

Edison Stoccaggio S.p.A.

**Relazione dell'attività di monitoraggio
microsismico svolto presso la concessione San
Potito e Cotignola Stoccaggio nel periodo 13
luglio - 6 novembre 2017**

Oggetto: Rete microsismica provvisoria San Potito – Report luglio-novembre 2017

Cliente: EDISON STOCCAGGIO S.p.a.

ref

S17MN03

Autore

Date

Chiara Cocorullo

20 November 2017

Checked By

date

Filippo Di Fronzo – Stefano Limonta

20 November 2017

Cod.

Version

S17MN03

Rev. 0 - 20 November 2017

Solgeo S.r.l.

via Pastrengo 9

24068 Seriate (BG)- Italy

Tel. +39035 4520075

www.solgeo.it e_mail info@solgeo.it



Versione

| COD | NOTE |
|--------------------------------|--------------------------|
| Rev. 00 – Novembre 2017 | 1 ^a Emissione |
| | |
| | |
| | |

Indice

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUZIONE | 6 |
| 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE – DESCRIZIONE DEL SITO..... | 7 |
| 2.1. Inquadramento geologico-strutturale..... | 7 |
| 3. DESCRIZIONE DELLA RETE | 9 |
| 3.1. Descrizione della strumentazione | 12 |
| 4. OPERATIVITÀ DELLA RETE SISMICA – INTERVENTI E/O SOSTITUZIONI | 12 |
| 4.1. Copertura dei dati..... | 12 |
| 5. PROCESSING DEI DATI: IDENTIFICAZIONE E LOCALIZZAZIONE DEGLI EVENTI SISMICI..... | 15 |
| 5.1. Pre-analisi | 15 |
| 5.2. Analisi | 17 |
| 5.3. Eventi interni ai Domini di rilevazione..... | 19 |
| 6. SCHEDE MONOGRAFICHE | 24 |
| 6.1. SP01 (Dominio Interno) | 24 |
| 6.2. SP05 (Dominio Interno) | 26 |
| 6.3. SP06 (Oltre il Dominio Esteso)..... | 28 |
| 6.4. SP08 (Oltre il Dominio Esteso)..... | 30 |
| 6.5. SP09 (Oltre il Dominio Esteso)..... | 32 |
| 6.6. SP11 (Dominio Esteso)..... | 34 |
| APPENDICE A | 36 |
| APPENDICE B | 37 |
| BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA | 38 |

| | |
|--|----|
| Figura 1: Sezione sismica regionale (SW-NE) attraverso l'alto di Cotignola (fonte ENI)..... | 8 |
| Figura 2: Mappa di pericolosità sismica nazionale (a sinistra) e ingrandimento sui comuni in cui ricade la concessione San Potito e Cotignola Stoccaggio e sui comuni limitrofi. | 9 |
| Figura 3: Proiezione in superficie dei Domini di Rilevazione (in giallo il DE, in verde il DI) e dei giacimenti di San Potito e Cotignola (in rosso)..... | 10 |
| Figura 4: Posizioni individuate per l'installazione delle stazioni microsismiche. | 11 |
| Figura 5: Percentuale di funzionamento di ogni stazione, per ogni mese. | 14 |
| Figura 6: SEISMOSCAN - finestra di dialogo per il settaggio del tipo di analisi e dei parametri per la fase di detection degli eventi sismici..... | 17 |
| Figura 7: Rete provvisoria ed evento sismico localizzato al di fuori del DE ma il cui epicentro ricade nel DE. ... | 20 |
| Figura 8: Segnale di velocità registrato dalla stazione SP11 il 13 agosto 2017 dalle 20:53:30 alle 20:54:57 | 23 |
| Figura 9: Dall'alto verso il basso, le componenti Verticale, Nord-Sud e Est-Ovest dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC registrato dalle stazioni SP05, SP01 e SP08, e picking delle onde P ed S. Spostamento..... | 21 |
| Figura 10: Dall'alto verso il basso, le componenti Verticale, Nord-Sud e Est-Ovest dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC registrato dalle stazioni SP05, SP01 e SP08, e picking delle onde P ed S. Velocità. | 21 |
| Figura 11: Dall'alto verso il basso, le componenti Verticale, Nord-Sud e Est-Ovest dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC registrato dalle stazioni SP05, SP01 e SP08, e picking delle onde P ed S. Accelerazione..... | 22 |
| Figura 12: Localizzazione dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC | 22 |
| Figura 13: SP01 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000. | 24 |
| Figura 14: Stazione SP01..... | 25 |
| Figura 15: SP05 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000. | 26 |
| Figura 16: Stazione SP05..... | 27 |
| Figura 17: SP06 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000. | 28 |
| Figura 18: Stazione SP06..... | 29 |
| Figura 19: SP08 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000. | 30 |
| Figura 20: Stazione SP08..... | 31 |
| Figura 21: SP09 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000. | 32 |
| Figura 22: Stazione SP09..... | 33 |
| Figura 23: SP11 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000. | 34 |
| Figura 24: Stazione SP11..... | 35 |

Indice delle tabelle

| | |
|---|----|
| Tabella 1: Dettaglio delle stazioni della rete provvisoria San Potito e Cotignola. | 11 |
| Tabella 2: Dettaglio operatività rete monitoraggio. | 14 |
| Tabella 3: Parametri utilizzati in fase di detection | 16 |
| Tabella 4: Modello di velocità | 19 |
| Tabella 5: Evento sismico localizzato al di fuori del DE ma il cui epicentro ricade nel DE..... | 19 |
| Tabella 6: SP01: Informazioni generali. | 25 |
| Tabella 7: SP05: Informazioni generali. | 26 |
| Tabella 8: SP06: Informazioni generali. | 28 |
| Tabella 9: SP08: Informazioni generali. | 30 |
| Tabella 10: SP09: Informazioni generali. | 32 |
| Tabella 11: SP11: Informazioni generali. | 34 |

Abbreviazioni

| | |
|-------|----------------------------|
| DI | Dominio Interno |
| DE | Dominio Esteso |
| LG | Linee guida MISE |
| SW | Software |
| SNR | Signal to Noise Ratio |
| UTC | Coordinated Universal Time |
| WGS84 | World Geodetic System 1984 |

1. INTRODUZIONE

Edison Stoccaggio ha completato la fase di progettazione della rete di monitoraggio microsismico sulla concessione di San Potito e Cotignola Stoccaggio (Ra), in conformità con quanto previsto dal documento *“Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell’ambito delle attività antropiche”* [1] (da qui in avanti LG), redatto nel 2014 dal Gruppo di Lavoro istituito dalla Commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie (CIRM) del Ministero dello Sviluppo Economico (MISE).

La progettazione della rete microsismica [2] è stata eseguita dalla ditta SOLGEO srl in coordinamento con l’Università di Bologna.

Il progetto prevede 15 stazioni di misura: 5 nel Dominio Interno, 5 nel Dominio Esteso e 5 oltre il Dominio Esteso. A causa del forte rumore antropico presente in superficie, 8 delle 15 stazioni verranno installate in appositi pozzi in modo da migliorare la capacità di rilevazione degli eventi sismici e raggiungere la magnitudo di completezza prevista nelle LG per il Dominio Interno ($0 \leq M_L \leq 1$).

Per anticipare il rilevamento della microsismicità dell’area, in attesa dell’installazione della rete definitiva, tra giugno e settembre 2017 sono state provvisoriamente installate 6 stazioni sismometriche di superficie.

Il presente documento prende in esame i dati registrati dalle sei stazioni microsismiche della rete provvisoria [3] nel periodo luglio-novembre 2017, espone le metodologie di analisi impiegate e presenta i risultati ottenuti in conformità con quanto richiesto dalle LG.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE – DESCRIZIONE DEL SITO

La Concessione di stoccaggio gas naturale denominata San Potito e Cotignola Stoccaggio, ottenuta dalla società Edison Stoccaggio S.p.A. con Decreto Ministeriale in data 24 aprile 2009, interessa un'area di 51,76 km² localizzata in provincia di Ravenna e compresa nei comuni di Bagnacavallo, Cotignola, Lugo, Castel Bolognese, Faenza e Solarolo.

Essa contiene il giacimento di San Potito a nord, e quello di Cotignola a sud.

Il volume oggetto del monitoraggio racchiude il livello BB1 del giacimento di San Potito e i livelli B e CC1 del giacimento di Cotignola. I livelli minerari adibiti allo stoccaggio sono presenti entro le quote 1650-2000 m s.l.m (livello BB1 di San Potito) e 750-1200 m s.l.m. (livelli B e CC1 di Cotignola).

Per i dettagli relativi all'inquadramento minerario dei giacimenti si rimanda alla progettazione della rete [2].

2.1. Inquadramento geologico-strutturale

La struttura tettonica di Cotignola è costituita da un'anticlinale di rampa a vergenza pro-grada (verso NE) e dai suoi margini (Figura 1). Essa è localizzata nella pianura prossimale al margine appenninico romagnolo, ha una forma allungata nel senso NO-SE e si correla alla serie di strutture che verso SE affiorano nell'alto di Cesena. L'alto strutturale di Cotignola viene tagliato da un retroscorrimento tardivo (Pliocenico), forse radicato su un livello di scollamento più profondo, responsabile della progressiva inclinazione della struttura Messiniana verso NE, con il risultato di portare al culmine della struttura anticlinale le successioni grossolane depostesi sul fianco meridionale durante il Messiniano superiore e Pliocene inferiore.

Per i dettagli dell'inquadramento geologico si rimanda alla progettazione della rete di monitoraggio [2].

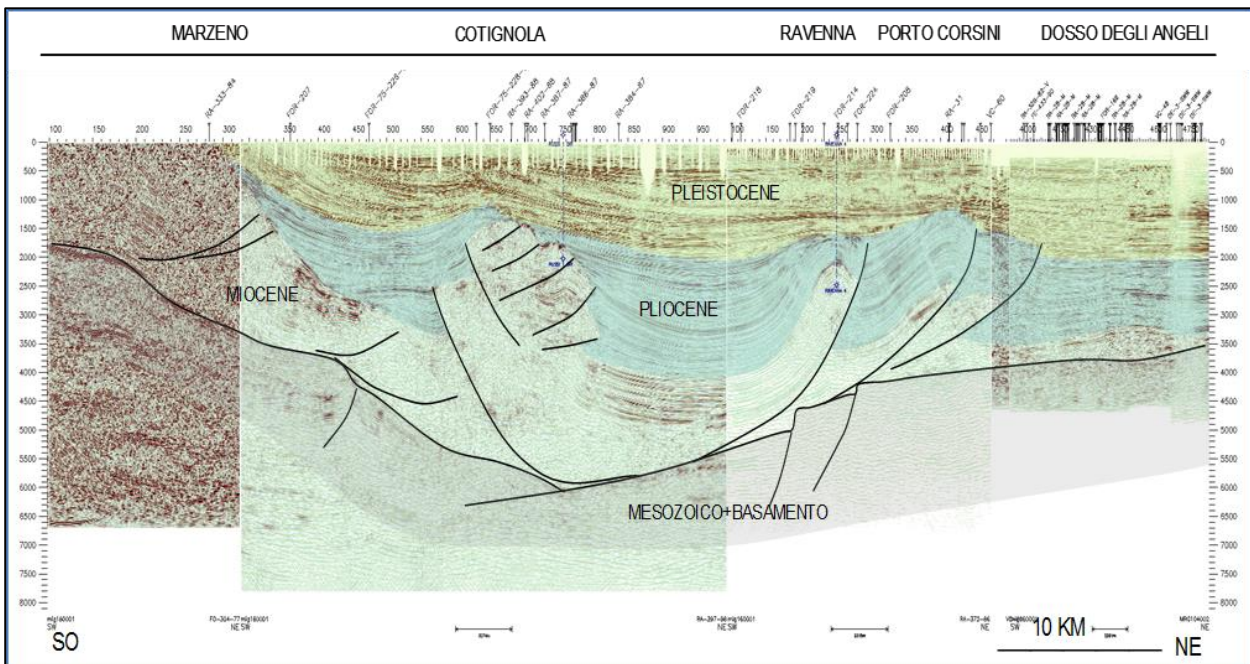


Figura 1: Sezione sismica regionale (SW-NE) attraverso l'alto di Cotignola (fonte ENI)

Con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*, i Comuni interessati dalla Concessione sono stati classificati alla zona sismica 2. L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006 n. 3519, *“Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”* ha fissato i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e la nuova mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale di cui sopra. Il valore di pericolosità sismica del territorio dell'area, così come individuato dall'INGV, è compreso tra 0,175 e 0,200 g con una probabilità del 10% in 50 anni.

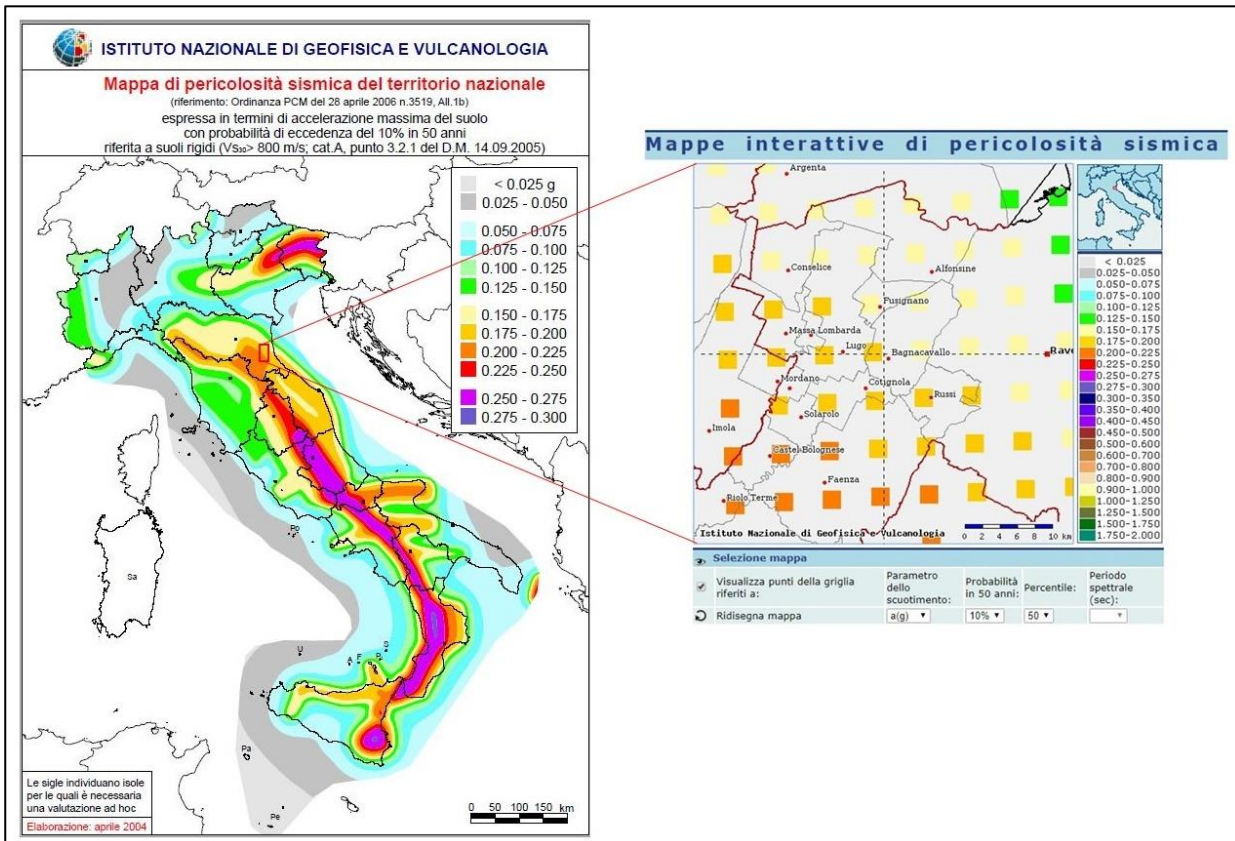


Figura 2: Mappa di pericolosità sismica nazionale (a sinistra) e ingrandimento sui comuni in cui ricade la concessione *San Potito e Cotignola Stoccaggio* e sui comuni limitrofi.

Mappa estratta dal sito esse1-gis.mi.ingv.it

3. DESCRIZIONE DELLA RETE

Sulla base delle indicazioni delle LG e tenendo conto degli aspetti sismologici e della pericolosità di base, sono stati individuati i Domini di rilevazione nel seguente modo:

- Il Dominio Interno comprende i giacimenti di San Potito (a nord) e di Cotignola (a sud) e una fascia larga poco più di 2 km (che li circonda); la sua proiezione in superficie è costituita da due aree di dimensioni $12 \times 5 \text{ km}^2$ e $11 \times 5 \text{ km}^2$ circa; esso si estende fino a una profondità di circa 7 km.
- il Dominio Esteso si estende, oltre il Dominio Interno, per una fascia ampia poco più di 5 km. La sua definizione è atta a definire e contestualizzare al meglio i fenomeni monitorati. Si estende fino a una profondità di circa 15 km.

In Figura 3 sono rappresentate le proiezioni in superficie dei Domini di Rilevazione e dei giacimenti di San Potito, a nord, e Cotignola, a sud.

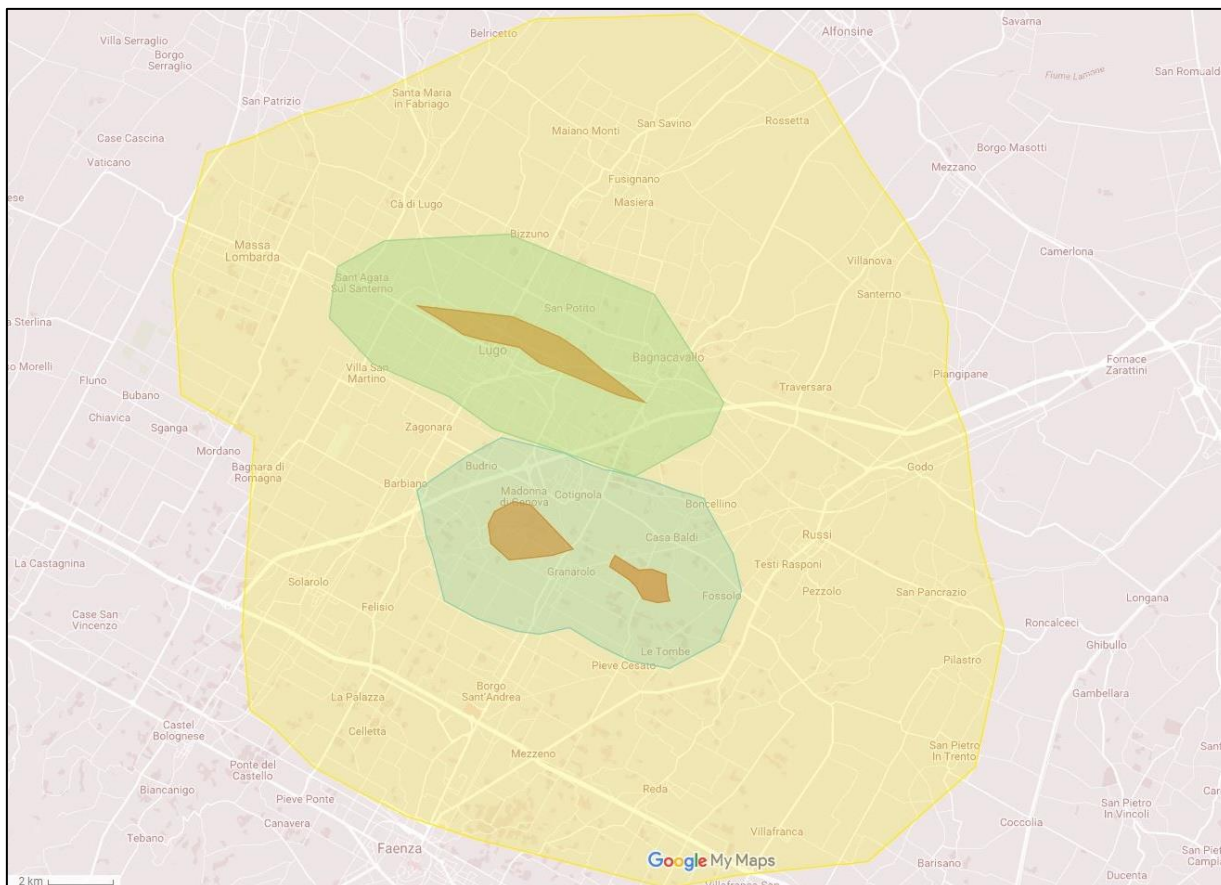


Figura 3: Proiezione in superficie dei Domini di Rilevazione (in giallo il DE, in verde il DI) e dei giacimenti di San Potito e Cotignola (in rosso).

La rete microsismica provvisoria è composta da 6 stazioni, elencate in Tabella 1 e mostrate in mappa in Figura 4:

| ID | Latitudine | Longitudine | Data installazione | Sensore | Modem | Frequenza di campionamento | Pannelli fotovoltaici | Batterie |
|------|------------|-------------|--------------------|-------------|-------|----------------------------|-----------------------|----------|
| SP01 | 44.433557° | 11.904429° | 13/07/2017 | VELOCIMETRO | SÌ | 200 Hz | 1X150 W | 1X200 Ah |
| SP05 | 44.370153° | 11.954165° | 06/07/2017 | VELOCIMETRO | SÌ | 200 Hz | 1X150 W | - |
| SP06 | 44.334684° | 11.752625° | 19/09/2017 | VELOCIMETRO | SÌ | 200 Hz | 1X150 W | 1X200 Ah |
| SP08 | 44.530896° | 11.840114° | 06/07/2017 | VELOCIMETRO | SÌ | 200 Hz | 1X150 W | 1X200 Ah |
| SP09 | 44.398621° | 12.119776° | 21/09/2017 | VELOCIMETRO | SÌ | 200 Hz | 1X150 W | 1X200 Ah |
| SP11 | 44.362789° | 11.873278° | 06/07/2017 | VELOCIMETRO | SÌ | 200 Hz | 1X150 W | - |

Tabella 1: Dettaglio delle stazioni della rete provvisoria San Potito e Cotignola.

In ocra sono indicate le stazioni che si trovano nel Dominio Interno di rilevazione, in verde chiaro quelle oltre il Dominio Esteso di rilevazione, in verde quella nel DE. Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.

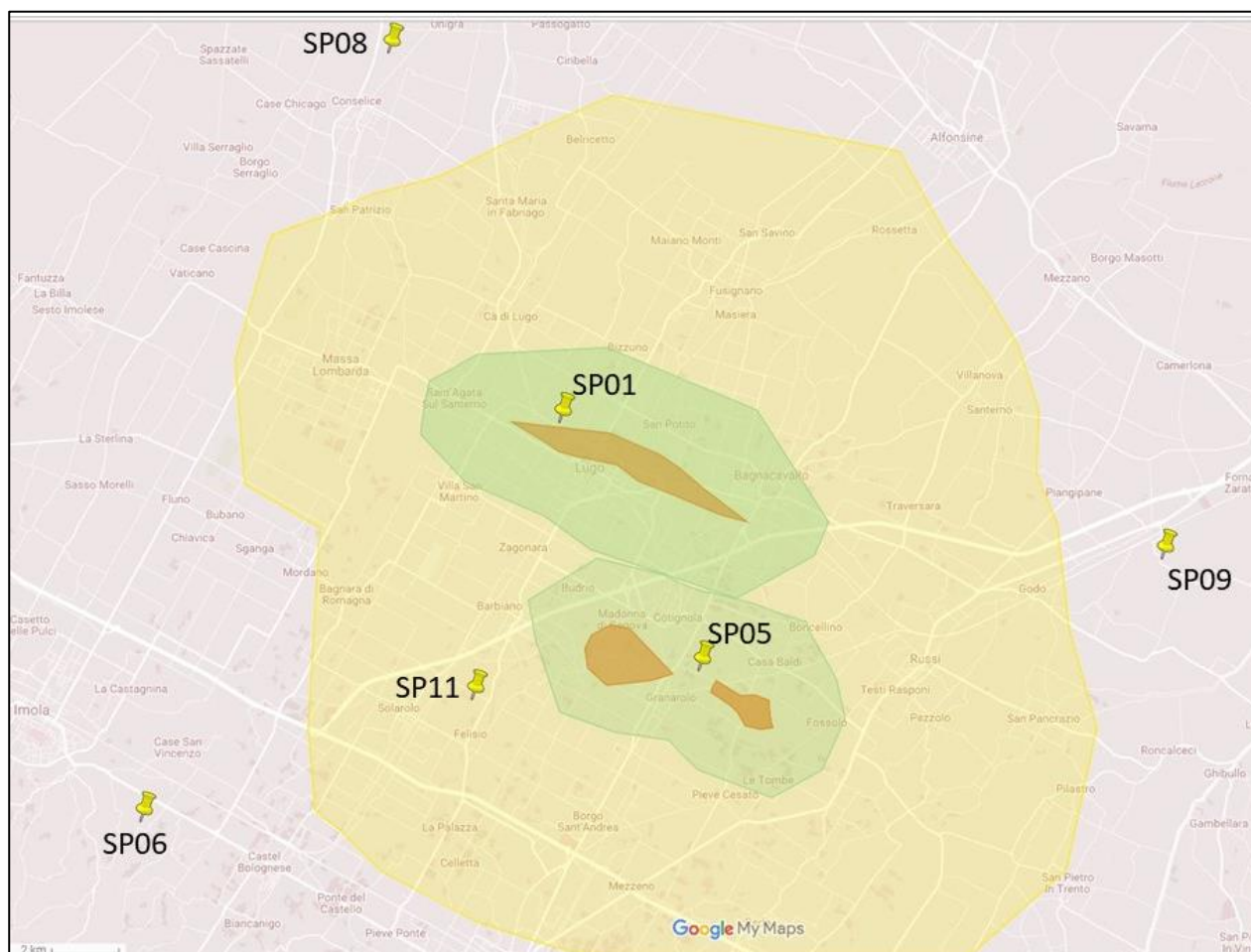


Figura 4: Posizioni individuate per l'installazione delle stazioni microsismiche della rete provvisoria.

In rosso i giacimenti: a nord San Potito BB1, a sud a ovest Cotignola CC1 e a est Cotignola B. In verde il DI, in giallo il DE.

3.1. Descrizione della strumentazione

Tutte le stazioni sono installate in superficie e sono dotate di:

- un acquirente sismico;
- un sensore triassiale ad elevata sensibilità (sismometro), con frequenza di acquisizione 200 Hz, e fattore di guadagno pari a 400 V/m/s;
- un GPS per la sincronizzazione temporale delle registrazioni;
- un modem per la trasmissione continua dei segnali con protocollo SEEDlink.

Tutte le stazioni sono alimentate tramite 1 pannello fotovoltaico da 150 W; le stazioni SP05 e SP11 hanno disponibilità di corrente elettrica, mentre le restanti stazioni dispongono di una batteria da 200 Ah.

I segnali vengono acquisiti in continuo in formato miniSEED; la trasmissione degli eventi triggerati al software di analisi (SEISMODESK, tool del pacchetto SEISMOWIN (SARA ELECTRONIC INSTRUMENTS)) è in formato GSE con compressione CM6.

4. OPERATIVITÀ DELLA RETE SISMICA – INTERVENTI E/O SOSTITUZIONI

In questo primo periodo di monitoraggio microsismico, la rete provvisoria si presenta nella sua configurazione completa solo da metà settembre: le stazioni SP01, SP05, SP08 e SP11 sono state installate a luglio 2017, mentre la SP06 e la SP09 durante la seconda metà di settembre 2017.

A settembre la SP01 è stata spostata di 30 m per non intralciare le operazioni di preparazione (lavori civili) alla perforazione del pozzo pilota in cui verrà installata una catena costituita da 6 sismometri (array).

Il 12 ottobre è stato cambiato il modem della SP11 per migliorare la comunicazione.

4.1. Copertura dei dati

Nel periodo di riferimento (13/07/2017 – 06/11/2017), la rete nel suo complesso ha garantito una copertura di dati pari al 100%.

Anche in presenza di problemi di trasmissione dovuti a momentanee interruzioni dei ponti cellulari, i dati non sono stati persi, poiché il sistema di acquisizione è dotato di un buffer che permette il recupero dei dati non trasmessi in un intervallo massimo di circa 2 mesi.

Si segnalano:

- limitate mancanze (frazioni di ora) di dati di alcune singole stazioni;

In Tabella 2 è schematizzato il funzionamento delle stazioni nel periodo in esame:

- in ocra sono indicate le stazioni ubicate nel Dominio Interno, in verde chiaro quelle oltre il Dominio Esteso, in verde quella nel Dominio Esteso;
- il DOY (Day Of Year) esprime il numero di giorno a partire da inizio anno: la seconda riga, pertanto, riporta l'intervallo di giorni, in DOY, del mese di riferimento;
- il trattino (-) indica mancanza di dati (si ricorda che le stazioni SP06 e SP09 sono state installate a settembre);
- OK significa che la registrazione dei segnali e la trasmissione dei dati hanno avuto esito positivo;

| 2017 | | | | | | | | |
|----------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|---------------------|
| Stazione | Mese | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | Giorni_OK/ Giorni_tot | % FUNZION. STAZIONE |
| | DOY | 194 – 212 | 213 – 243 | 244 – 273 | 274 – 304 | 305 – 310 | | |
| SP01 | | OK | OK | OK | OK | OK | 117/117 | 100 |
| SP05 | | OK | OK | OK | OK | OK | 117/117 | 100 |
| SP06 | | – | – | –/OK | OK | OK | 49/49 | 100 |
| SP08 | | OK | OK | OK | OK | OK | 117/117 | 100 |
| SP09 | | – | – | –/OK | OK | OK | 47/47 | 100 |
| SP11 | | OK | OK | OK | OK | OK | 117/117 | 100 |

Tabella 2: Dettaglio operatività rete monitoraggio.

In ocra sono indicate le stazioni che si trovano nel Dominio Interno di rilevazione, in verde chiaro quelle oltre il Dominio Esteso, in verde quella nel DE

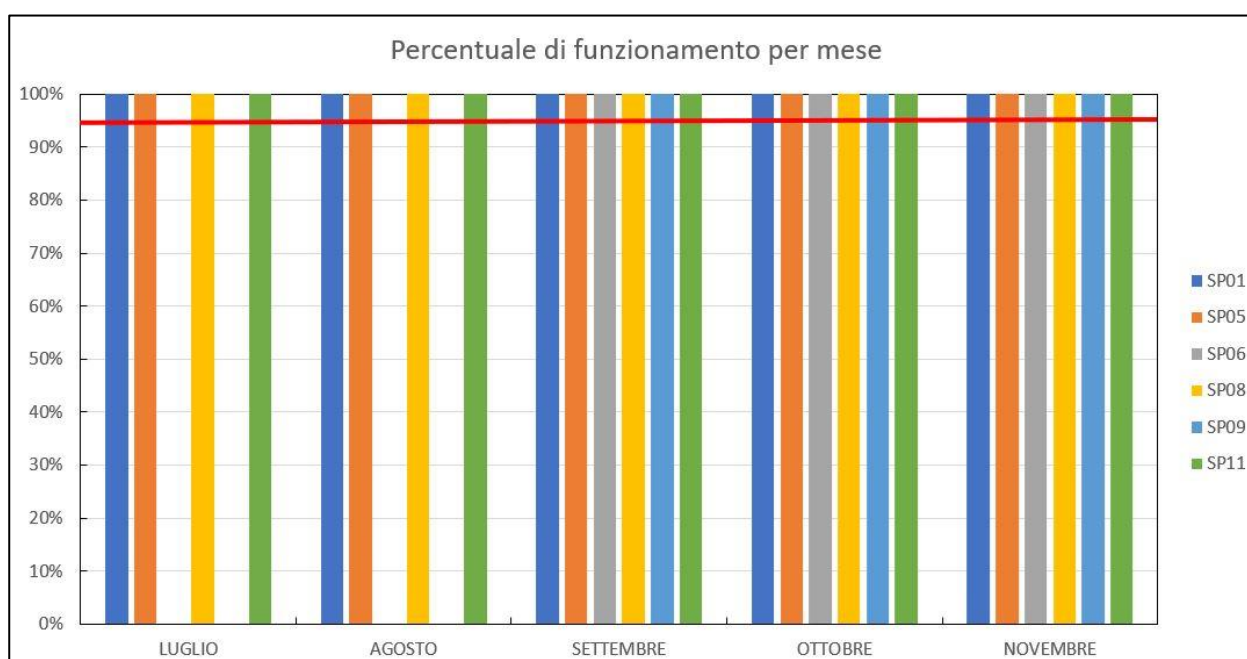


Figura 5: Percentuale di funzionamento di ogni stazione, per ogni mese.

In rosso la percentuale minima di funzionamento per ogni stazione (95%), raccomandata dalle LG.

In Figura 5 è mostrata la percentuale di funzionamento di ogni stazione, per ogni mese del periodo in esame: nel mese di luglio la percentuale è calcolata da giorno 13; le stazioni SP06 e SP09 sono state installate rispettivamente il 19/09 e il 21/09 (la percentuale è calcolata sui giorni utili), motivo per cui non compaiono nei mesi precedenti. La linea rossa indica la minima percentuale di funzionamento (95%) raccomandata dalle LG per ogni stazione.

5. PROCESSING DEI DATI: IDENTIFICAZIONE E LOCALIZZAZIONE DEGLI EVENTI SISMICI

I dati acquisiti sono stati elaborati in modalità off-line e ricorrendo a operazioni e controlli manuali da parte dell'operatore.

L'elaborazione dati comprende tre fasi:

- organizzazione dei dati di tutto il periodo in una cartella contenente due sottocartelle, una per le componenti orizzontali (E e N) e una per la componente verticale (Z);
- detection;
- ricerca delle coincidenze;
- picking dei primi arrivi;
- localizzazione e stima della magnitudo.

5.1. Pre-analisi

La fase di detection è stata eseguita con il software SEISMOSCAN, che filtra il segnale registrato e implementa l'algoritmo STA/LTA (Short Term Average/Long Term Average) [\[4\]](#): vengono così individuati dei tempi (trigger) candidati a essere interpretati come tempi di arrivo della fase P.

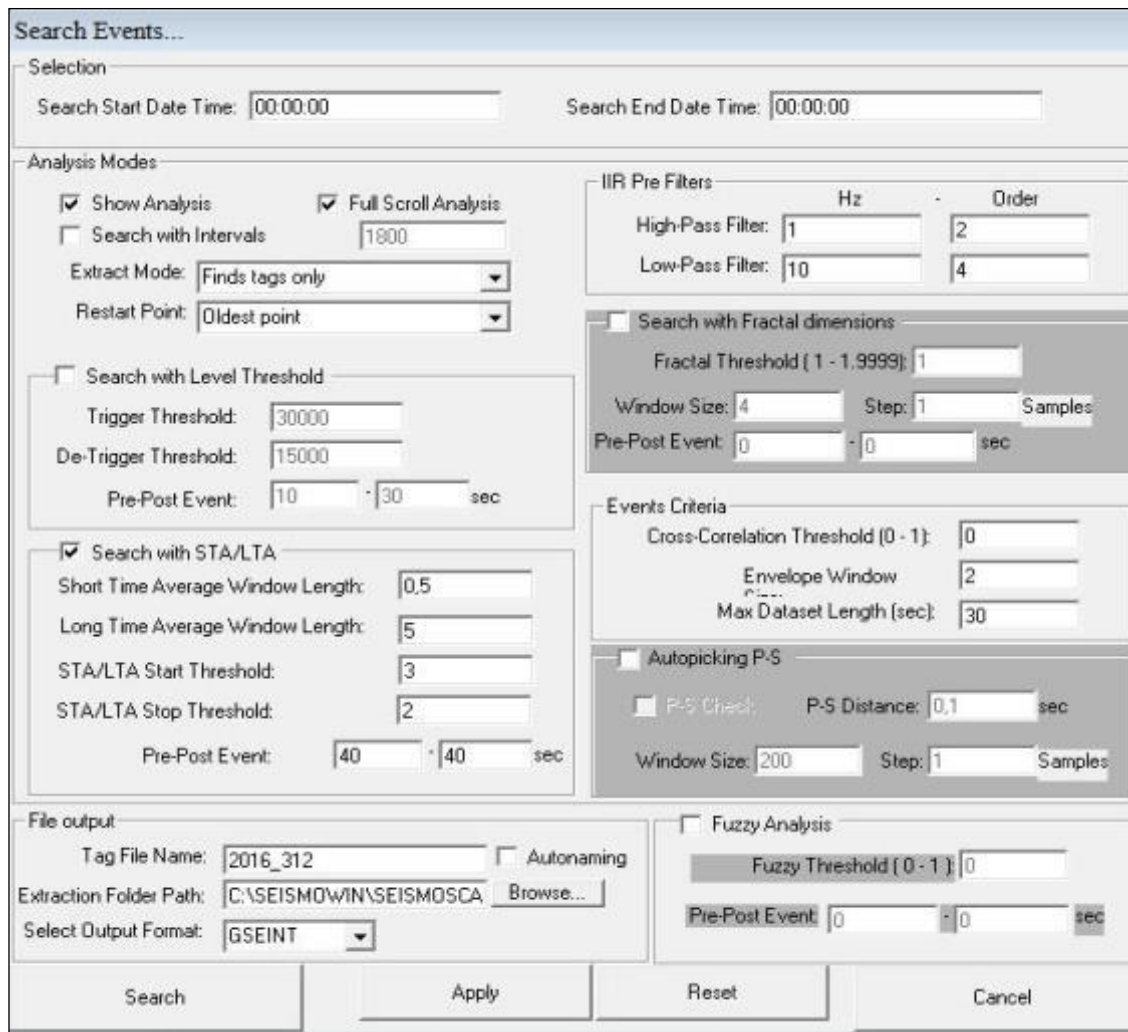
I parametri impostati per il filtro passabanda e per l'algoritmo STA/LTA sono riportati in Tabella 3:

| Filtro | | Frequenza [Hz] | Ordine |
|---------|----------------------|----------------|--------|
| | Passa-alto | 2 | 2 |
| | Passa-basso | 10 | 4 |
| STA/LTA | | | |
| | Lunghezza STA [s] | 0.5 | |
| | Lunghezza LTA [s] | 5.0 | |
| | Soglia di trigger | 3.0 | |
| | Soglia di de-trigger | 2.0 | |
| | Pre-event (PEM) [s] | 40.0 | |
| | Post-event (PET) [s] | 40.0 | |

Tabella 3: Parametri utilizzati in fase di detection

L'algoritmo STA/LTA è uno dei più utilizzati in microsismica: calcola i valori medi dell'ampiezza assoluta di un segnale sismico in due finestre temporali che si spostano continuamente; la finestra di breve durata (STA window) è sensibile agli eventi sismici, quella di lunga durata (LTA window) fornisce informazioni sull'ampiezza del rumore sismico. Il trigger è attivo nel momento in cui viene superata la soglia di trigger, e fino a quando non viene raggiunta la soglia di de-trigger. L'acquisitore, tuttavia, aggiunge una certa porzione di segnale sismico precedente al trigger e successiva al de-trigger, rispettivamente PEM (pre-event memory) e PET (post-event time).

In Figura 6 è riportata la finestra di dialogo di SEISMOSCAN per il settaggio dei parametri per la detection.



Search Events...

Selection
 Search Start Date Time: 00:00:00 Search End Date Time: 00:00:00

Analysis Modes

Show Analysis Full Scroll Analysis
 Search with Intervals 1800
 Extract Mode: Finds tags only
 Restart Point: Oldest point

Search with Level Threshold
 Trigger Threshold: 30000
 De-Trigger Threshold: 15000
 Pre-Post Event: 10 · 30 sec

Search with STA/LTA
 Short Time Average Window Length: 0,5
 Long Time Average Window Length: 5
 STA/LTA Start Threshold: 3
 STA/LTA Stop Threshold: 2
 Pre-Post Event: 40 · 40 sec

IIR Pre Filters

| | Hz | Order |
|-------------------|----|-------|
| High-Pass Filter: | 1 | 2 |
| Low-Pass Filter: | 10 | 4 |

Search with Fractal dimensions
 Fractal Threshold (1 - 1,9999): 1
 Window Size: 4 Step: 1 Samples
 Pre-Post Event: 0 · 0 sec

Events Criteria

Cross-Correlation Threshold (0 - 1): 0
 Envelope Window: 2
 Max Dataset Length (sec): 30

Autopicking P-S
 P-S Check P-S Distance: 0,1 sec
 Window Size: 200 Step: 1 Samples

File output
 Tag File Name: 2016_312 Autonoming
 Extraction Folder Path: C:\SEISMOWIN\SEISMOSCA Browse...
 Select Output Format: GSEINT

Fuzzy Analysis
 Fuzzy Threshold (0 - 1): 0
 Pre-Post Event: 0 · 0 sec

Search Apply Reset Cancel

Figura 6: SEISMOSCAN - finestra di dialogo per il settaggio del tipo di analisi e dei parametri per la fase di detection degli eventi sismici

5.2. Analisi

Il risultato della fase di detection degli eventi sismici è un TAG file che contiene i tempi in cui è stato identificato un probabile evento sismico. Questo file è stato utilizzato per valutare le coincidenze (presenza dell'evento in più stazioni): sono stati considerati eventi sismici da localizzare quelli che hanno provocato un trigger in almeno 3 stazioni sismiche entro un range temporale di 4 secondi.

La localizzazione degli eventi è stata eseguita in due step differenti:

1. prima localizzazione tramite *Grid Search*: l'area di interesse viene discretizzata con una griglia regolare: ad ogni nodo vengono calcolati i tempi di arrivo teorici a tutte le stazioni, con un dato modello di velocità; questi tempi teorici vengono confrontati con i tempi identificati durante la detection, finché viene individuato il nodo con minore discrepanza, che diventa la prima soluzione ipocentrale: viene quindi avviata la ricerca dell'ipocentro nell'intorno del nodo;
 - a) analisi del Back Azimuth¹ all'interno del modello crostale stratificato e all'interno di un modello semplice con V_p e V_s uguali a quelle del primo strato del modello stratificato;
2. analisi manuale dei sismogrammi, controllo manuale del picking delle fasi P ed S, e localizzazione definitiva con l'algoritmo *Hypo71*² [5]. Questa fase è stata eseguita con il software SEISMODESK.

Il modello crostale utilizzato è schematizzato in Tabella 4: per i dettagli sul modo in cui è stato ricavato si rimanda alla progettazione della rete [2].

¹ tecnica basata sul calcolo dell'angolo di emersione e della direzione di provenienza del primo arrivo. Utilizzando un modello stratificato è possibile percorrere a ritroso il cammino dell'onda. Tale tecnica, che si può utilizzare su tutte le stazioni singolarmente in maniera autonoma, necessita di un buon SNR e del *picking* delle onde P ed S.

² algoritmo che localizza un evento e ne stima la magnitudo, tramite una regressione statistica che, con un processo iterativo, minimizza gli errori nei tempi di arrivo delle stazioni utilizzando un modello crostale stratificato.

| Profondità [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] |
|----------------|----------|----------|
| 50 - 200 | 1677 | 932 |
| 200 - 500 | 2008 | 1116 |
| 500 - 600 | 2125 | 1181 |
| 600 - 900 | 2265 | 1258 |
| 900 - 1150 | 2395 | 1331 |
| 1150 - 1250 | 2911 | 1617 |
| 1250 - 1500 | 2420 | 1344 |
| 1500 - 2000 | 2625 | 1458 |
| 2000 - 3000 | 2991 | 1662 |
| 3000 - 4000 | 3400 | 1889 |
| 4000 - 5000 | 4300 | 2389 |

Tabella 4: Modello di velocità

5.3. Eventi interni ai Domini di rilevazione

Nel periodo considerato (13 luglio 2017 – 06 novembre 2017) non si sono verificati eventi sismici all'interno dei Domini di rilevazione; tuttavia, riportiamo qui l'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC, localizzato a profondità 24.6 km, perché l'epicentro (proiezione in superficie dell'ipocentro) ricade al limite a Nord-Est del DE.

In Tabella 5 la stima della localizzazione, della magnitudo e del tempo origine; nella seconda riga si riporta la localizzazione INGV: si nota che nonostante l'evento sia stato localizzato con sole 3 stazioni poste in superficie, la localizzazione non si discosta tanto da quella ottenuta dalla rete sismica nazionale.

| Numero evento | Tempo origine UTC [gg/mm/aaaa hh:mm:ss] | Latitudine | Longitudine | Profondità [km] | M | Dominio |
|---------------|---|------------|-------------|-----------------|------|---------|
| 1 | 13/08/2017 20:54:04 | 44.447367° | 12.061059° | 24.6 | 2.41 | - |
| 1 - INGV | 13/08/2017 20:54:05 | 44.429201° | 12.047697° | 24.0 | 1.80 | - |

Tabella 5: Evento sismico localizzato al di fuori del DE ma il cui epicentro ricade nel DE.

La differenza in superficie con la localizzazione INGV è pari a 2.28 km. Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.

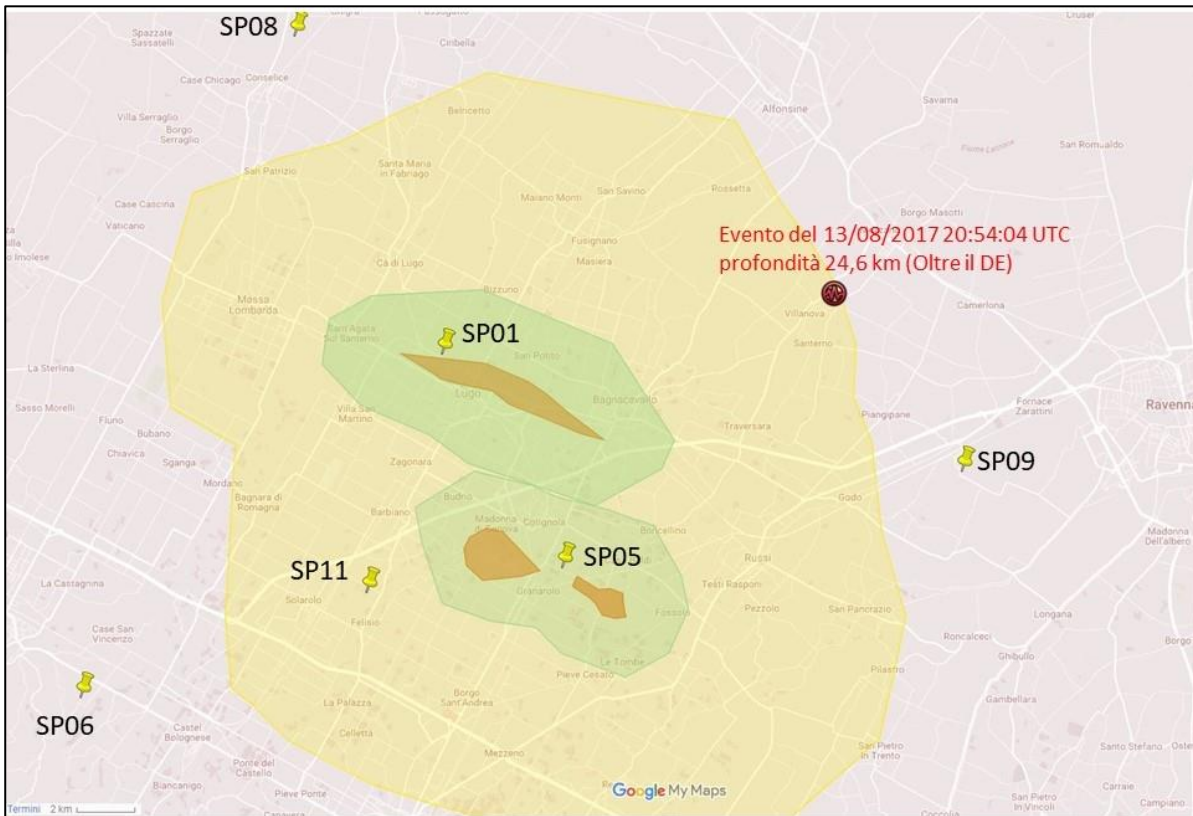


Figura 7: Rete provvisoria ed evento sismico localizzato al di fuori del DE ma il cui epicentro ricade nel DE.

Il 13 agosto 2017 le stazioni SP06 e SP09 non erano state installate, e la SP11 ha registrato un segnale che non risulta utile ai fini della localizzazione dell'evento sismico, perché troppo rumoroso (Figura 12).

La localizzazione quindi è stata ottenuta utilizzando i dati delle stazioni SP01, SP05 e SP08: dalla Figura 8 alla Figura 10 è mostrato il segnale di queste tre stazioni, rispettivamente in spostamento, velocità e accelerazione e il relativo picking dei primi arrivi P ed S.

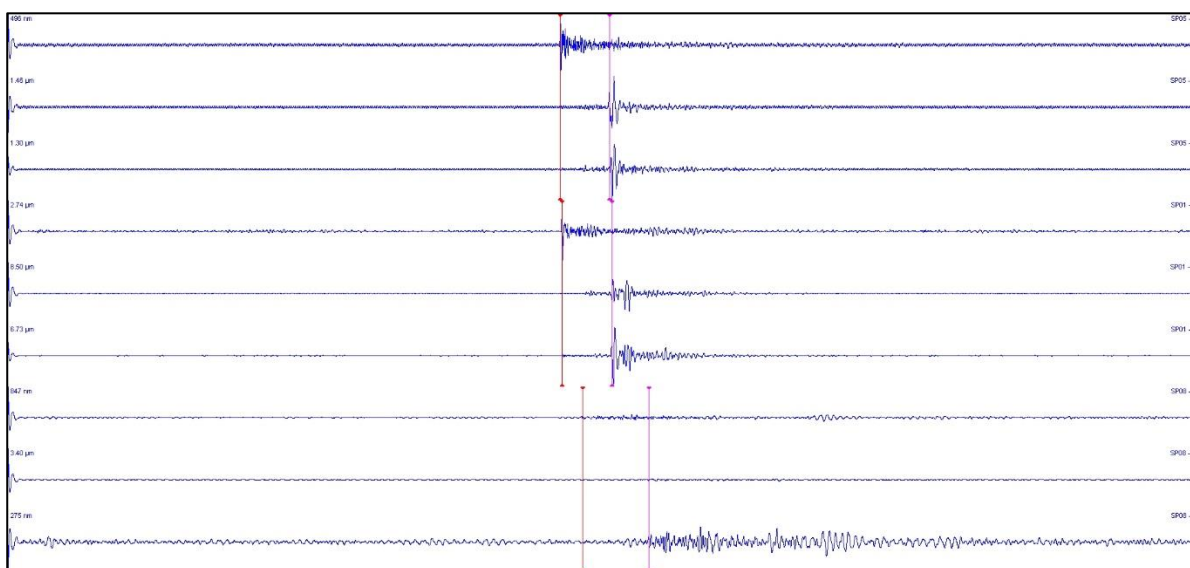


Figura 8: Dall'alto verso il basso, le componenti Verticale, Nord-Sud e Est-Ovest dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC registrato dalle stazioni SP05, SP01 e SP08, e picking delle onde P ed S. Spostamento.

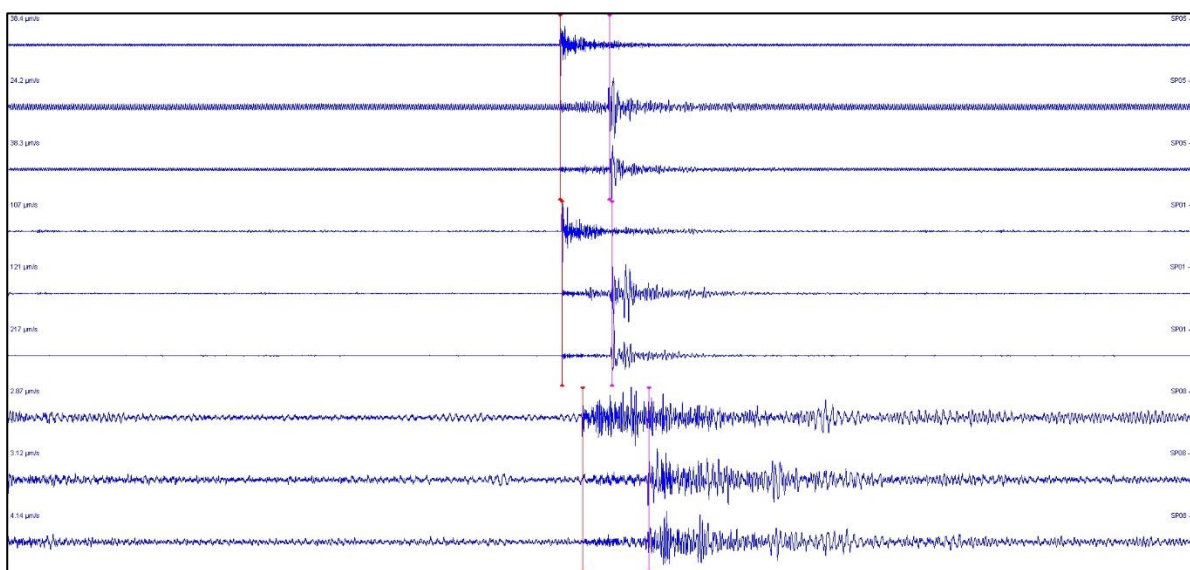


Figura 9: Dall'alto verso il basso, le componenti Verticale, Nord-Sud e Est-Ovest dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC registrato dalle stazioni SP05, SP01 e SP08, e picking delle onde P ed S. Velocità.

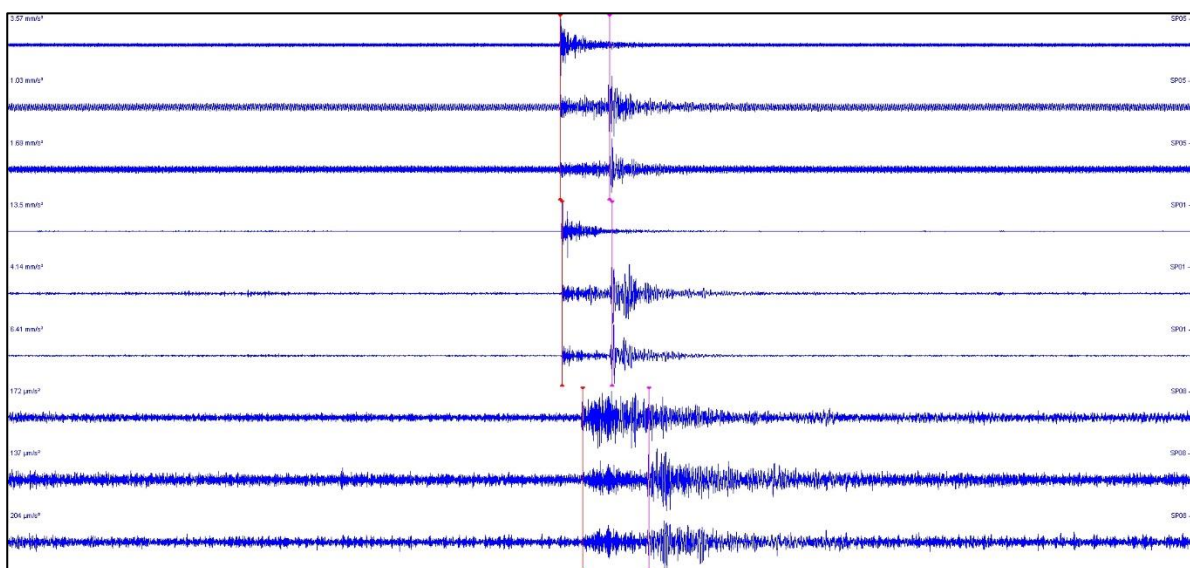


Figura 10: Dall'alto verso il basso, le componenti Verticale, Nord-Sud e Est-Ovest dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC registrato dalle stazioni SP05, SP01 e SP08, e picking delle onde P ed S. Accelerazione.

La Figura 11 mostra la localizzazione dell'evento sismico così come visualizzata dal software SEISMODESK.

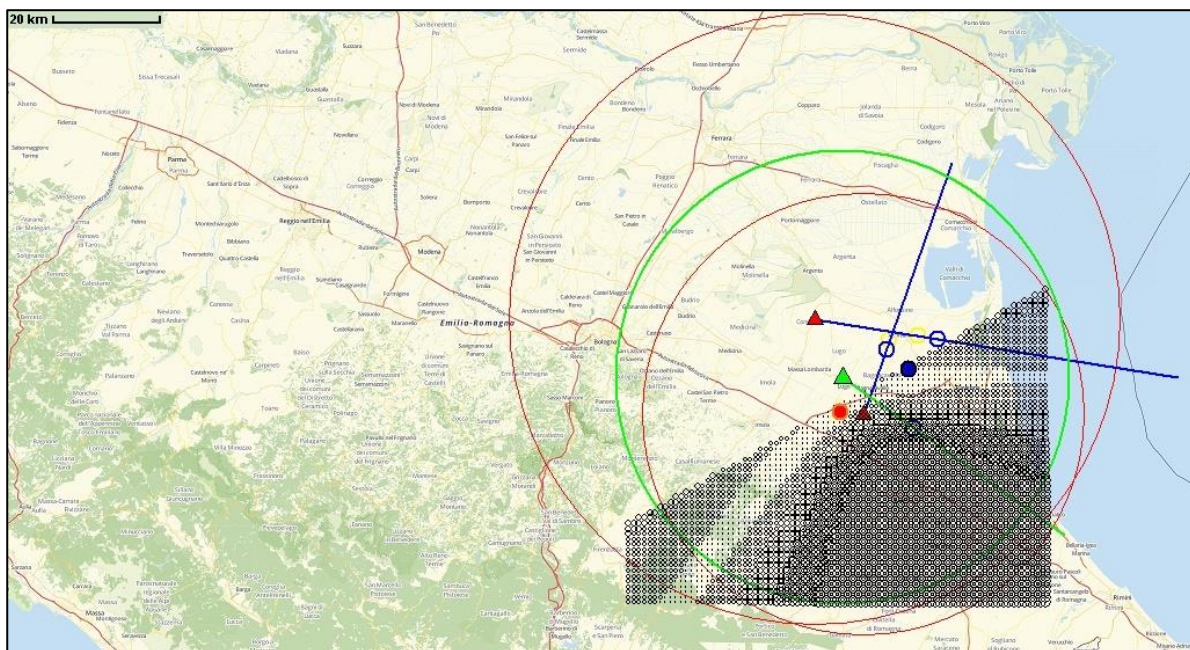


Figura 11: Localizzazione dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC.

Le circonferenze centrate sulle tre stazioni utilizzate per la localizzazione hanno raggio pari alla distanza ipocentrale calcolata dalla differenza tra i primi arrivi P e S alla data stazione; i segmenti sono ottenuti dal picking del back azimuth, che ci fa conoscere la direzione della sorgente rispetto alla data stazione; i cerchi vuoti blu indicano l'epicentro lungo la direttrice di provenienza della data stazione: la griglia è la Grid Search (v. Grid Search)

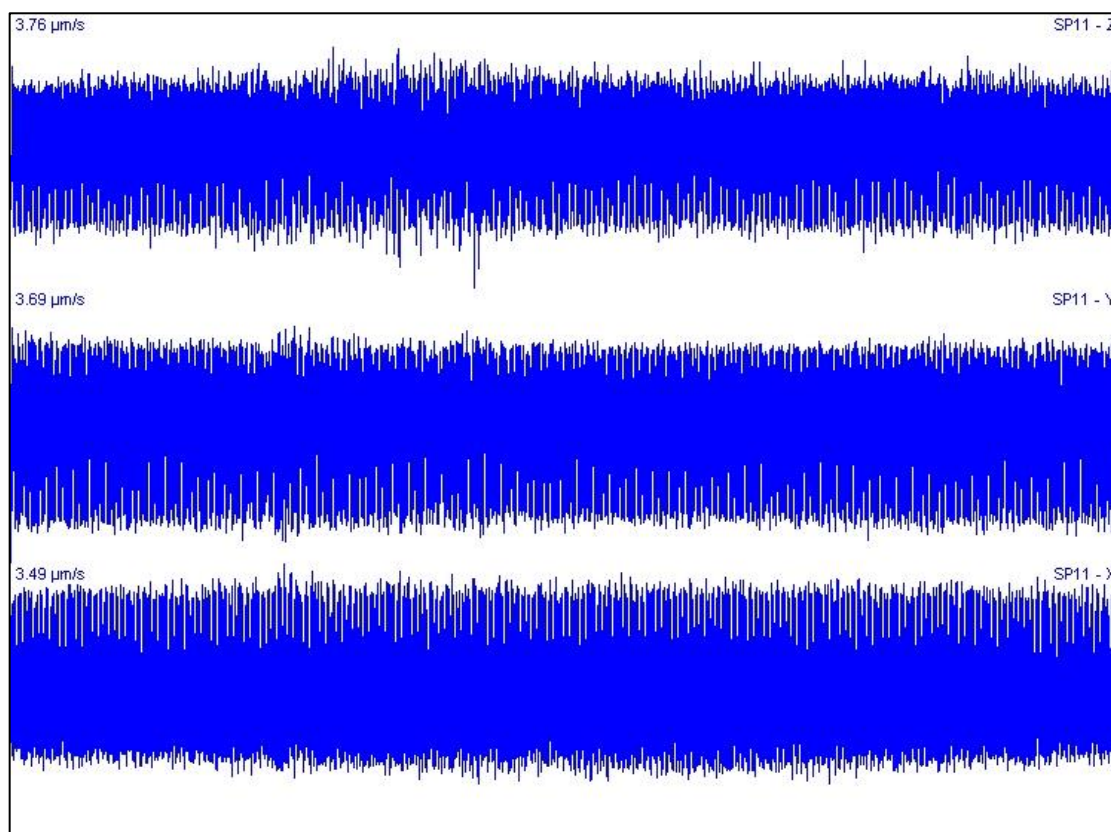


Figura 12: Segnale di velocità registrato dalla stazione SP11 il 13 agosto 2017 dalle 20:53:30 alle 20:54:57

6. SCHEDE MONOGRAFICHE

Sono di seguito riportate le schede monografiche di tutte le stazioni della rete microsismica provvisoria

Per ogni sito è mostrata la Carta Tecnica regionale [6] alla scala 1:5000 dell'area interessata, ed è indicata la strumentazione.

6.1. SP01 (Dominio Interno)

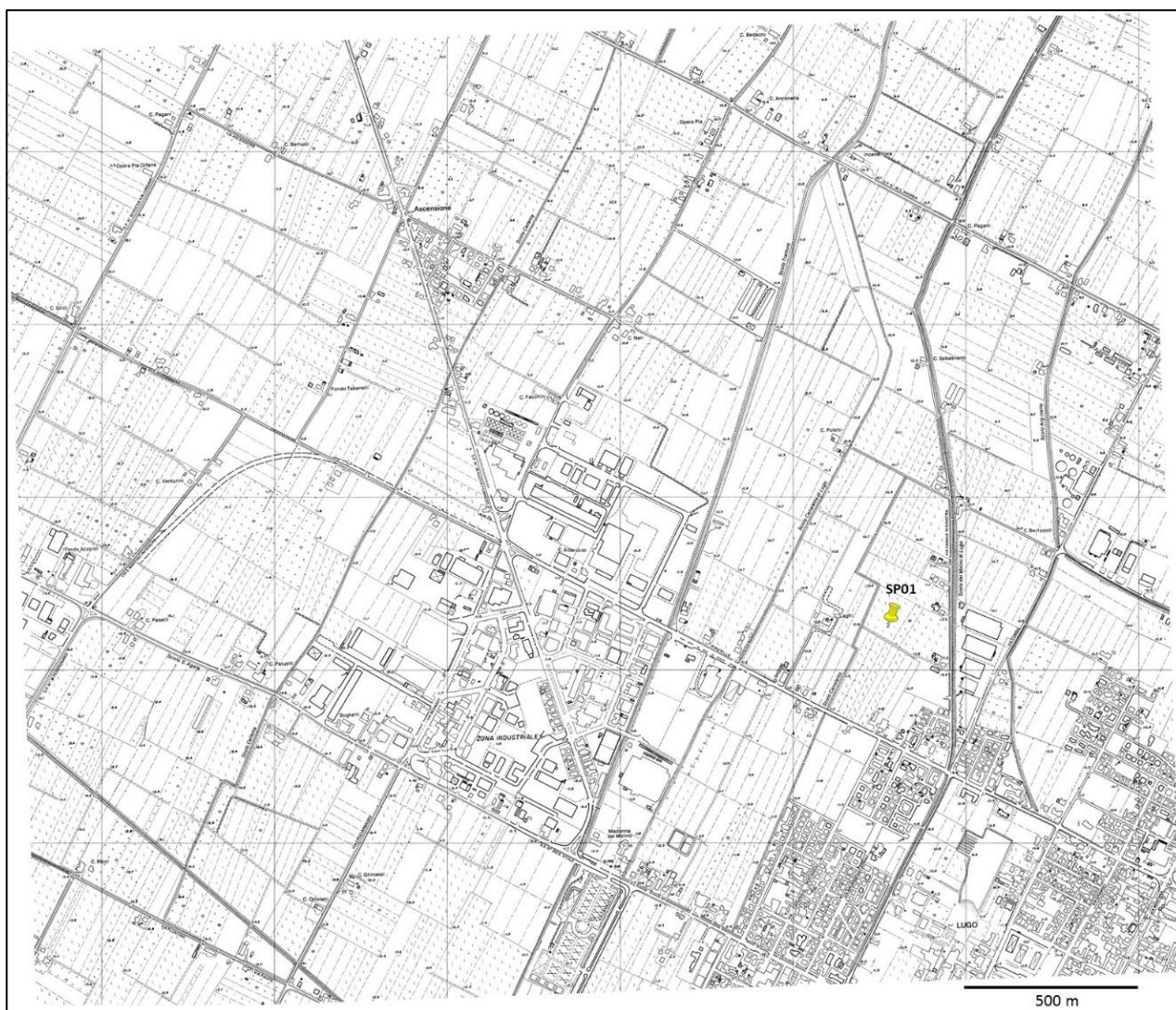


Figura 13: SP01 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000.

Quadro 5000 tassello 222151 (modificato) [6]. Il segnaposto giallo indica la posizione della stazione SP01.

| ID | Latitudine | Longitudine | Strumentazione | Dominio | Data di installazione | Disponibilità corrente elettrica |
|------|------------|-------------|----------------|---------|-----------------------|----------------------------------|
| SP01 | 44.433557° | 11.904429° | Velocimetro | Interno | 13/07/2017 | NO |

Tabella 6: SP01: Informazioni generali.

Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.



Figura 14: Stazione SP01

6.2. SP05 (Dominio Interno)

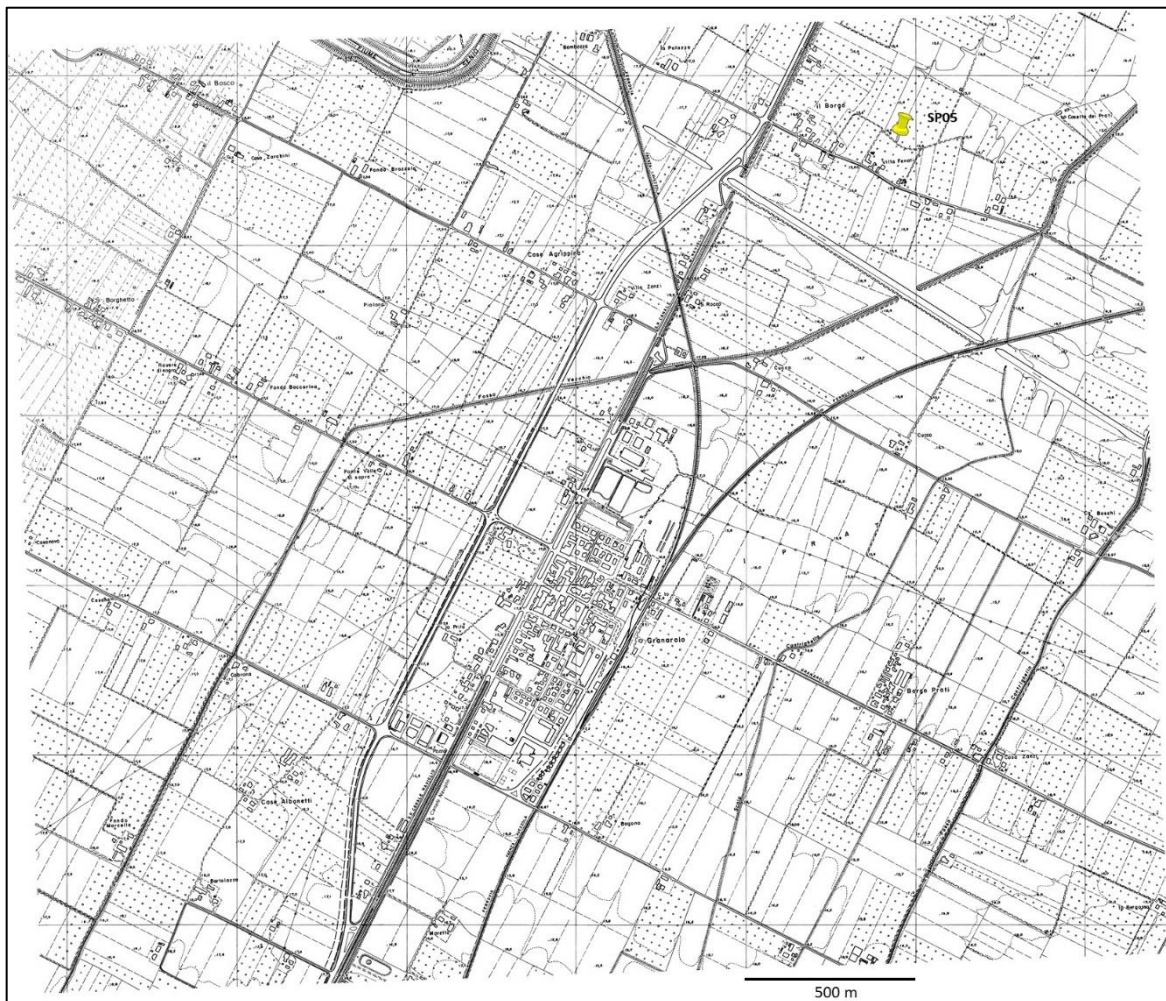


Figura 15: SP05 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000.
Quadro 5000 tassello 239043 (modificato) [6]. Il segnaposto giallo indica la posizione della stazione SP05.

| ID | Latitudine | Longitudine | Strumentazione | Dominio | Data di installazione | Disponibilità corrente elettrica |
|------|------------|-------------|----------------|---------|-----------------------|----------------------------------|
| SP05 | 44.370153° | 11.954165° | Velocimetro | Interno | 06/07/2017 | Sì |

Tabella 7: SP05: Informazioni generali.
Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.



Figura 16: Stazione SP05

6.3. SP06 (Oltre il Dominio Esteso)

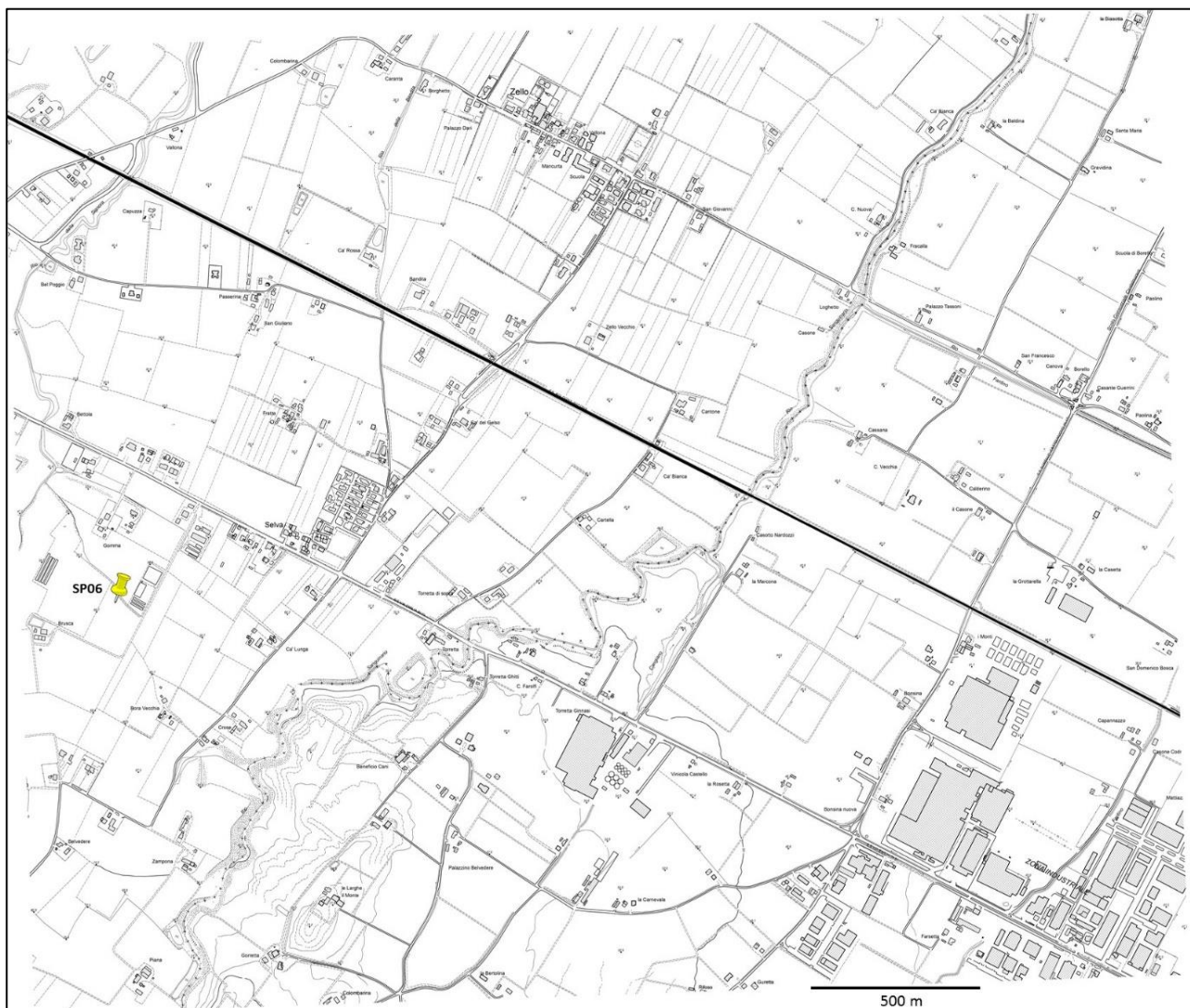


Figura 17: SP06 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000.

Quadro 5000 tassello 239064 (modificato) [6]. Il segnaposto giallo indica la posizione ipotizzata per la stazione SP06.

| ID | Latitudine | Longitudine | Strumentazione | Dominio | Data di installazione | Disponibilità corrente elettrica |
|------|------------|-------------|----------------|-------------|-----------------------|----------------------------------|
| SP06 | 44.334684° | 11.752625° | Velocimetro | Oltre il DE | 19/09/2017 | NO |

Tabella 8: SP06: Informazioni generali.

Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.



Figura 18: Stazione SP06

6.4. SP08 (Oltre il Dominio Esteso)



Figura 19: SP08 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000.

Quadro 5000 tassello 222074 (modificato) [6]. Il segnaposto giallo indica la posizione ipotizzata per la stazione SP08.

| ID | Latitudine | Longitudine | Strumentazione | Dominio | Data di installazione | Disponibilità corrente elettrica |
|------|------------|-------------|----------------|-------------|-----------------------|----------------------------------|
| SP08 | 44.530896° | 11.840114° | Velocimetro | Oltre il DE | 06/07/2017 | NO |

Tabella 9: SP08: Informazioni generali.

Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.



Figura 20: Stazione SP08

6.5. SP09 (Oltre il Dominio Esteso)

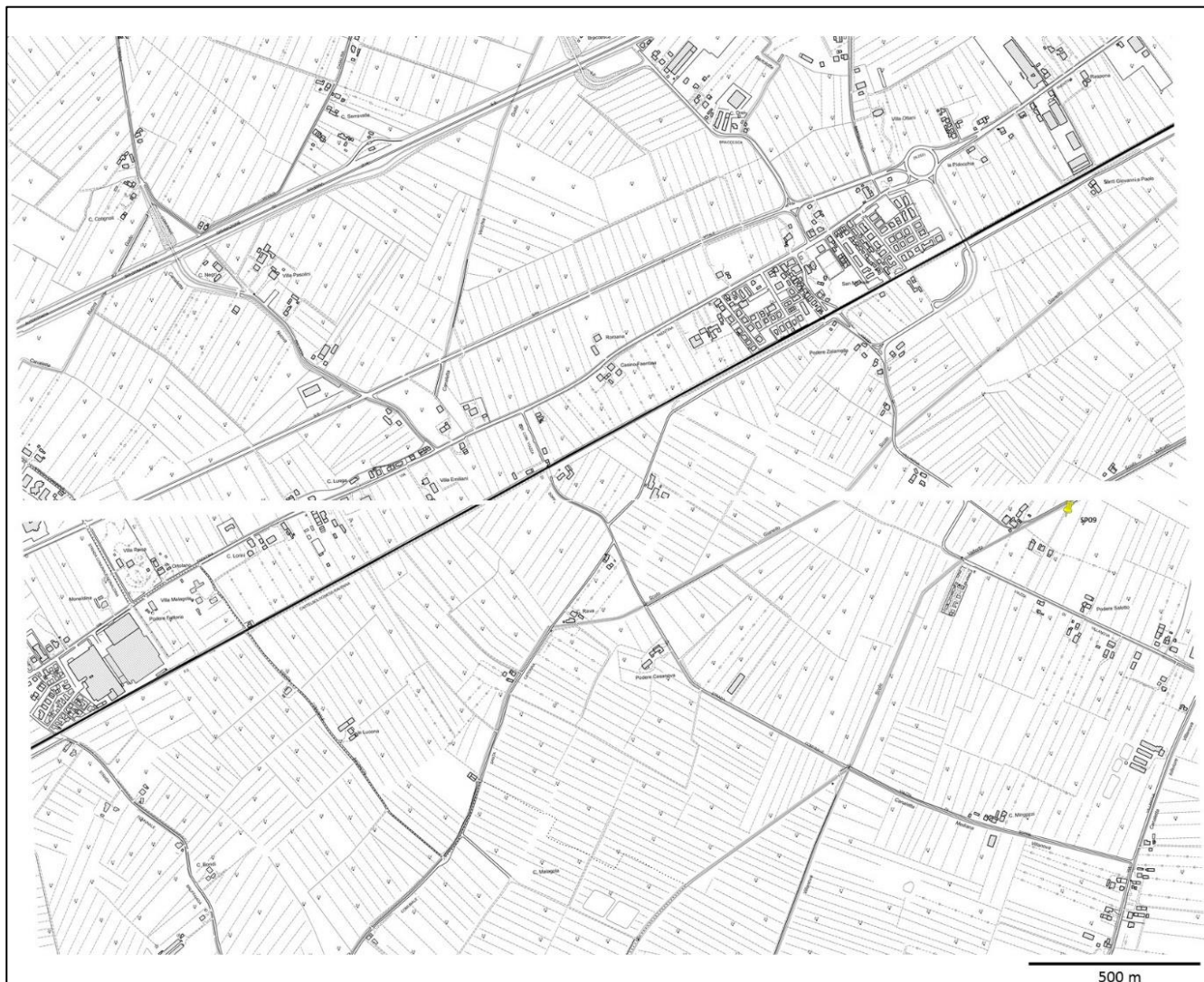


Figura 21: SP09 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000.

Quadro 5000 tasselli 223143 e 240024 (modificati) [6]. Il segnaposto giallo indica la posizione ipotizzata per la stazione SP09.

| ID | Latitudine | Longitudine | Strumentazione | Dominio | Data di installazione | Disponibilità corrente elettrica |
|------|------------|-------------|----------------|-------------|-----------------------|----------------------------------|
| SP09 | 44.398621° | 12.119776° | Velocimetro | Oltre il DE | 21/09/2017 | NO |

Tabella 10: SP09: Informazioni generali.

Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.



Figura 22: Stazione SP09

6.6. SP11 (Dominio Esteso)



Figura 23: SP11 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000.

Quadro 5000 tasselli 239032 e 239033 (modificati) [6]. Il segnaposto giallo indica la posizione ipotizzata per la stazione SP11.

| ID | Latitudine | Longitudine | Strumentazione | Dominio | Data di installazione | Disponibilità corrente elettrica |
|------|------------|-------------|----------------|---------|-----------------------|----------------------------------|
| SP11 | 44.362789° | 11.873278° | Velocimetro | Esteso | 06/07/2017 | Sì |

Tabella 11: SP11: Informazioni generali.

Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.



Figura 24: Stazione SP11.

APPENDICE A

In figura è mostrato il calendario 2017 in termini di DOY (Day Of Year).

| JANUARY 2017 | | | | | | | FEBRUARY 2017 | | | | | | | MARCH 2017 | | | | | | | APRIL 2017 | | | | | | | |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| SUN | MON | TUE | WED | THU | FRI | SAT | SUN | MON | TUE | WED | THU | FRI | SAT | SUN | MON | TUE | WED | THU | FRI | SAT | SUN | MON | TUE | WED | THU | FRI | SAT | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | |
| 29 | 30 | 31 | | | | | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
| | | | | | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | |
| | | | | | | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
| | | | | | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | |
| | | | | | | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
| | | | | | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | |
| | | | | | | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
| | | | | | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | |
| | | | | | | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
| | | | | | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | |
| | | | | | | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
| | | | | | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | |
| | | | | | | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
| | | | | | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | |
| | | | | | | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
| | | | | | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | |
| | | | | | | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
| | | | | | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | |
| | | | | | | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
| | | | | | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | |
| | | | | | | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
| | | | | | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | |
| | | | | | | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
| | | | | | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | |
| | | | | | | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
| | | | | | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | |
| | | | | | | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |

APPENDICE B

I prodotti raster scaricati dal sito <http://geoportale.regione.emilia-romagna.it> sono coperti da licenza Creative Commons BY (CC-BY), visibile al link:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.it>

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] Dialuce G., Chiarabba C., Di Bucci D., Doglioni C., Gasparini P., Lanari R., Priolo E., Zollo A. - *Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche* - 2014
- [2] Solgeo srl – *Progettazione della rete di monitoraggio microsismico e della rete geodetica di raffittimento presso l'impianto di stoccaggio gas denominato "San Potito e Cotignola Stoccaggio" (Ra)* – 2017
- [3] Solgeo srl – *Progettazione di una rete di monitoraggio microsismico provvisoria presso l'impianto di stoccaggio gas denominato "San Potito e Cotignola Stoccaggio (Ra)"* – 2017
- [4] Trnkoczy A. – *Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm* – New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP) – 1999
- [5] Lee W. H. K., Bennet R. E., Meagher K. L. – *A method of estimating magnitude of local earthquakes from signal duration*. USGS Open File Report 72-223, Menlo Park – 1972
- [6] Regione Emilia Romagna – <http://www.regione.emilia-romagna.it>
<http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it/download/prodottiraster>