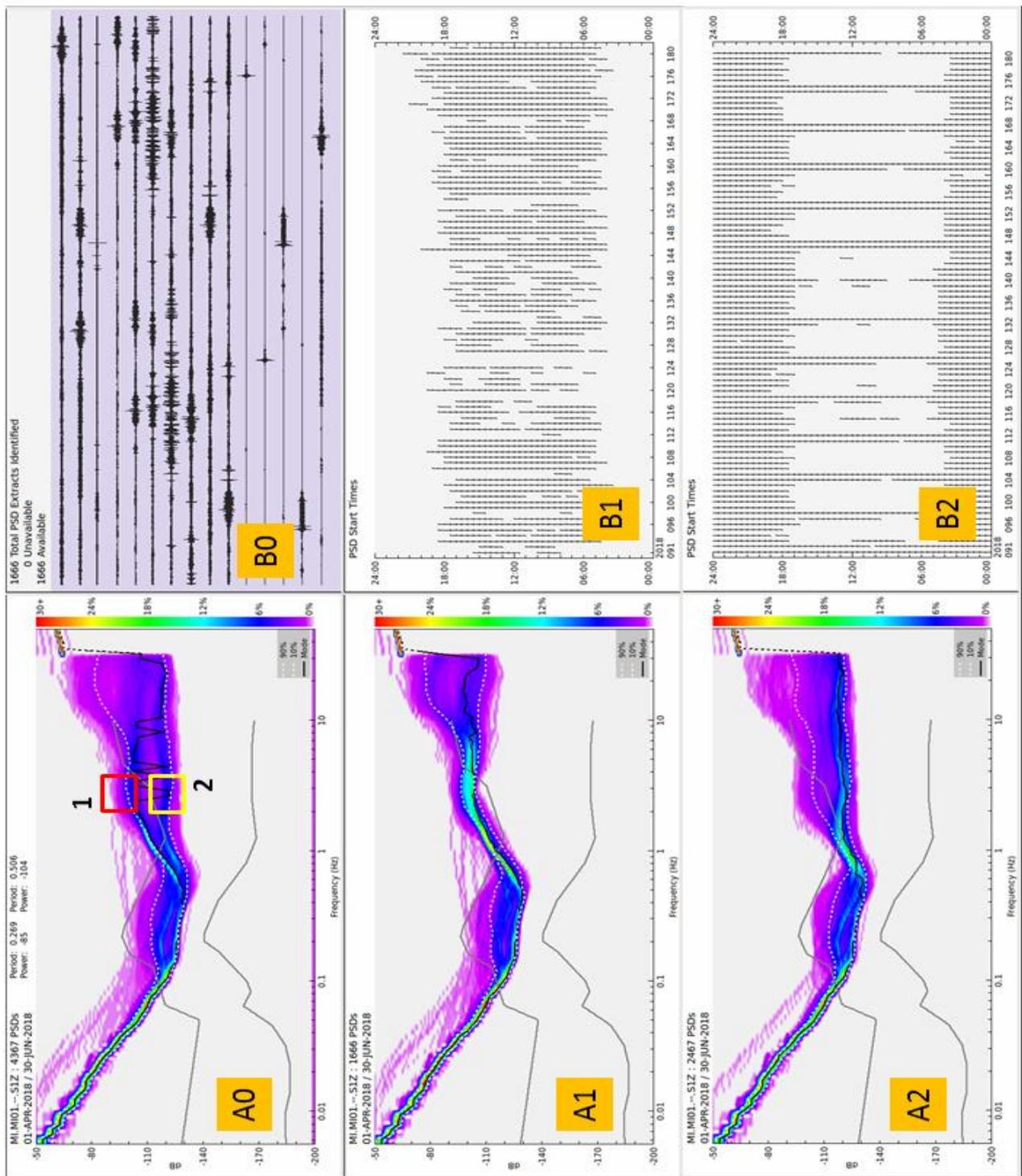


Fig. 6. Pannelli A0, A1 e A2: densità di probabilità (PDF) dello spettro di potenza (PSD) del rumore sismico ambientale registrato nel periodo 1/4/2018 – 30/6/2018 dalla stazione MI01 (componente verticale del moto). I valori spettrali, rappresentati in funzione del periodo, si riferiscono allo spettro di potenza (PSD), misurato in $(m/s^2)^2/Hz$ ed espresso in dB, di un segnale di accelerazione della durata di un'ora. Per calcolare il PSD vengono utilizzate finestre di segnale con sovrapposizione del 50%. La scala di colore (in ordine crescente dal viola al rosso) rappresenta la percentuale dei campioni di PSD osservati nel periodo di tempo esaminato. Le linee grigie rappresentano le curve NHHM (New High Noise Model) e NLNM (New Low Noise Model), in alto e in basso rispettivamente, ottenute da Peterson (1993). Le linee chiare tratteggiate rappresentano il 10° e il 90° percentile della funzione di distribuzione. Pannello B0: serie temporali corrispondenti alla selezione 1 (box rosso riportato sul pannello A0). Gli intervalli orari corrispondenti alle selezioni 1 (box rosso – pannello A0) e 2 (box giallo – pannello A0) sono indicati come segmenti verticali nei pannelli B1 e B2 rispettivamente. L'ascissa e l'ordinata di entrambi i pannelli riportano rispettivamente il giorno giuliano e il tempo GMT.

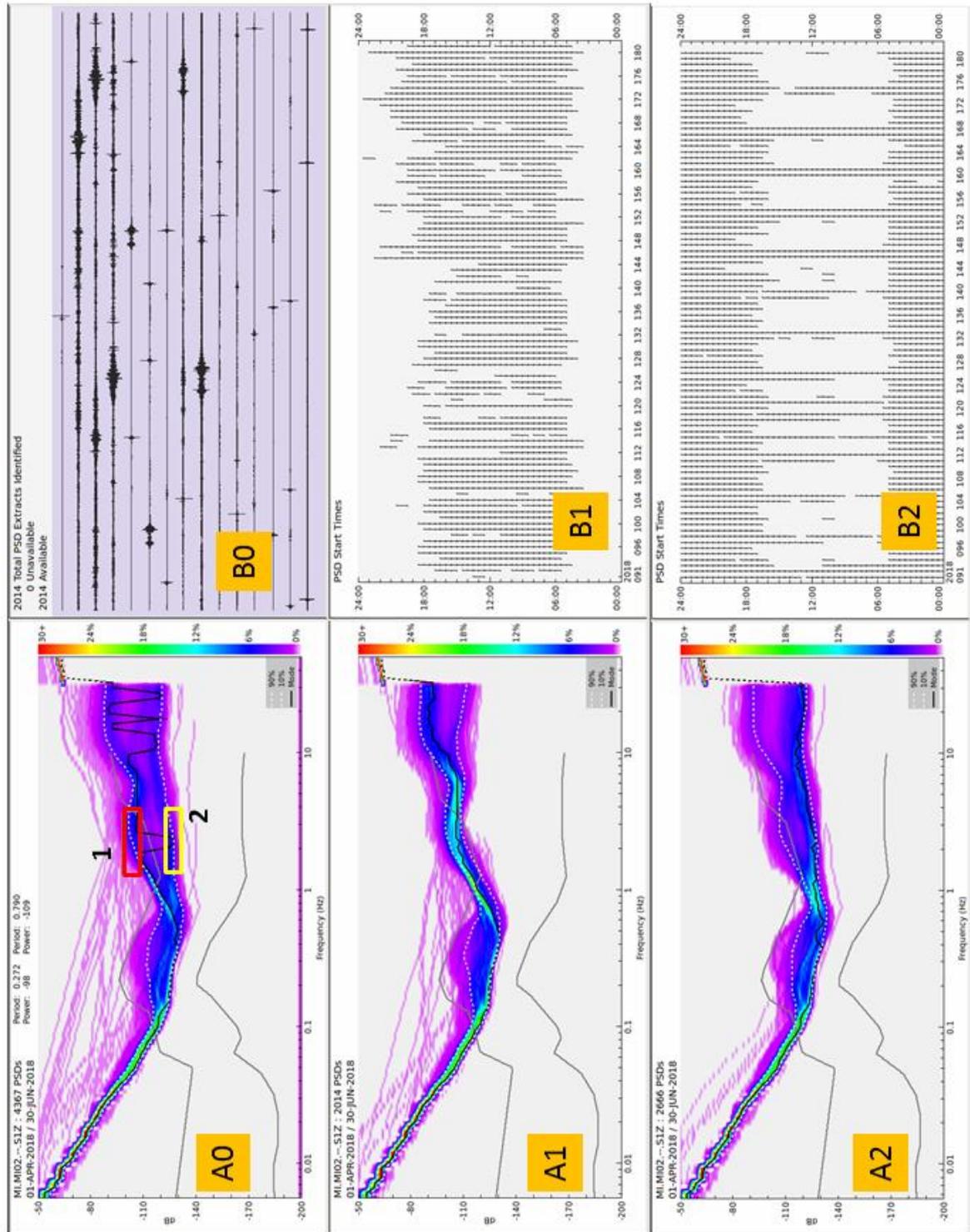


Fig. 7. Come in Fig. 6 per il rumore sismico ambientale registrato nel periodo 1/4/2018 – 30/6/2018 dalla stazione MI02 (componente verticale del moto).

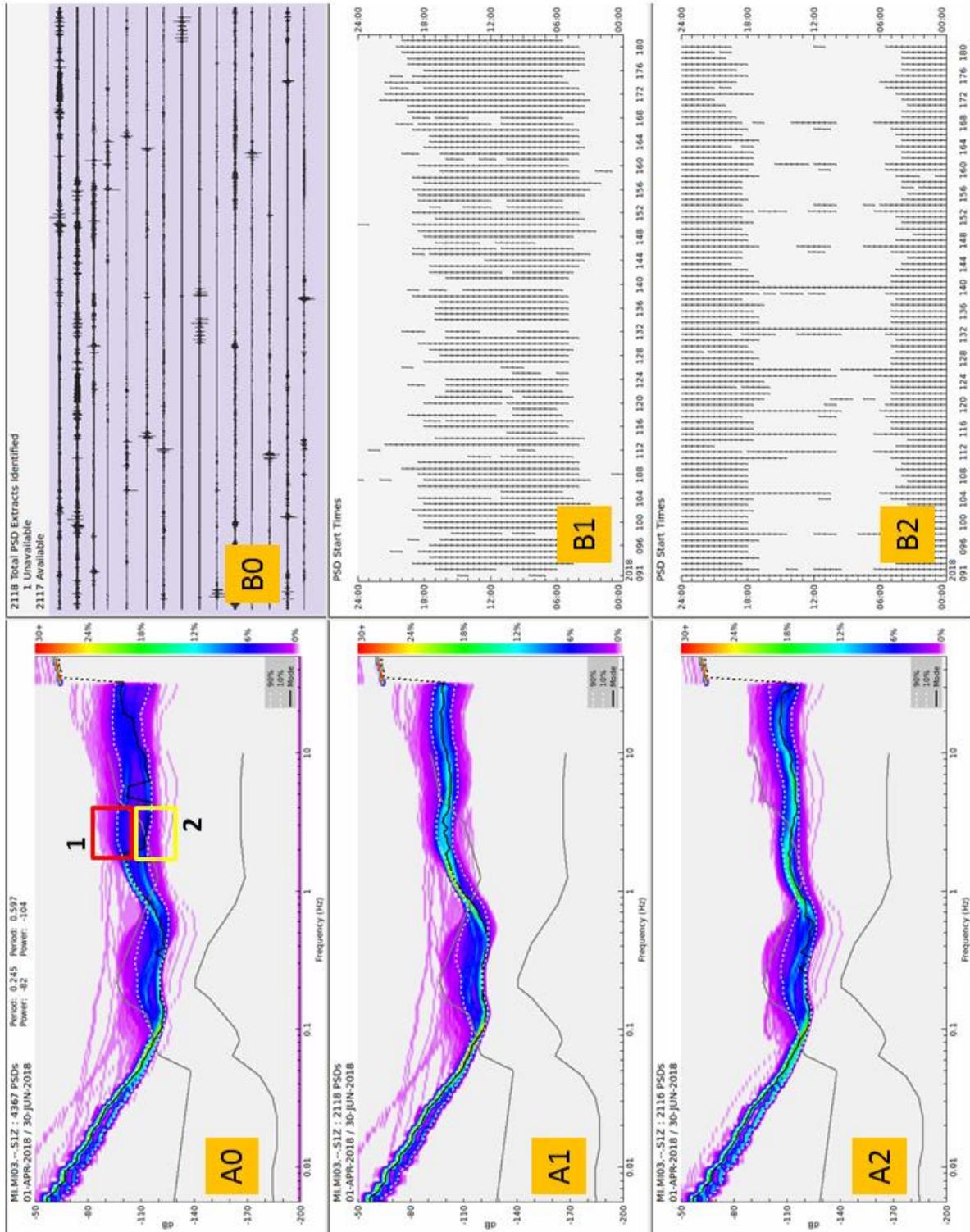


Fig. 8. Come in Fig. 6 per il rumore sismico ambientale registrato nel periodo 1/4/2018 – 30/6/2018 dalla stazione MI03 (componente verticale del moto).

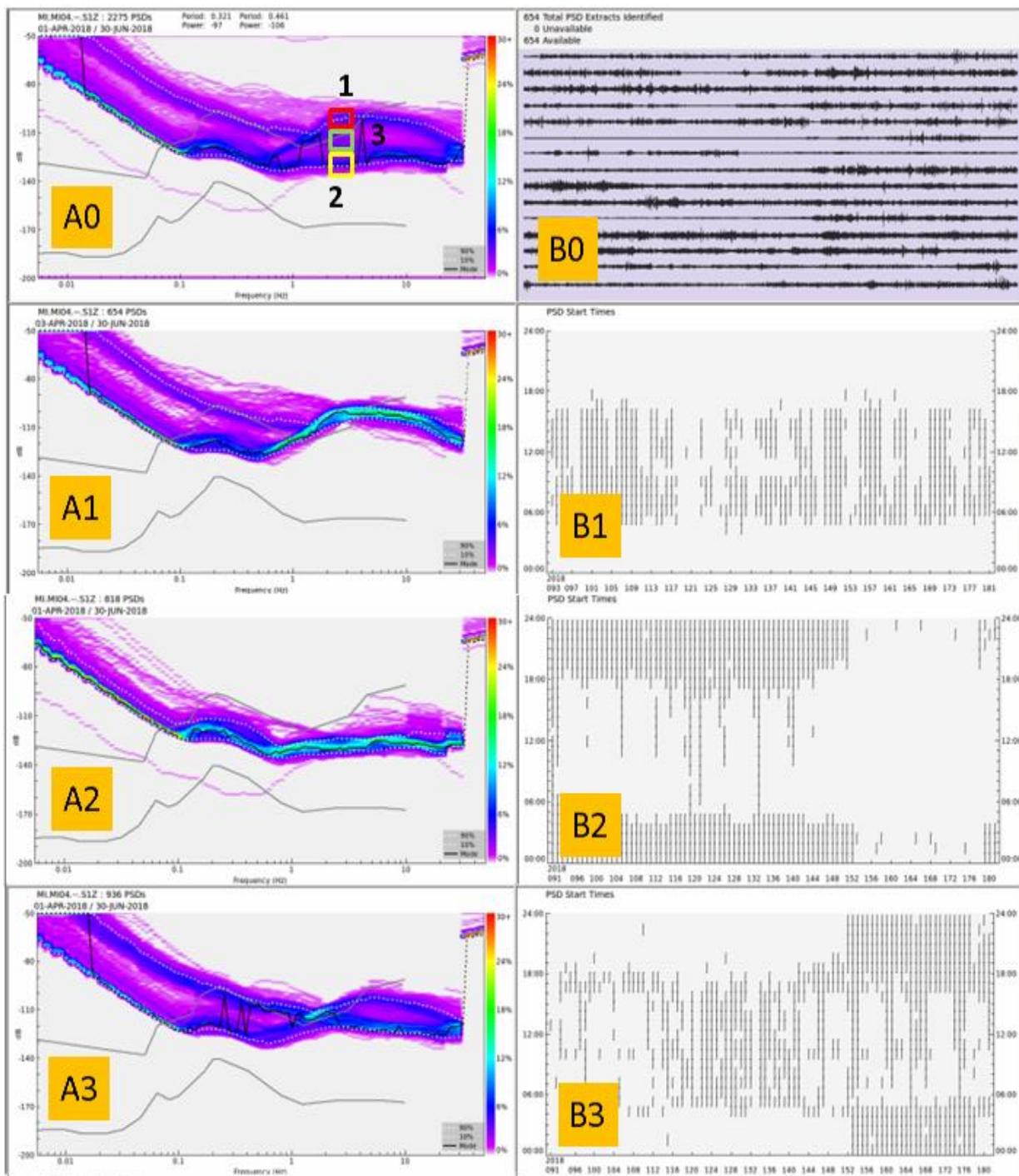


Fig. 9. Pannelli A0, A1, A2, B0, B1, B2: come in Fig. 6 per il rumore sismico ambientale registrato nel periodo 1/4/2018 – 30/6/2018 dalla stazione MI04 (componente verticale del moto). Pannelli A3, B3: selezione corrispondente al riquadro verde indicato sul pannello A0.

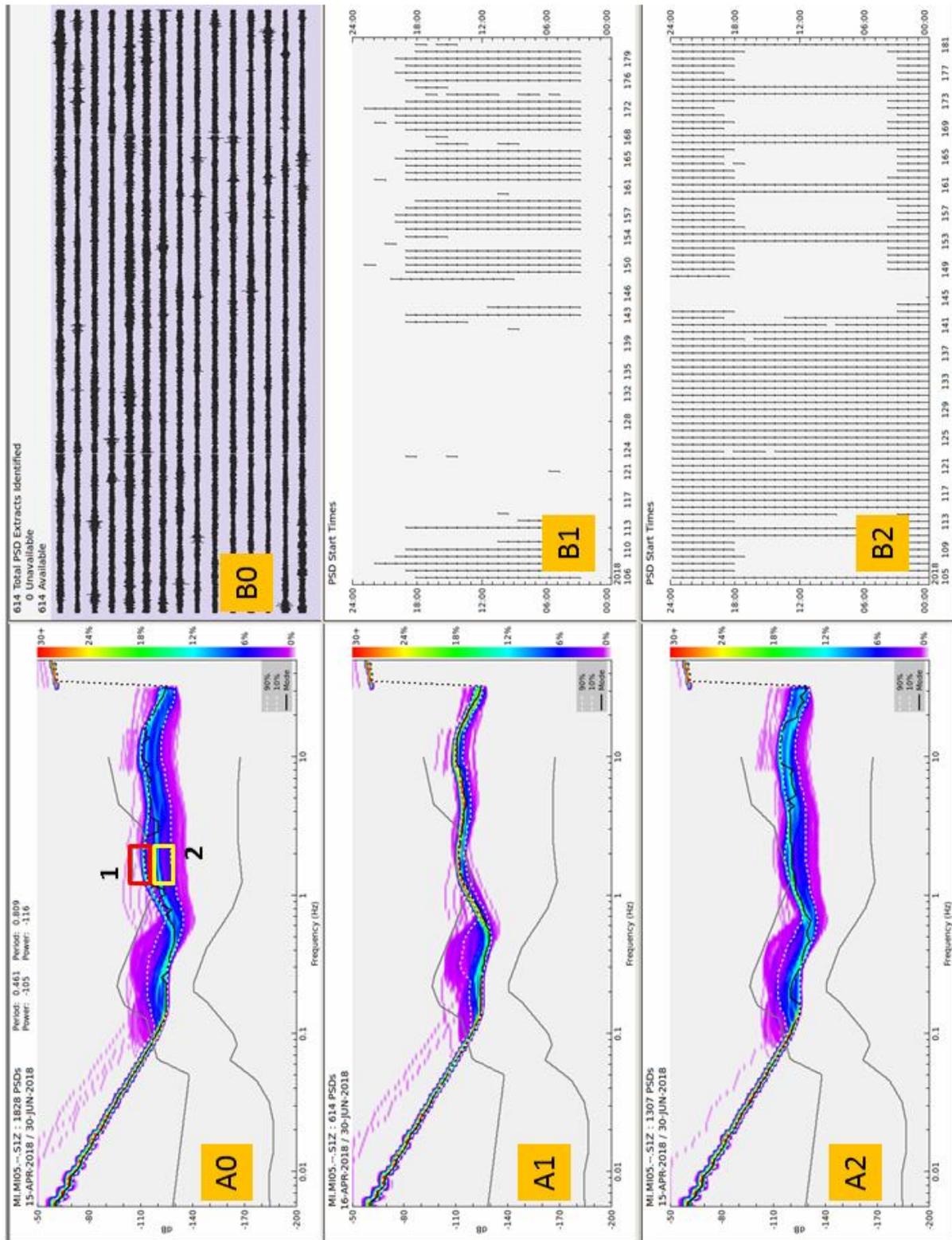


Fig. 10. Come in Fig. 6 per il rumore sismico ambientale registrato nel periodo 1/4/2018 – 30/6/2018 dalla stazione MI05 (componente verticale del moto).

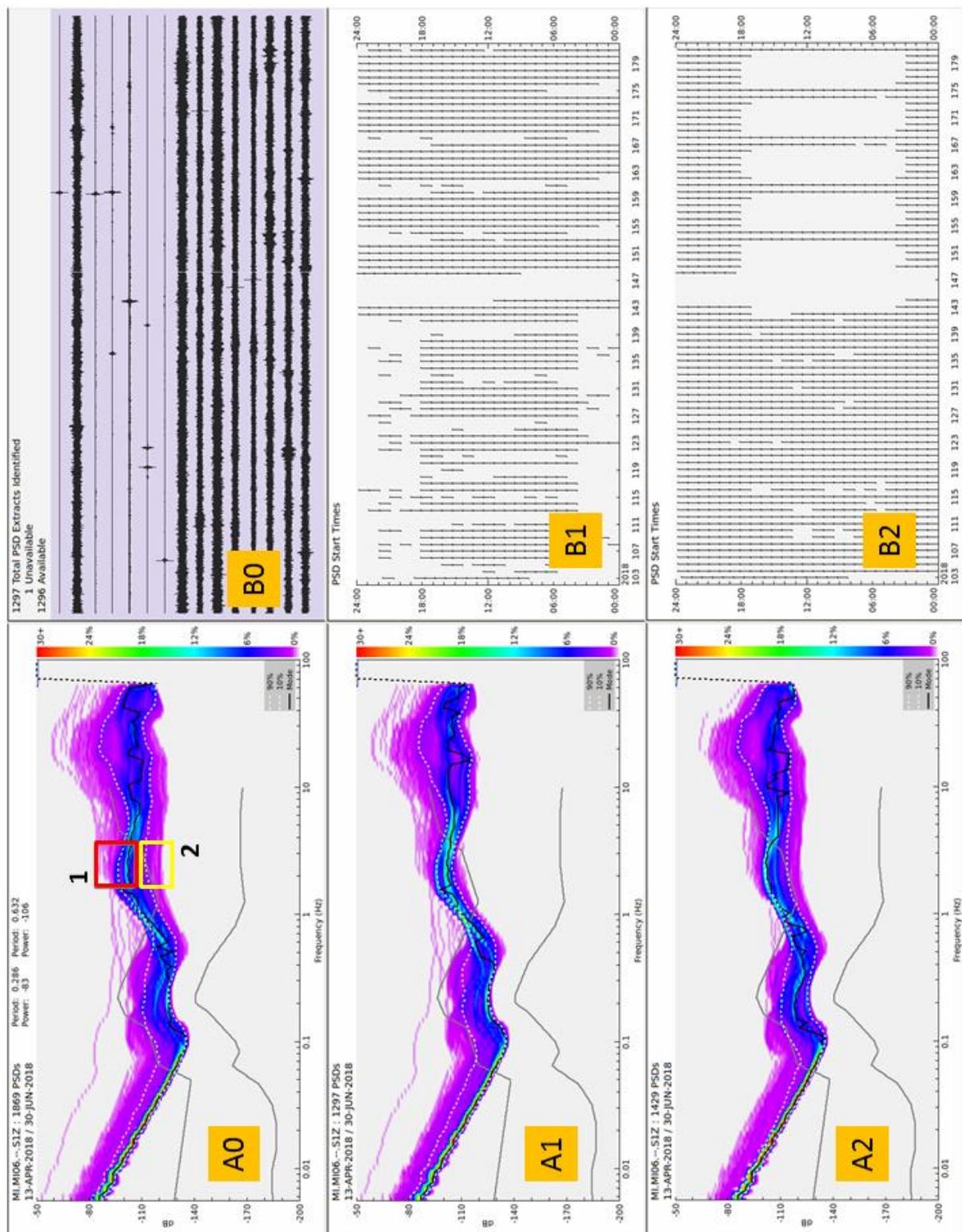


Fig. 11. Come in Fig. 6 per il rumore sismico ambientale registrato nel periodo 1/4/2018 – 30/6/2018 dalla stazione MI06 (componente verticale del moto).

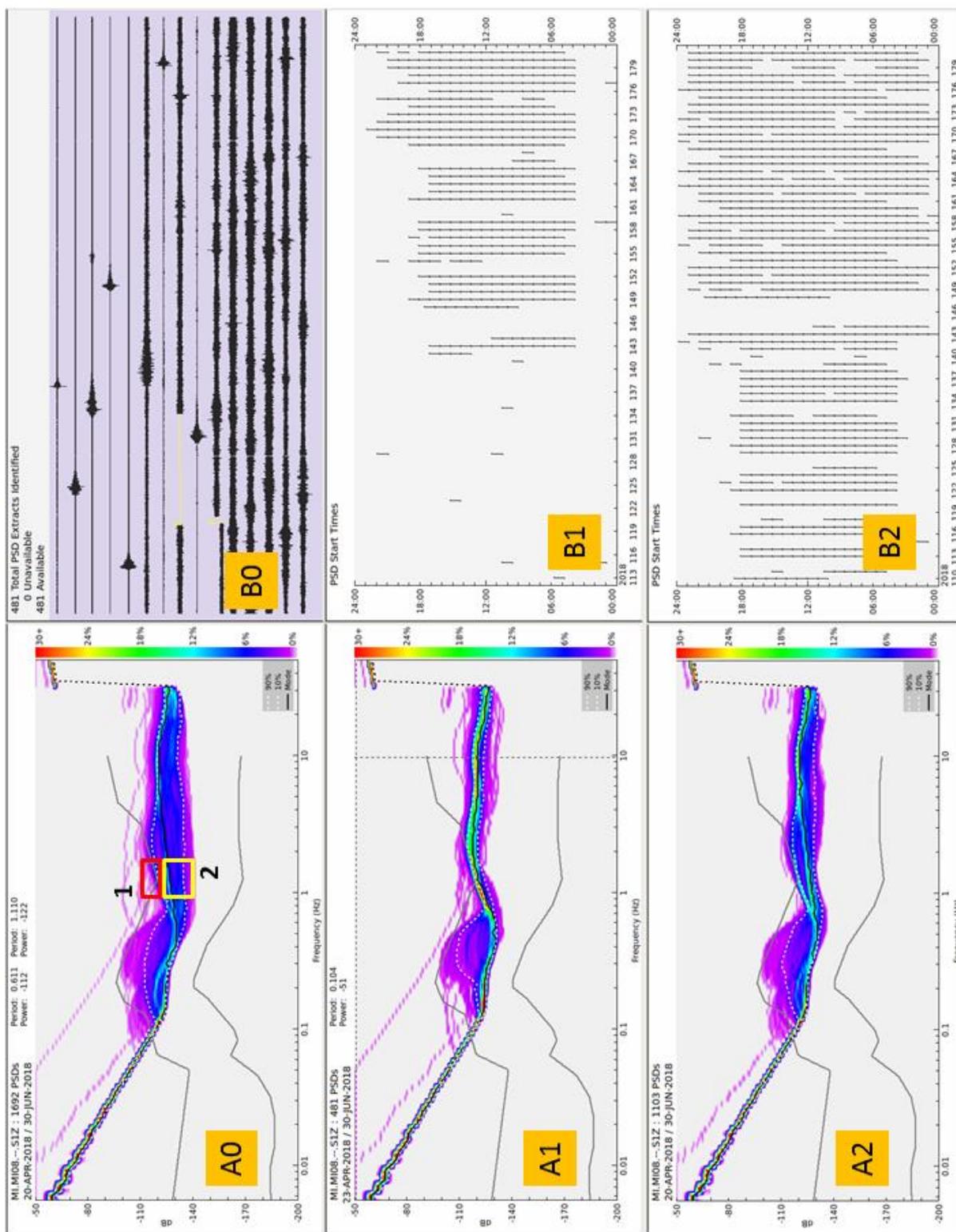


Fig. 12. Come in Fig. 6 per il rumore sismico ambientale registrato nel periodo 1/4/2018 – 30/6/2018 dalla stazione MI08 (componente verticale del moto).

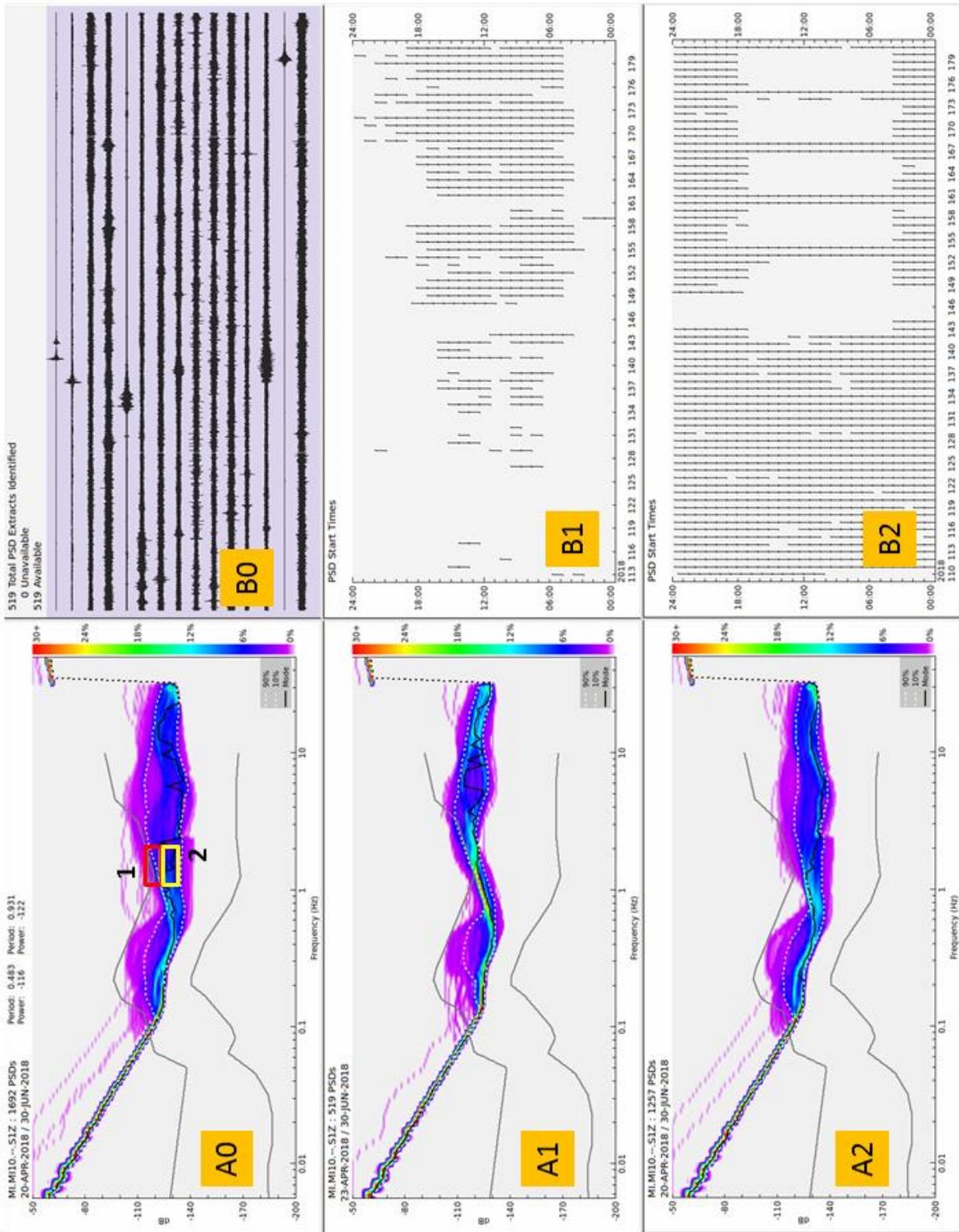


Fig. 13. Come in Fig. 6 per il rumore sismico ambientale registrato nel periodo 1/4/2018 – 30/6/2018 dalla stazione MI10 (componente verticale del moto).

4. Sismicità registrata

La micro-sismicità dell'area è stata monitorata utilizzando i segnali registrati dalla RSIMS nel periodo 1/4/2018 – 30/6/2018 e acquisiti nel medesimo periodo presso INGV-MI. A tal fine è stata applicata una procedura di analisi che consiste di due fasi successive:

- 1) mediante un sistema di trigger off-line basato su un algoritmo di tipo STA/LTA che utilizza i dati dell'archivio delle forme d'onda in continuo (Cattaneo et al., 2011), è stato prodotto automaticamente un data-set di segnali transienti in coincidenza temporale (eventi).
- 2) mediante il software SacPicker (Spallarossa et al., 2011), ogni evento è stato processato manualmente al fine di identificarne l'eventuale natura sismica e, in caso affermativo, di stimarne la localizzazione e la magnitudo.

I parametri del trigger sono stati stabiliti mediante numerosi test effettuati con i dati registrati dalla RSIMS nel periodo 1/1/2017 – 31/12/2017, tenendo conto degli obiettivi del monitoraggio microsismico previsti dal Protocollo Operativo (RER, 2016a; 2016b). Trattandosi di un data-set limitato costituito da eventi che devono essere sottoposti ad una fase di elaborazione manuale, si è deciso di applicare parametri di trigger che permettessero di individuare anche eventi (eventualmente non sismici) caratterizzati da rapporto segnale/rumore non particolarmente elevato. Questa scelta, operata allo scopo di sfruttare al massimo le capacità di detezione della rete, ha condotto a definire i seguenti parametri: LTA = 30 s; STA = 1 s; soglia trigger (STA/LTA) = 3; finestra di ricerca dei trigger in coincidenza = 3 s; numero minimo di stazioni per l'identificazione di un evento = 3. L'applicazione dell'algoritmo STA/LTA è stata effettuata su segnali filtrati passa-banda nell'intervallo 2-25 Hz considerando esclusivamente le stazioni dotate di sensore velocimetrico. In questa fase di sperimentazione degli ILG si è deciso infatti di non utilizzare gli accelerometri eventualmente installati nelle stazioni che vanno a completare la RMMS a causa del rapporto segnale/rumore non particolarmente elevato che caratterizza tali sensori.

L'applicazione ai dati del periodo 1/4/2018 - 30/6/2018 della fase 1) della procedura di cui sopra, ha consentito l'individuazione di 365 eventi. L'applicazione della fase 2) ha quindi permesso di identificare come eventi sismici 43 di essi, mentre i rimanenti sono stati catalogati come segnali transienti causati da disturbi di natura antropica o rumore ambientale. Dei 43 eventi sismici riconosciuti, 41 sono presenti nel catalogo degli eventi registrati dalla RSN (INGV-CNT, 2018b).

Al fine di caratterizzare la sismicità registrata il catalogo degli eventi sismici riconosciuti è stato integrato con le informazioni desunte dal catalogo della RSN e completato con il risultato delle elaborazioni effettuate soprattutto sugli eventi non presenti nel catalogo nazionale. E' stato utilizzato lo schema riportato in Tab.2 operando una prima suddivisione fra eventi contenuti nel catalogo della RSN (A) ed eventi non contenuti nel medesimo catalogo (B). I primi sono stati successivamente suddivisi nelle tipologie A0, A1, A2 e A3 a seconda del valore della distanza ipocentrale, R, considerando le distanze di riferimento $R_1 = 20$ km e $R_2 = 50$ km. Il valore di R_1 approssima per eccesso la massima dimensione lineare del volume DE. Le tipologie A1 e A2, caratterizzate entrambe dalla condizione ($20 \leq R < 50$) km vengono distinte in base alla stazione del primo arrivo P, la quale può appartenere o meno alla rete microsismica (RMMS). Gli eventi non contenuti nel catalogo della RSN vengono invece suddivisi nelle tipologie B0, B1 e B2 a seconda che il primo arrivo P venga osservato ad una stazione che appartiene o meno alla RMMS e a seconda del numero di coppie di fasi dirette P ed S chiaramente osservabili. Nel caso in cui la prima stazione appartenga alla RMMS, con meno di 4 coppie di fasi osservate l'evento viene ritenuto non localizzabile a causa del non sufficientemente elevato rapporto segnale/rumore. In questo caso viene classificato come B0 mentre in caso contrario viene classificato come B1. La tipologia B2 si riferisce invece a eventi non catalogati dal bollettino nazionale ma con il primo arrivo P osservato ad una stazione non appartenente alla RMMS. Gli eventi appartenenti alle tipologie A0, A1 e B1 vengono quindi rilocalizzati

(A0, A1) o localizzati (B1) mediante SacPicker (Spallarossa et al., 2011) che fornisce anche una stima della magnitudo locale (cfr. Tab.2 - colonna 4). Il risultato finale della procedura consiste quindi nella suddivisione di tutti gli eventi sismici in 4 diverse classi (Tab.2 - colonna 5) definite sulla base dell'appartenenza ai domini di rilevazione: classe 0 per eventi non localizzabili; classe 1 per eventi inclusi in DI; classe 2 per eventi compresi fra DI e DE; classe 3 per eventi esterni a DE. Le possibili occorrenze prodotte dall'applicazione della procedura sopra descritta sono riportate in Tab.3, nella quale i parametri di localizzazione e magnitudo (colonne 2 - 6) vengono stimati riportando i dati contenuti nel catalogo della RSN (A2, A3) o rilocalizzando gli eventi mediante SacPicker (A0, A1, B1).

	Appartenenza al catalogo della RSN	Tipologia evento	Rilocalizzazione	Classe evento
ID	SI (A)	A0: $R < 20$ km	SI	1; 2; (3)
		A1: ($20 \leq R < 50$) km ; primo arrivo P: Mlxx	SI	1; 2; 3
		A2: ($20 \leq R < 50$) km ; primo arrivo P: XXXX \neq Mlxx	NO	3
		A3: $R \geq 50$ km	NO	3
	NO (B)	B0: primo arrivo P: Mlxx; $N < 4$	NO	0
		B1: primo arrivo P: Mlxx; $N \geq 4$	SI	1; 2; 3
B2: primo arrivo P: XXXX \neq Mlxx		NO	3	

Tabella 2. Schema di classificazione degli eventi sismici registrati dalla RSIMS (vedi testo). Stazioni della RMMS: Mlxx; stazioni non appartenenti alla RMMS: XXXX. N indica il numero minimo di coppie di primi arrivi P ed S osservate.

ID_Detector	To	Lat	Lon	h (km)	Mag	T-Mag	D (km)	R (km)	Num. coppie di fasi S; P	Nome prima stazione	S-P prima stazione (s)	Nome prime 2 stazioni successive	Tipologia evento	Classe evento
							da Minerbio	da Minerbio	RSIMS	RSIMS	RSIMS	RSIMS		
YYYYMMDDhhmmxx	YYYY-MM-DD hh:mm.ss.ssssss	xx.xxxx	xx.xxxx	xx.x	x.x	Mx	D	$R < 20$	$N \geq 4$	Mlxx	x.xx	XXXX; XXXX	A0	1
YYYYMMDDhhmmxx	YYYY-MM-DD hh:mm.ss.ssssss	xx.xxxx	xx.xxxx	xx.x	x.x	Mx	D	$R < 20$	$N \geq 4$	Mlxx	x.xx	XXXX; XXXX	A0	2
YYYYMMDDhhmmxx	YYYY-MM-DD hh:mm.ss.ssssss	xx.xxxx	xx.xxxx	xx.x	x.x	Mx	D	$20 \leq R < 50$	$N \geq 4$	Mlxx	x.xx	XXXX; XXXX	A1	1
YYYYMMDDhhmmxx	YYYY-MM-DD hh:mm.ss.ssssss	xx.xxxx	xx.xxxx	xx.x	x.x	Mx	D	$20 \leq R < 50$	$N \geq 4$	Mlxx	x.xx	XXXX; XXXX	A1	2
YYYYMMDDhhmmxx	YYYY-MM-DD hh:mm.ss.ssssss	xx.xxxx	xx.xxxx	xx.x	x.x	Mx	D	$20 \leq R < 50$	$N \geq 4$	Mlxx	x.xx	XXXX; XXXX	A1	3
YYYYMMDDhhmmxx	YYYY-MM-DD hh:mm.ss.ssssss	xx.xxxx	xx.xxxx	xx.x	x.x	Mx	D	$20 \leq R < 50$		XXXX \neq Mlxx	x.xx	XXXX; XXXX	A2	3
YYYYMMDDhhmmxx	YYYY-MM-DD hh:mm.ss.ssssss	xx.xxxx	xx.xxxx	xx.x	x.x	Mx	D	$R \geq 50$					A3	3
YYYYMMDDhhmmxx									$N < 4$	Mlxx	x.xx	XXXX; XXXX	B0	0
YYYYMMDDhhmmxx	YYYY-MM-DD hh:mm.ss.ssssss	xx.xxxx	xx.xxxx	xx.x	x.x	Mx			$N \geq 4$	Mlxx	x.xx	XXXX; XXXX	B1	1
YYYYMMDDhhmmxx	YYYY-MM-DD hh:mm.ss.ssssss	xx.xxxx	xx.xxxx	xx.x	x.x	Mx			$N \geq 4$	Mlxx	x.xx	XXXX; XXXX	B1	2
YYYYMMDDhhmmxx	YYYY-MM-DD hh:mm.ss.ssssss	xx.xxxx	xx.xxxx	xx.x	x.x	Mx			$N \geq 4$	Mlxx	x.xx	XXXX; XXXX	B1	3
YYYYMMDDhhmmxx										XXXX \neq Mlxx	x.xx	XXXX; XXXX	B2	3

Tabella 3. Elenco delle possibili occorrenze derivanti dall'applicazione dei criteri di classificazione illustrati in Tab.2. ID_Detector: codice identificativo del trigger; To: tempo origine; Lat, Lon, h: latitudine, longitudine e profondità dell'evento; Mag, T-Mag: valore e tipo di magnitudo; D, R: distanze epicentrale e ipocentrale da Minerbio (punto C di Fig.2); N: numero di coppie di fasi dirette P ed S, osservate alle stazioni della RSIMS; XXXX (Mlxx): nomi delle stazioni della rete RSIMS (RMMS). I parametri di localizzazione e magnitudo (colonne 2-6) vengono stimati riportando i dati contenuti nel catalogo della RSN (campi indicati in colore) o rilocalizzando gli eventi mediante SacPicker (campi indicati in nero).

Gli eventi sismici registrati dalla RSIMS nel periodo 1/4/2018-30/6/2018 sono riportati in Tab.4. Si tratta di 43 terremoti localizzati all'esterno del dominio esteso di rilevazione. 41 di essi sono presenti nel catalogo della RSN e sono caratterizzati da distanze ipocentrali generalmente maggiori di 30 km, ad eccezione di un evento di magnitudo 1.9 localizzato a 24 km di distanza ipocentrale. Le profondità sono comprese fra 5.0 e 30 km. Gli eventi più vicini sono localizzati in corrispondenza della catena appenninica e nel ferrarese e, in un raggio di 50 km da Minerbio, sono presenti 14 eventi caratterizzati da $1.4 \leq M_L \leq 2.5$, dei quali 10 con profondità compresa fra 5 e 11 km e 4 con profondità maggiore di 11 km (Fig.26). Il più vicino ($M_L = 1.9$) è localizzato a 22 km di distanza epicentrale e a 10 km di profondità. Come si vede dalla Tab.8, i 2 eventi non contenuti nel catalogo nazionale sono stati classificati come eventi esterni al dominio esteso. In base ai criteri di classificazione introdotti si tratta infatti di eventi sismici con primi arrivi P osservati a stazioni che non appartengono alla RMMS anche se alcuni di essi vengono osservati da qualche stazione della RMMS.

ID_Detector	Tempo	Origine	Lat	Lon	h (km)	Mag	T_Mag	D(km)	R(km)		Num. coppie di fasi S; P	Nome prima stazione	S-P prima stazione (s)	Nome prime 2 stazioni successive	Tipologia evento	Classe evento
									da Minerbio	da Minerbio						
20180401002222	2018-04-01	00:22:10.790	44.2407	11.6783	10.4	1.7	ML	45	46	11	BRIS	3.26	IMOL; FAEN	A2	3	
20180401023217	2018-04-01	02:32:09.750	44.2632	11.5780	8.3	1.9	ML	41	42	10	BRIS	3.37	IMOL; FAEN	A2	3	
20180401152223										5	MTRZ	6.79	ZCCA; MI03	B2	3	
20180404022022	2018-04-04	02:19:45.510	43.0598	13.0312	7.8	3.9	ML	214	214					A3	3	
20180404070324	2018-04-04	07:03:18.250	44.2478	11.7322	21.4	1.7	ML	46	51					A3	3	
20180404184209	2018-04-04	18:41:28.710	43.0657	13.0298	8.1	3.9	ML	213	213					A3	3	
20180405011507	2018-04-05	01:14:54.980	44.9632	11.4025	7.9	2.3	ML	38	39	12	SERM	2.07	FERS; CAVE	A2	3	
20180409015814	2018-04-09	01:58:09.670	44.2445	11.7010	10.1	2.2	ML	45	46	13	BRIS	3.33	IMOL; FAEN	A2	3	
20180410031130	2018-04-10	03:11:30.760	43.0687	13.0365	8.1	4.6	Mw	213	213					A3	3	
20180411044223	2018-04-11	04:41:52.100	43.1340	10.8168	6.2	3.3	ML	174	174					A3	3	
20180412022524	2018-04-12	02:23:59.780	47.1448	9.9977	10.3	3.0	ML	304	304					A3	3	
20180421024724	2018-04-21	02:47:09.420	44.2322	11.6963	8.9	1.6	ML	46	47	4	BRIS	3.10	IMOL; MTRZ	A2	3	
20180423013547	2018-04-23	01:35:24.030	44.6938	9.7172	9.9	2.2	ML	141	141					A3	3	
20180423014451	2018-04-23	01:44:07.820	44.6797	9.7158	9.6	2.0	ML	140	141					A3	3	
20180423031602	2018-04-23	03:15:58.020	44.9672	11.6595	8.0	2.5	ML	41	42	16	FERS	2.91	MI10; MI05	A2	3	
20180423031743	2018-04-23	03:17:34.350	44.9623	11.6918	27.8	2.4	ML	41	50					A3	3	
20180423050712	2018-04-23	05:07:12.080	43.7858	12.0238	9.5	3.0	ML	102	102					A3	3	
20180425010852	2018-04-25	01:08:16.480	43.0612	13.0378	8.1	3.5	ML	214	214					A3	3	
20180425094939	2018-04-25	09:48:41.280	41.8785	14.8598	28.7	4.3	Mw	410	411					A3	3	
20180429014219										3	CAVE	2.80	NDIM; MI10	B2	3	
20180501051722	2018-05-01	05:16:58.200	43.2280	10.9312	7.4	3.6	ML	162	162					A3	3	
20180503141909	2018-05-03	14:19:09.570	44.0587	11.7057	5.1	3.3	ML	65	65					A3	3	
20180503184604	2018-05-03	18:46:04.650	44.0462	11.7250	5.2	3.6	ML	67	67					A3	3	
20180503190330	2018-05-03	19:03:14.370	44.0602	11.7088	5.6	2.7	ML	65	65					A3	3	
20180503235237	2018-05-03	23:52:21.630	44.0567	11.7383	6.5	2.5	ML	66	66					A3	3	
20180504014239	2018-05-04	01:42:18.350	44.7700	10.6685	6.9	2.2	ML	67	67					A3	3	
20180506020101	2018-05-06	02:00:59.060	44.9002	11.3137	5.0	2.1	ML	34	34	18	RAVA	3.81	CAVE; NDIM	A2	3	
20180509214836	2018-05-09	21:48:01.940	46.3032	13.1048	9.1	3.6	ML	226	226					A3	3	
20180511025742	2018-05-11	02:57:36.610	44.8698	11.3136	5.6	1.8	ML	31	32	11	RAVE	4.57	A307A; CAVE	A2	3	
20180511162234	2018-05-11	16:22:27.700	44.6618	11.9485	20.0	2.3	ML	37	42	7	A308A	3.77	MI10 ; MI02	A2	3	
20180519000151	2018-05-19	00:01:27.140	44.8705	9.7025	10.0	2.2	ML	144	144					A3	3	
20180519013803	2018-05-19	01:37:44.710	44.8647	9.7047	5.1	2.7	ML	144	144					A3	3	
20180519164121	2018-05-19	16:41:21.940	44.8233	9.6822	28.7	4.1	ML	145	148					A3	3	
20180519165150	2018-05-19	16:51:06.830	44.8627	9.7173	15.2	2.6	ML	143	144					A3	3	
20180519200642	2018-05-19	20:06:18.550	44.8405	9.6803	24.3	2.9	ML	145	147					A3	3	
20180521034955	2018-05-21	03:49:32.660	45.5782	10.1918	7.5	2.9	ML	147	147					A3	3	
20180521085008	2018-05-21	08:49:26.510	43.0822	13.0158	8.4	3.9	ML	211	211					A3	3	
20180521220358	2018-05-21	22:03:55.640	44.8078	11.3777	10.0	1.9	ML	22	24	12	FERS	3.32	MI10; A307A	A2	3	
20180522221000	2018-05-22	22:09:54.890	44.2425	11.6842	9.9	1.6	ML	45	46	3	BRIS	2.85	IMOL; MTRZ	A2	3	
20180606001440	2018-06-06	00:13:57.140	44.8870	9.6702	17.5	2.1	ML	147	148					A3	3	
20180609215940	2018-06-09	21:59:24.920	44.2228	11.2982	14.2	1.4	ML	47	49	3	ZCCA	6.33	BRIS; MI08	A2	3	
20180625051917	2018-06-25	05:14:47.269	36.7348	21.4058	19.1	5.3	Mw	1211	1211					A3	3	
20180625115046	2018-06-25	11:50:30.480	44.1330	11.0097	10.8	2.7	ML	67	68					A3	3	

Tabella 4. Eventi sismici registrati dalla RSIMS nel periodo 1/4/2018-30/6/2018 (cfr. didascalia di Tab.3 per la descrizione dei campi).

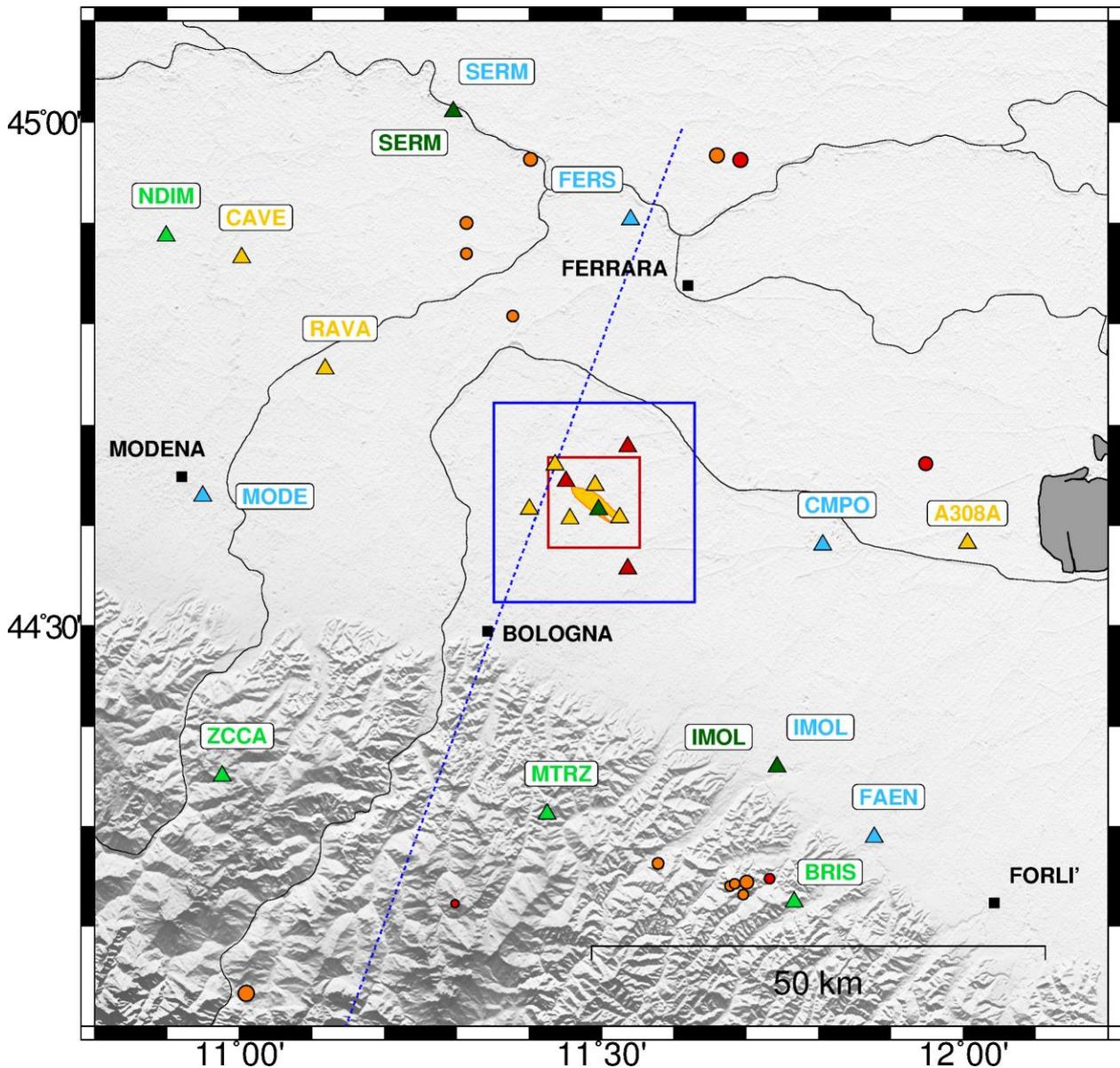


Figura 14. Eventi sismici localizzati registrati dalla RSIMS nel periodo 1/4/2018-30/6/2018. Vengono mostrati gli eventi con distanza epicentrale da Minerbio minore di 50 km. Cerchi rossi pieni: eventi con profondità maggiore di 11 km; cerchi rossi arancione: eventi con profondità compresa fra 5 e 11 km. I triangoli mostrano la posizione delle stazioni della RSIMS (cfr. didascalia di Fig. 5 per la descrizione della tipologia di sensore installato). La sigla delle stazioni viene indicata solo per le installazioni esterne a DE. In figura vengono mostrate anche la proiezione in superficie del contorno dei volumi DI e DE (in rosso e in blu rispettivamente); la proiezione in superficie del GWC (area in giallo) e la traccia C-C' di Boccaletti et al. (2004) (linea blu tratteggiata).

5. Conclusioni

Le attività condotte da INGV-MI durante il secondo trimestre 2018 nell'ambito del Protocollo Operativo per la sperimentazione degli ILG per il monitoraggio della concessione *Minerbio Stoccaggio*, siglato da MiSE, RER e Stogit S.p.A nel Maggio 2016, hanno evidenziato i seguenti punti:

- 1) La verifica dei livelli di rumore sismico ambientale registrato dalle stazioni della rete nel periodo 1/4/2018 – 30/6/2018, effettuata mediante il software PQLX (USGS, 2018), conferma l'elevata rumorosità dell'area di monitoraggio. Fra le stazioni installate in superficie, MI01 e MI02 mostrano valori di PSD paragonabili a quelli della curva di riferimento NHNM di Peterson (1993) mentre MI03 e MI06 si rivelano più rumorose, con livelli di PSD superiori di 10-15 dB. La MI04, nonostante sia installata in pozzetto a 100 m di profondità, in questo periodo è stata comunque caratterizzata da livelli di rumore paragonabili a quelli della curva NHNM nella banda di frequenza 1-20 Hz. Nella medesima banda di frequenze la variazione giorno/notte si è attestata mediamente attorno a circa 25 dB. Nel secondo trimestre 2018 la stazione ha mostrato alcune criticità di funzionamento che si sono protratte per un periodo di circa 30 giorni e che sono state risolte, a partire dal giorno 27/06/2018, con la sostituzione del sensore ad opera del Concessionario. Le nuove installazioni in pozzetto, MI08 e MI10, con sensori collocati a 150 m di profondità, mostrano livelli di rumore più contenuti rispetto a quelli osservati da tutte le altre stazioni della RMMS. I livelli misurati durante il giorno si attestano mediamente attorno a -115 dB per frequenze > 1 Hz, con variazioni giorno/notte attorno a 10 dB.
- 2) L'analisi della sismicità registrata nel periodo 1/4/2018 – 30/6/2018 è stata condotta con particolare riferimento ai volumi crostali individuati dal Dominio Interno e dal Dominio Esteso di rilevazione. Mediante un sistema di trigger off-line basato su un algoritmo di tipo STA/LTA sono stati individuati 365 eventi. 43 di essi sono risultati essere effettivamente eventi sismici mentre i rimanenti sono stati catalogati come segnali transienti causati da disturbi di natura antropica o rumore ambientale. Gli eventi sismici riconosciuti sono stati classificati operando una prima suddivisione fra terremoti inclusi nel catalogo della RSN (41 eventi) e terremoti non inclusi nel medesimo (cfr.Tab.4). I primi sono stati poi riesaminati suddividendoli ulteriormente in base alla distanza ipocentrale da Minerbio, R, ed eventualmente considerando le stazioni della RSISM che hanno registrato i primi arrivi della fase P. I secondi sono stati suddivisi considerando le stazioni che hanno registrato i primi arrivi P e il numero di coppie di fasi P ed S osservate. L'applicazione dello schema di classificazione così definito (cfr. Tab.3) ha permesso di procedere alla eventuale rilocalizzazione degli eventi sismici riconosciuti e conseguentemente alla loro eventuale collocazione nei domini di rilevamento. In definitiva, i 43 eventi registrati nel secondo trimestre 2018 sono stati così suddivisi:
 - 29 eventi inclusi nel catalogo della RSN caratterizzati da $R \geq 50$ km e quindi esterni a DE;
 - 12 eventi inclusi nel catalogo della RSN con $(20 \leq R < 50)$ km e con primo arrivo della fase P osservato ad una stazione non appartenente alla rete microsismica e perciò classificati come eventi esterni a DE;
 - 2 eventi non inclusi nel catalogo della RSN e con primo arrivo della fase P osservato ad una stazione non appartenente alla rete microsismica e perciò classificati come eventi esterni a DE.

Gli eventi inclusi nel catalogo della RSN sono caratterizzati da distanze ipocentrali maggiori di 24 km, e profondità generalmente comprese fra 5.0 e 30 km. Gli eventi più vicini sono localizzati in corrispondenza della catena appenninica e nel ferrarese e, in un raggio di 50 km da Minerbio si trovano 14 eventi caratterizzati da $1.4 \leq M_L \leq 2.5$, dei quali 10 con profondità compresa fra 5 e 11 km e 4 con profondità maggiore di 11 km (Fig.14). Il più vicino ($M_L = 1.9$) è localizzato a 22 km di distanza epicentrale e a 10 km di profondità.

Come si vede dalla Tab.3, nel caso di un evento ritenuto localizzabile la procedura di classificazione adottata produce eventi appartenenti a DI (classe 1); appartenenti alla parte di DE non inclusa in DI (classe 2) o esterni a DE (classe 3). Nel secondo trimestre 2018 tutti gli eventi registrati sono risultati di classe 3 e quindi esterni ai domini di rilevazione definiti nell'ambito del Protocollo Operativo.

Bibliografia

- AlpArray (2016). The AlpArray initiative, <http://www.alparray.ethz.ch/home/>
- Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Tanini C., Vannucci G. (2004). Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna, 1:250.000 e note illustrative. SELCA Editore, Firenze.
- Cattaneo M., D'Alema E., Frapiccini M., Marzorati D., Monachesi G. (2011). Acquisizione presso la sede di Ancona, *Miscellanea INGV*, 10, 124-127, ISSN 2039-6651.
- Earthworm Central (2016). Earthworm, <http://www.earthwormcentral.org/>
- INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2016). Il progetto AlpArray, <http://terremoti.ingv.it/it/struttura-di-ricerca/lda-t1-geodinamica-e-interno-della-terra/33-contenuti/983-il-progetto-alparray.html>
- INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2018a). Progetti e convenzioni – Progetto: Sperimentazione ILG Minerbio Stoccaggio – Codice progetto: 913; Codice CUP: D81I18000300004, <http://istituto.ingv.it/it/progetti-e-convenzioni>
- INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2018b). Protocollo Operativo – Attività di sperimentazione degli indirizzi e linee guida per il monitoraggio della concessione “Minerbio Stoccaggio” (MiSE/RER/Stogit S.p.A.). Concessione di stoccaggio di gas naturale Minerbio Stoccaggio (BO). Struttura Preposta al Monitoraggio – Anno di esercizio 2018 – Relazione Trimestrale N.1, Giugno 2018, Milano, 13 pp.
- INGV-CNT, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Centro Nazionale Terremoti (2018a). Italian Seismic Network, <http://cnt.rm.ingv.it/instruments/network/IV>
- INGV-CNT, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Centro Nazionale Terremoti (2018b). Lista Terremoti, <http://cnt.rm.ingv.it/>
- INGV-MI, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Milano (2017a). Protocollo Operativo – Attività di sperimentazione degli indirizzi e linee guida per il monitoraggio della concessione “Minerbio Stoccaggio” (MiSE/RER/Stogit S.p.A.). Concessione di stoccaggio di gas naturale Minerbio Stoccaggio (BO). SPM - Monitoraggio Sismico – Anno di esercizio 2017 – Relazione N.01, Maggio 2017, Milano, 41 pp.
- INGV-MI, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Milano (2017b). Protocollo Operativo – Attività di sperimentazione degli indirizzi e linee guida per il monitoraggio della concessione “Minerbio Stoccaggio” (MiSE/RER/Stogit S.p.A.). Sintesi rapporto Monitoraggio Sismico – Anno di esercizio 2017 – Relazione n.01 con integrazione relativa a monitoraggio deformazione del suolo e della pressione di poro, Luglio 2017, Milano, 4 pp.
- INGV-MI, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Milano (2018a). Protocollo Operativo – Attività di sperimentazione degli indirizzi e linee guida per il monitoraggio della concessione “Minerbio Stoccaggio” (MiSE/RER/Stogit S.p.A.). Sintesi dell'attività svolta nel periodo Luglio-Dicembre 2017 nell'ambito del Protocollo Operativo, Gennaio 2018, Milano, 3 pp.
- INGV-MI, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Milano (2018b). Protocollo Operativo – Attività di sperimentazione degli indirizzi e linee guida per il monitoraggio della concessione “Minerbio Stoccaggio” (MiSE/RER/Stogit S.p.A.). Concessione di stoccaggio di gas naturale Minerbio Stoccaggio (BO). SPM - Monitoraggio Sismico – Anno di esercizio 2018 – Relazione N.02, Giugno 2018, Milano, 41 pp.
- IRIS – Incorporated Research Institutions for Seismology (2018a). SeedLink, <http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/services/seedlink>
- IRIS – Incorporated Research Institutions for Seismology (2018b). Data Formats, <https://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/data/formats/>
- McNamara D.E., Buland R.P. (2004). Ambient Noise Levels in the Continental United States, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 94, 1517-1527.
- MiSE–DGS–UNMIG, Ministero dello Sviluppo Economico – Direzione Generale per la Sicurezza anche ambientale delle attività minerarie ed energetiche – Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse (2014). Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche, http://unmig.mise.gov.it/unmig/agenda/upload/85_238.pdf

- MiSE-DGS-UNMIG, Ministero dello Sviluppo Economico – Direzione Generale per la Sicurezza anche ambientale delle attività minerarie ed energetiche - Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse (2017). Titoli Minerari Vigenti, concessione di stoccaggio “Minerbio Stoccaggio”, <http://unmig.mise.gov.it/unmig/titoli/dettaglio.asp?cod=2907>
- RER, Regione Emilia-Romagna (2016a). Deliberazione della Giunta Regionale - 11 Aprile 2016, N.488. Schema di Protocollo Operativo – Attività di sperimentazione degli indirizzi e linee guida per il monitoraggio della concessione “Minerbio Stoccaggio”, BURERT n.125 del 04.05.2016, <http://bur.regione.emilia-romagna.it/dettaglio-inserzione?i=c12c12b691bf4807864dde86e77f8664>
- RER, Regione Emilia-Romagna (2016b). Deliberazione della Giunta Regionale - 11 Aprile 2016, N.488. Schema di Protocollo Operativo – Attività di sperimentazione degli indirizzi e linee guida per il monitoraggio della concessione “Minerbio Stoccaggio”, BURERT n.125 del 04.05.2016 – ALLEGATO 1 ALLA DGR N.488, <http://bur.regione.emilia-romagna.it/bur/area-bollettini/bollettini-in-lavorazione/maggio-periodico-parte-seconda-1a-quindicina.2016-05-03.3588733174/schema-di-protocollo-operativo-attivit -di-sperimentazione-degli-indirizzi-e-linee-guida-per-il-monitoraggio-della-concessione-minerbio-stoccaggio/allegato-1-alla-dgr-n-488-del-2016-05-03.1462281488>
- Peterson (1993). Observation and modelling of seismic background noise, *U.S.G.S. Tech. Rept.*, 93-322, 1-95.
- Spallarossa D., Ferretti G., Scafidi D., Pasta M. (2011). Picking automatico nella rete sismica dell’Italia Nord-Occidentale (RSNI), *Miscellanea INGV*, 10, 141-146, ISSN 2039-6651.
- USGS - United States Geological Survey (2018). PQLX: A Software Tool to Evaluate Seismic Station Performance, <https://earthquake.usgs.gov/research/software/pqlx.php>