

TOTAL E&P ITALIA S.P.A.

*Rete di monitoraggio microsismico installata presso la
concessione Gorgoglione*

Rapporto periodico di monitoraggio gennaio – marzo 2019

Oggetto: Rete microsismica Tempa Rossa - Report gennaio – marzo 2019

Cliente: TOTAL E&P Italia S.p.A.

ref

S18MN04-1

Autore

Date

Chiara Cocorullo

31 May 2019

Checked By

date

Filippo Di Fronzo – Stefano Limonta

31 May 2019

Cod.

Version

S18MN04-1

Rev. 1 - 31 May 2019

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 – Maggio 2019 | 1ª Emissione |
| | |
| | |
| | |

Indice

| | |
|---|----|
| 1. Introduzione | 4 |
| 2. Descrizione della rete | 4 |
| 3. Operatività della rete di monitoraggio – interventi e/o sostituzioni | 6 |
| 3.1. Copertura dei dati..... | 6 |
| 3.2. Sostituzioni | 9 |
| 4. Procedura di elaborazione dati | 10 |
| 4.1. Modello di velocità | 11 |
| 5. Metodo di localizzazione degli eventi sismici..... | 12 |
| 6. Eventi sismici | 16 |
| Opere citate..... | 23 |
| | |
| Tabella 1: coordinate delle stazioni microsismiche (WGS84) e strumentazione installata. | 5 |
| Tabella 2: percentuale di funzionamento delle stazioni nel periodo gennaio-marzo 2019 | 7 |
| Tabella 3: interventi di manutenzione e/o riparazione nel periodo gennaio-marzo 2019 | 9 |
| Tabella 4: parametri del trigger STA/LTA | 10 |
| Tabella 5: modello di velocità | 11 |
| Tabella 6: stazioni INGV presenti nell'area racchiusa dalla griglia più grande. | 15 |
| Tabella 7: numero di eventi localizzati e distribuzione spaziale..... | 16 |
| Tabella 8: eventi sismici localizzati nella griglia più larga. | 18 |
| | |
| Figura 1: rete microsismica. Proiezioni in superficie dei Domini di rilevazione e, in nero, i limiti della Concessione... | 5 |
| Figura 2: percentuale di funzionamento per singola stazione nei mesi oggetto del report | 8 |
| Figura 3: percentuale di funzionamento della rete nel periodo gennaio - marzo 2019 | 9 |
| Figura 4: modello di velocità..... | 12 |
| Figura 5: metodo di localizzazione tramite stacking della forma d'onda per differenti localizzazioni della sorgente (in giallo nella colonna <i>a</i>) e tempi origine (colonne <i>b</i> , <i>c</i> e <i>d</i>) | 13 |
| Figura 6: matrici di coerenza per differenti Δt : la massima coerenza si ha al tempo origine t_0 | 14 |
| Figura 7: griglie utilizzate per la localizzazione e stazioni INGV al loro interno. | 16 |
| Figura 8: eventi sismici localizzati | 20 |
| Figura 9: numero di eventi per magnitudo locale nel periodo gennaio-marzo 2019. | 21 |
| Figura 10: distribuzione di magnitudo locale nel periodo gennaio-marzo 2019, degli eventi sismici localizzati nella griglia più larga: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione. | 21 |
| Figura 11: distribuzione delle profondità degli eventi sismici rilevati: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione..... | 22 |

1. Introduzione

La rete microsismica denominata Tempa Rossa è stata installata presso la Concessione Gorgoglione, su richiesta di TOTAL E&P Italia Spa, ed è sita in Basilicata, in provincia di Potenza (PZ).

Lo scopo della rete è il monitoraggio sismico del volume individuato dai Domini di Rilevazione, in accordo con il documento *“Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell’ambito delle attività antropiche”* (Dialuce, et al., 2014), redatto nel 2014 dal Gruppo di Lavoro istituito dalla Commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie (CIRM) del MISE (Ministero dello Sviluppo Economico) e in accordo al Rapporto di Monitoraggio Sismico di Baseline redatto da INGV (Piccinini, et al., 2016).

Gli Indirizzi e le Linee Guida (da qui in avanti ILG) prevedono il monitoraggio del sito al fine di misurare in continuo l’eventuale sismicità indotta, e forniscono riferimenti tecnici per la progettazione della rete di monitoraggio, in termini di volumi dell’area da monitorare e di caratteristiche della strumentazione.

Per l’inquadramento geologico si rimanda al Rapporto di Monitoraggio Sismico di Baseline redatto da INGV (Piccinini, et al., 2016), per la descrizione della strumentazione, gli schemi d’impianto, i collegamenti elettrici e le schede monografiche si rimanda al Manuale HW (Solgeo srl, 2018).

In questo report, che riguarda il periodo gennaio-marzo 2019, vengono descritti:

- lo stato di funzionamento della rete;
- la procedura di elaborazione dati;
- gli eventi sismici localizzati entro circa 50 km dalla rete, specificando quelli il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.

2. Descrizione della rete

La rete di monitoraggio è costituita da 12 stazioni a sei canali, la cui installazione è stata completata il 20/09/2018.

In Figura 1 sono mostrati i siti in cui sono installate le stazioni di monitoraggio; in Tabella 1 è riportata la strumentazione per ogni stazione sismica.

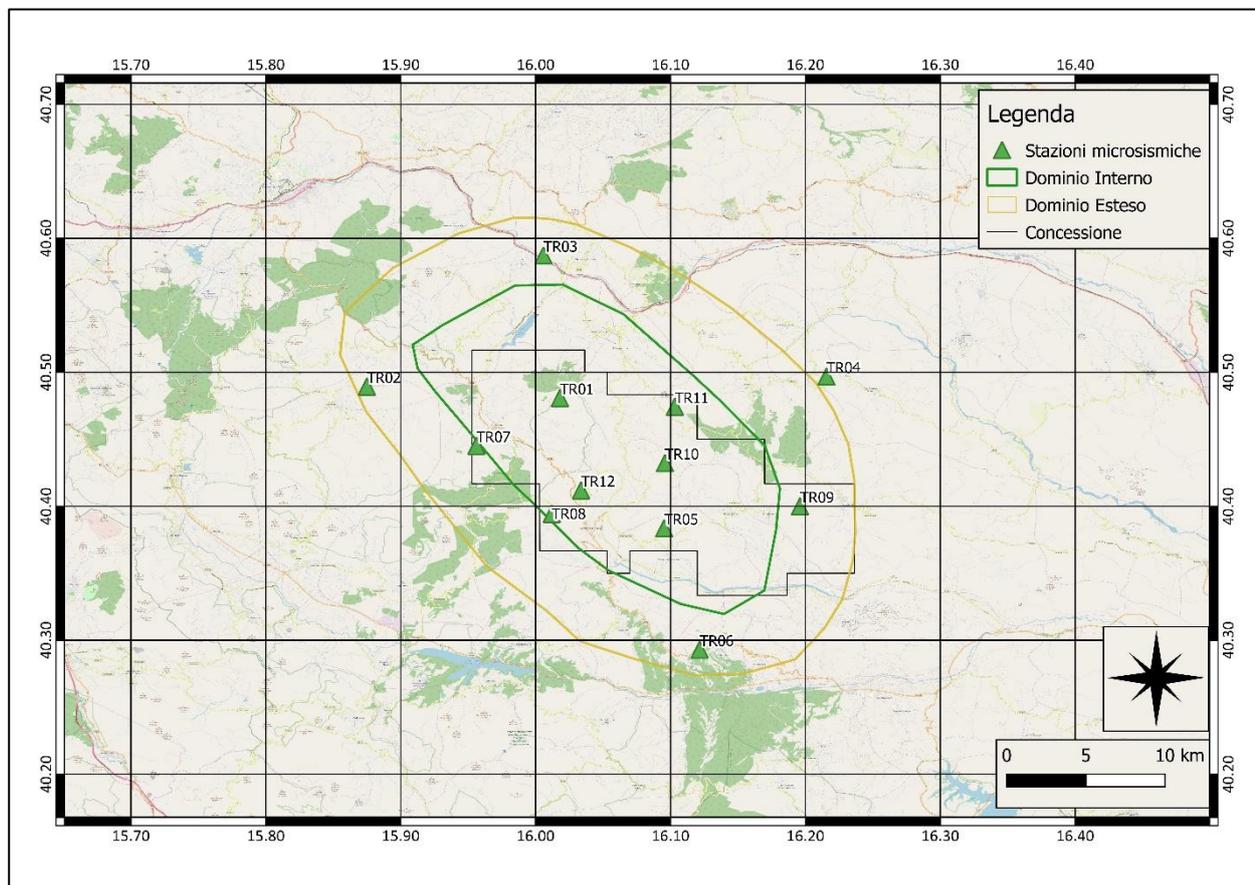


Figura 1: rete microsismica. Proiezioni in superficie dei Domini di rilevazione e, in nero, i limiti della Concessione.

| ID | Comune | Lat. [°] | Long. [°] | Data di installazione | Sensore 1 | Sensore 2 |
|------|-------------------|----------|-----------|-----------------------|----------------------|----------------|
| TR01 | Laurenzana | 40.48 | 16.02 | 05/09/18 | Sism. SARA SS02 | Acc. SARA SA10 |
| TR02 | Calvello | 40.49 | 15.87 | 20/09/18 | Sism. SARA SS02 | Acc. SARA SA10 |
| TR03 | Albano di Lucania | 40.59 | 16.01 | 05/09/18 | Sism. SARA SS02 | Acc. SARA SA10 |
| TR04 | San Mauro Forte | 40.50 | 16.22 | 07/08/18 | Sism. SARA SS02 | Acc. SARA SA10 |
| TR05 | Guardia Perticara | 40.38 | 16.10 | 03/09/18 | Sism. SARA SS08 (BB) | Acc. SARA SA10 |
| TR06 | Gallicchio | 40.29 | 16.12 | 09/08/18 | Sism. SARA SS02 | Acc. SARA SA10 |
| TR07 | Laurenzana | 40.45 | 15.96 | 18/09/18 | Sism. SARA SS02 | Acc. SARA SA10 |
| TR08 | Corleto Perticara | 40.39 | 16.01 | 31/08/18 | Sism. SARA SS02 | Acc. SARA SA10 |
| TR09 | Stigliano | 40.40 | 16.21 | 19/09/18 | Sism. SARA SS02 | Acc. SARA SA10 |
| TR10 | Corleto Perticara | 40.43 | 16.10 | 30/08/18 | Sism. SARA SS02 | Acc. SARA SA10 |
| TR11 | Pietrapertosa | 40.47 | 16.10 | 19/09/18 | Sism. SARA SS02 | Acc. SARA SA10 |
| TR12 | Corleto Perticara | 40.41 | 16.03 | 03/09/18 | Sism. SARA SS02 | Acc. SARA SA10 |

Tabella 1: coordinate delle stazioni microsismiche (WGS84) e strumentazione installata.

3. Operatività della rete di monitoraggio – interventi e/o sostituzioni

Nei paragrafi seguenti viene riportata la copertura dei dati acquisiti dalla rete nel periodo esaminato e sono elencati gli interventi di manutenzione. Lo stato delle stazioni, in particolare la tensione delle batterie, è monitorato in tempo reale dal software SEISMOSTRU.

3.1. Copertura dei dati

Nel periodo di riferimento (01/01/2019 – 31/03/2019), la rete nel suo complesso ha garantito una copertura dei dati pari a 90.7% (un guasto elettronico ha portato a un prolungato ma temporaneo arresto degli acquisitori sulle stazioni TR07 e TR11).

La copertura della rete è stata calcolata con il software SEISMOSCAN (appartenente alla suite SEISMOWIN), che fornisce il totale dei secondi di dato mancante per singolo canale in un periodo a scelta dell'utente (singolo giorno, un mese intero, ecc...).

In Tabella 2 sono elencate le percentuali di funzionamento delle singole stazioni, durante i mesi oggetto del report. Si segnalano:

- parziale mancanza dei dati delle stazioni TR05 e TR06 nel mese di gennaio;
- parziale mancanza di dati della stazione TR07 in tutti e tre i mesi;
- parziale mancanza dei dati della stazione TR09 nel mese di febbraio;
- parziale mancanza dei dati della stazione TR11 nei mesi di gennaio e marzo;
- totale mancanza dei dati della stazione TR11 nel mese di febbraio;
- parziale mancanza di dati della stazione TR12 nei mesi di gennaio e febbraio;
- parziale mancanza dei dati della stazione TR01 nel mese di marzo.

| Stazione | Percentuale di funzionamento | | |
|-------------|------------------------------|-------------|-------------|
| | Gennaio | Febbraio | Marzo |
| TR01 | 100.0 | 100.0 | 57.8 |
| TR02 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| TR03 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| TR04 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| TR05 | 95.3 | 100.0 | 100.0 |
| TR06 | 91.3 | 100.0 | 100.0 |
| TR07 | 89.6 | 61.4 | 57.7 |
| TR08 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| TR09 | 100.0 | 99.9 | 100.0 |
| TR10 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| TR11 | 63.9 | 0.0 | 82.1 |
| TR12 | 94.1 | 73.4 | 100.0 |
| Rete | 94.5 | 86.2 | 91.5 |

Tabella 2: percentuale di funzionamento delle stazioni nel periodo gennaio-marzo 2019

Si segnala che il sismometro Broad Band è, a volte, fuori asse a causa degli assestamenti del terreno successivi alla costruzione dell'opera civile.

In Figura 2 sono riportate, per ogni mese, le percentuali di funzionamento delle singole stazioni; in Figura 3 la percentuale di funzionamento dell'intera rete per ogni mese.

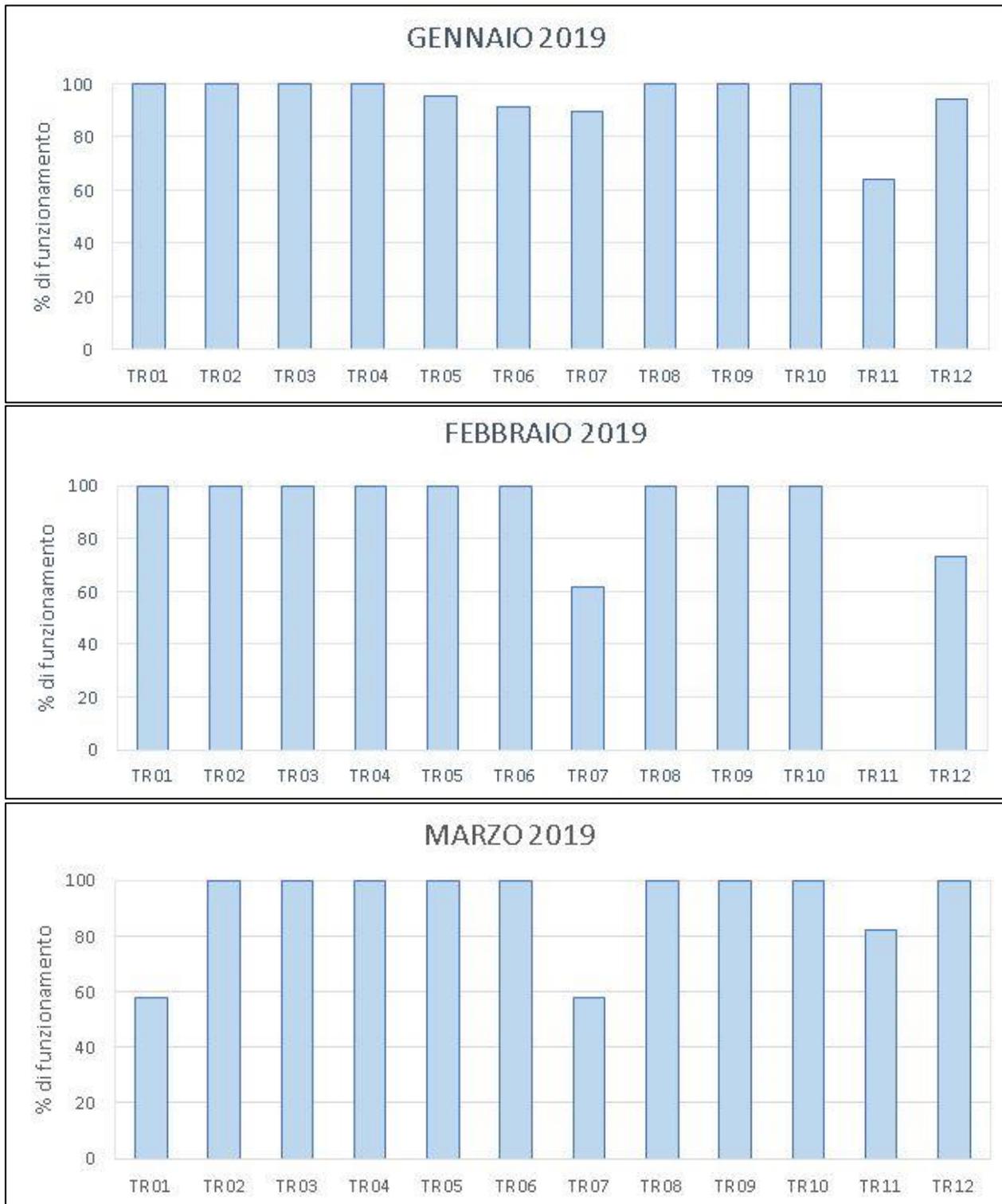


Figura 2: percentuale di funzionamento per singola stazione nei mesi oggetto del report.

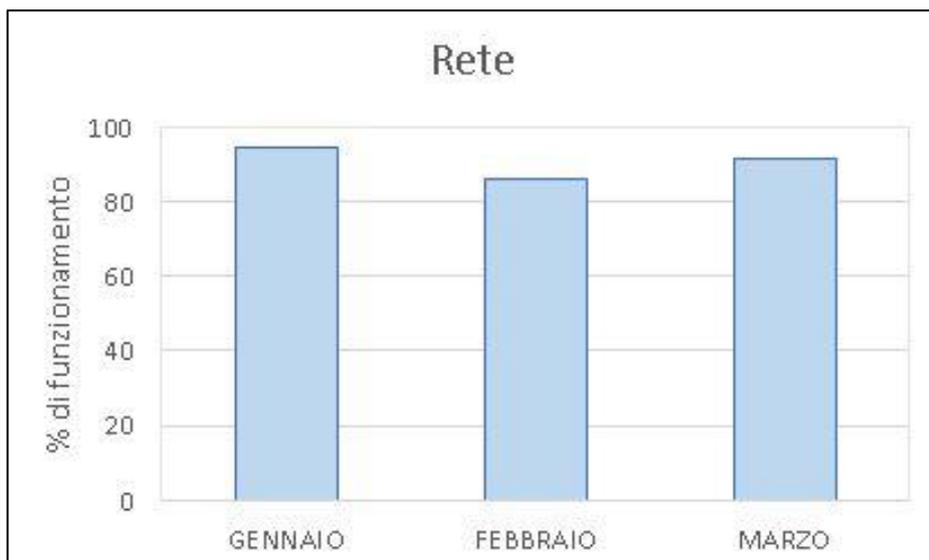


Figura 3: percentuale di funzionamento della rete nel periodo gennaio - marzo 2019

3.2.Sostituzioni

In Tabella 3 sono elencati gli interventi di manutenzione eseguiti nel periodo gennaio-marzo 2019.

| Stazione | Data | Intervento |
|----------|------------|---|
| TR11 | 06/03/2019 | Riparazione acquisitore. Sostituzione regolatore di carica |
| TR01 | 20/03/2019 | Riparazione acquisitore |
| TR07 | 20/03/2019 | Sostituzione acquisitore |

Tabella 3: interventi di manutenzione e/o riparazione nel periodo gennaio-marzo 2019

4. Procedura di elaborazione dati

I dati sono stati acquisiti in tempo reale tramite il software SEISMOLOG, che esegue, durante la stessa fase di acquisizione, una pre-elaborazione dei segnali costituita da filtraggio e triggering con algoritmo STA/LTA (Short Term Average/Long Term Average) (Trnkoczy, 1999;2002); in Tabella 4 i parametri utilizzati per il triggering STA/LTA.

| Filtro | | Frequenza [Hz] | Ordine |
|----------------|----------------------|----------------|--------|
| | Passa-alto | 1 | 2 |
| | Passa-basso | 20 | 2 |
| STA/LTA | | | |
| | Lunghezza STA [s] | 0.5 | |
| | Lunghezza LTA [s] | 5 | |
| | Soglia di trigger | 3 | |
| | Soglia di de-trigger | 2 | |
| | Pre-event (PEM) [s] | 10 | |
| | Post event (PET) [s] | 30 | |

Tabella 4: parametri del trigger STA/LTA

I segnali così selezionati vengono inviati al software SEISMODESK, che esegue il picking e la localizzazione automatica degli eventi sismici, se rilevati da almeno 3 stazioni: per questa prima localizzazione SEISMODESK implementa Hypo71 (Lee & Lahr, 1975).

Le localizzazioni automatiche sono state riviste dall'operatore, che:

- ha corretto, laddove necessario, i picking manuali;
- ha estratto una porzione di segnale più lunga, laddove il Post-event risultava troppo breve;
- ha estratto il segnale di tutti i velocimetri, laddove l'evento automatico era stato localizzato utilizzando poche stazioni;
- ha localizzato l'evento con HypoEllipse (Lahr, 2002), implementato all'interno di SEISMODESK.

Inoltre, è stata eseguita anche un'elaborazione offline costituita da:

- triggering STA/LTA dei segnali acquisiti dai velocimetri, utilizzando il software SEISMOSCAN;
- estrazione dei tag su tutti i segnali (acquisiti da velocimetri e accelerometri), utilizzando il software SEISMOSCAN per rilevare le coincidenze (trigger presente in almeno 4 stazioni entro un range di 4 s);

- visualizzazione dei segnali così ottenuti con il software Snuffler, un modulo della libreria python Pyrocho (Heimann, et al., 2017), sviluppato dai ricercatori del GFZ – German Research Centre for Geosciences;
- picking manuale dei primi arrivi delle onde P e S, così da individuare gli eventi più prossimi alla rete caratterizzati da una differenza tra il tempo d’arrivo dell’onda P e quello dell’onda S non superiore a 5-6 s.

Gli eventi sono stati localizzati utilizzando una nuova metodologia di localizzazione, basata sulla coerenza delle forme d’onda, che permette di ottenere una buona localizzazione anche in casi di rapporto S/N basso o di eventi con tempo origine molto ravvicinati. Questa metodologia è implementata nel software LOKI (earthquake Location by waveform staCKing) (Grigoli, et al., 2014). In alcuni casi, in particolare per gli eventi fuori rete, si è utilizzata la tecnica classica di picking dei primi arrivi e localizzazione con HypoEllipse (Lahr, 2002), poiché il metodo della coerenza delle forme d’onda non ha dato risultati soddisfacenti, proprio per la lontananza dell’evento dalla rete. In alcuni casi si sono utilizzati i dati delle vicine stazioni INGV.

4.1. Modello di velocità

Il modello crostale utilizzato è quello di (Maggi, Frepoli, Console, & Chiappini, 2009), descritto in Tabella 5 e mostrato in Figura 4.

| Profondità [km] | Vp [km/s] | Vs [km/s] | Vp/Vs |
|-----------------|-----------|-----------|-------|
| 0 - 2 | 4.27 | 2.33 | 1.83 |
| 2 - 11 | 5.52 | 3.02 | 1.83 |
| 11 - 23 | 6.10 | 3.33 | 1.83 |
| 23 - 35 | 6.50 | 3.55 | 1.83 |
| 35 - 45 | 7.31 | 3.99 | 1.83 |
| 45 - | 7.90 | 4.32 | 1.83 |

Tabella 5: modello di velocità
(Maggi, Frepoli, Console, & Chiappini, 2009)

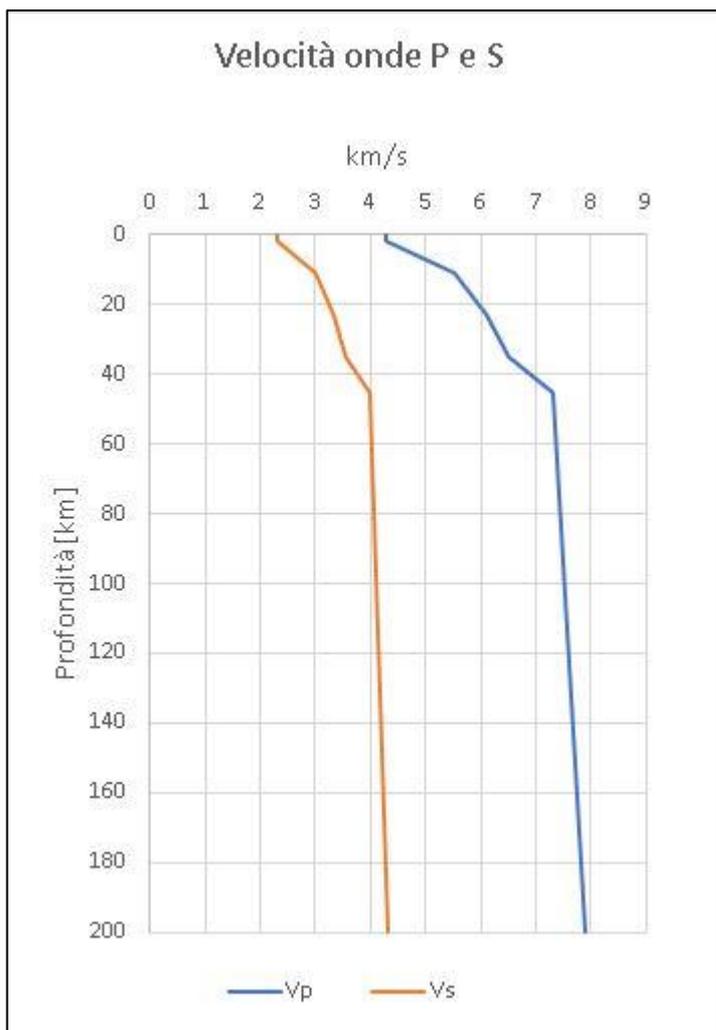


Figura 4: modello di velocità
(Maggi, Frepoli, Console, & Chiappini, 2009)

5. Metodo di localizzazione degli eventi sismici

Come già accennato, alcuni eventi sono stati localizzati con un metodo che fa parte delle cosiddette tecniche avanzate di localizzazione, che non si basa sul picking dei primi arrivi ma sulla coerenza della forma d'onda: questi metodi consentono una buona localizzazione anche nel caso di eventi molto ravvicinati nei tempi o addirittura sovrapposti (caso tipico quando si parla di sismicità indotta da operazioni antropiche quali quelle sotto monitoraggio), per i quali l'operazione di picking, automatica o manuale, potrebbe portare ad eventi "persi" oppure a un picking incorretto e quindi a errate stime della magnitudo.

La zona di interesse viene discretizzata in una griglia 3D. Per ogni forma d'onda relativa a ogni stazione, viene calcolato il rapporto STA/LTA di due funzioni caratteristiche: l'energia della

componente verticale, per l'onda P; una funzione ottenuta attraverso la tecnica PCA (principal component analysis), per l'onda S. Le tracce STA/LTA delle funzioni caratteristiche per tutte le stazioni della rete vengono utilizzate come input al processo di localizzazione basato sulla coerenza delle forme d'onda.

Per ogni nodo della griglia, che rappresenta una potenziale localizzazione dell'evento, vengono calcolati i tempi di arrivo teorici, a tutte le stazioni della rete, delle onde P ed S di eventi sismici con tempi origine diversi, e viene calcolata la funzione di coerenza corrispondente.

Si ottiene una matrice multidimensionale il cui massimo assoluto corrisponde alle coordinate spaziali dell'evento sismico: la coerenza assume valori compresi tra 0 e 1 (valori prossimi a 1 indicano una localizzazione molto buona).

L'incertezza nella localizzazione è calcolata iterando il processo di localizzazione al variare dei parametri per il calcolo del rapporto STA/LTA: dalla distribuzione delle localizzazioni ottenute viene calcolata una media pesata, utilizzando il valore di coerenza come peso, e una matrice pesata di covarianza: la media pesata è la migliore stima della localizzazione dell'ipocentro, mentre l'informazione sull'incertezza viene estratta dalla matrice di covarianza (Grigoli, et al., 2014). In Figura 5 e Figura 6 è mostrato il processo di localizzazione.

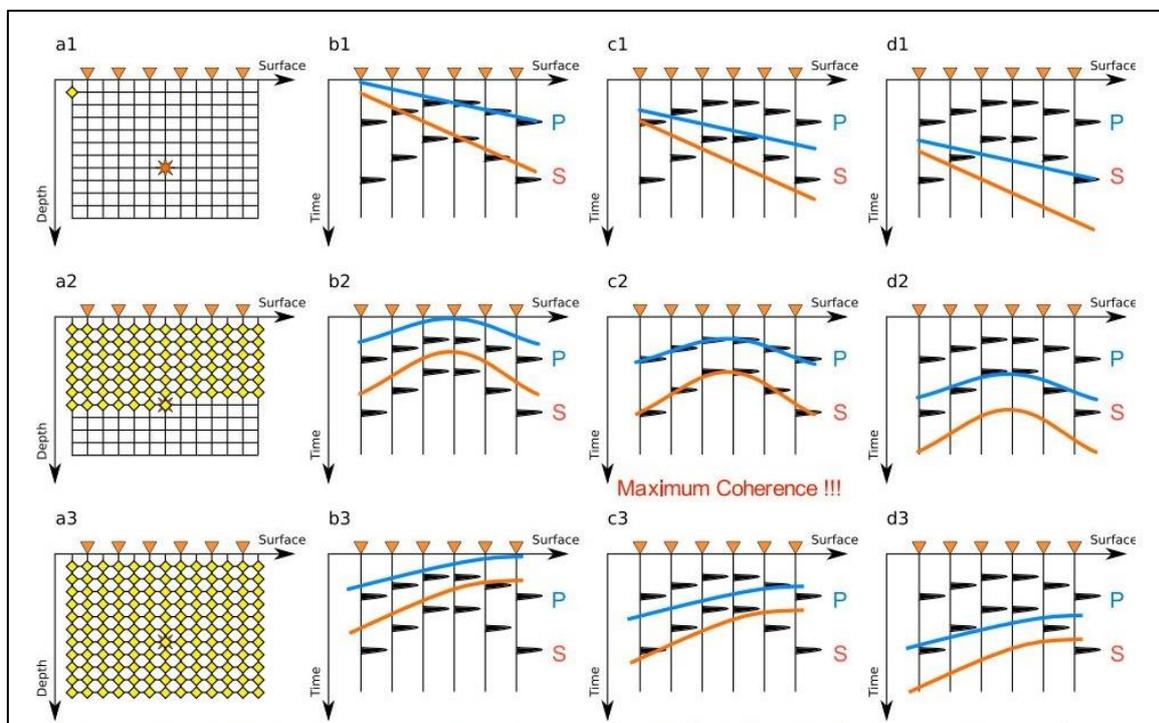


Figura 5: metodo di localizzazione tramite stacking della forma d'onda per differenti localizzazioni della sorgente (in giallo nella colonna a) e tempi origine (colonne b, c e d) (Cesca & Grigoli, 2015).

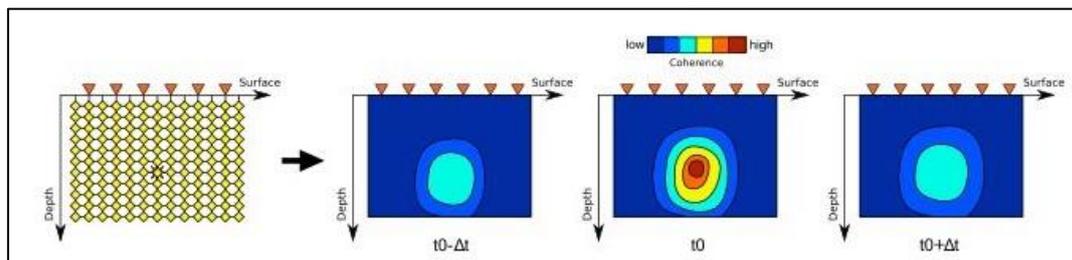


Figura 6: matrici di coerenza per differenti Δt : la massima coerenza si ha al tempo origine t_0 . (Cesca & Grigoli, 2015)

Sono state utilizzate 2 griglie di dimensioni diverse: quella più piccola comprende la zona di interesse ed è discretizzata con passo 250 m in tutte e tre le direzioni; quella più grande comprende una zona circostante la rete, entro circa 50 km, ed è discretizzata con passo 300 m.

Entrambe le griglie si estendono fino a una profondità di 50 km.

La griglia più grande è stata utilizzata per localizzare eventi sismici che ad una prima localizzazione risultavano lontani dalla rete, e/o per considerare anche i segnali acquisiti dalle vicine stazioni INGV.

Le stazioni della Rete Sismica Nazionale, gestita da INGV, presenti nell'area, sono: INGV_PTRP nella griglia più piccola, e IV_ACER, IV_CAGG e IV_CRAC, IV_MCEL, IV_MGR, IV_MIGL, IV_MRLC, IV_MTSN, IV_ORI, IV_PZUN, IV_SCHR, IV_SIRI, IV_SLCN (oltre ovviamente a INGV_PTRP) nella griglia più estesa. Per ogni evento viene indicato se le stazioni INGV sono state prese in considerazione e, in caso affermativo, quali.

In Tabella 6 l'elenco delle stazioni INGV in esse contenute.

| Nome Rete | ID Stazione | Lat. [°] | Long. [°] | Quota [Km] | Canali |
|-----------|-------------|----------|-----------|------------|--------|
| IV | ACER | 40.79 | 15.94 | 0.69 | HH* |
| | CAGG | 40.56 | 15.51 | 1.18 | EH* |
| | CRAC | 40.38 | 16.44 | 0.38 | EH* |
| | MCEL | 40.32 | 15.80 | 0.96 | HH* |
| | MGR | 40.14 | 15.55 | 0.29 | HH* |
| | MIGL | 40.60 | 16.44 | 0.44 | HH* |
| | MRLC | 40.76 | 15.49 | 0.61 | HH* |
| | MTSN | 40.27 | 15.75 | 1.06 | HH* |
| | ORI | 40.05 | 16.45 | 0.38 | HH* |
| | PTRP | 40.52 | 16.06 | 1.08 | HH* |
| | PZUN | 40.65 | 15.81 | 0.82 | HH* |
| | SCHR | 40.20 | 16.08 | 0.97 | EH* |
| | SIRI | 40.18 | 15.87 | 1.06 | HH* |
| | SLCN | 40.39 | 15.63 | 0.99 | HH* |

Tabella 6: stazioni INGV presenti nell'area racchiusa dalla griglia più grande.

Sono indicati i canali eventualmente utilizzati (l'asterisco al posto del terzo carattere, che si riferisce alla componente E, N, o Z, significa che sono stati considerati tutti e tre i canali del sensore); il primo carattere indica il tipo di sensore, se velocimetro High Broad Band (H) o Extremely Short Period (E), da nomenclatura standard del formato SEED¹.

In Figura 7 le griglie utilizzate per la localizzazione con LOKI e le stazioni in esse contenute.

¹ v. il manuale di riferimento per il formato SEED:

http://www.fdsn.org/seed_manual/SEEDManual_V2.4_Appendix-A.pdf

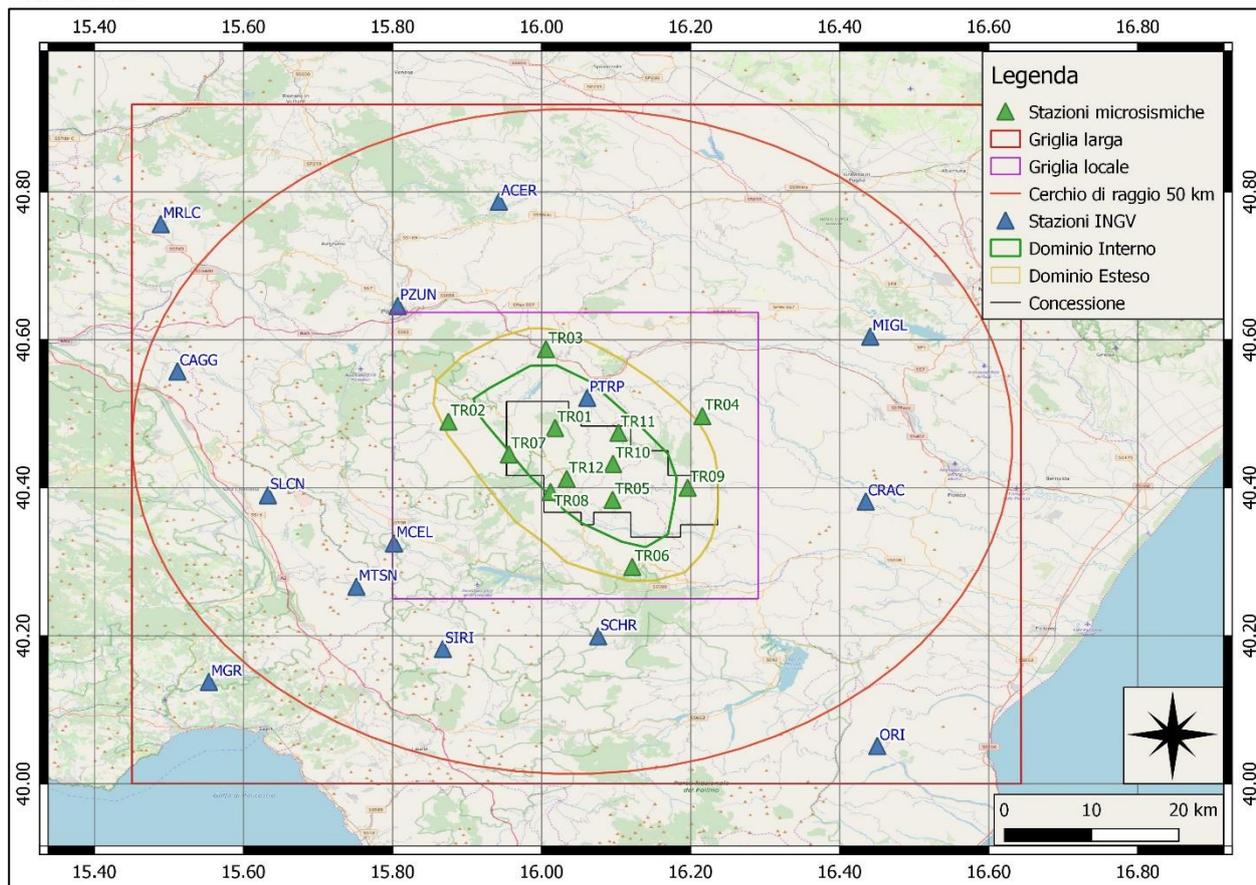


Figura 7: griglie utilizzate per la localizzazione e stazioni INGV al loro interno.

6. Eventi sismici

Nel periodo 01/01/2019 – 31/03/2019 sono stati localizzati, nella griglia più estesa, 17 eventi sismici: di questi, solamente 4 hanno l'epicentro nei Domini di Rilevazione. In Tabella 7 il numero di eventi localizzati il cui epicentro ricade nelle aree di interesse.

INGV ha localizzato altri eventi a ovest della rete ed entro 50 km dalla rete stessa: non sono qui stati localizzati poiché troppo lontani e di bassa intensità.

| Eventi con epicentro nella griglia più estesa | Eventi con epicentro nei Domini di Rilevazione | Eventi con epicentro entro i limiti della Concessione | Eventi con epicentro nel DI | Eventi con epicentro nel DE |
|---|--|---|-----------------------------|-----------------------------|
| 17 | 4 | 2 | 3 | 1 |

Tabella 7: numero di eventi localizzati e distribuzione spaziale

In Tabella 8 il dettaglio degli eventi sismici localizzati nella griglia più larga.

Gli eventi per i quali il Localizzatore indicato è DESK, sono stati localizzati con la tecnica classica del picking dei primi arrivi, perché troppo lontani dalla rete per ottenere una buona localizzazione con il metodo della coerenza delle forme d'onda oppure, in rari casi, perché rilevati da un numero non sufficiente di stazioni.

| Id | Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC] | Lat. [°] | Long. [°] | Profondità [km] | Incertezza sulla localizzazione [km] ² | M _l | Incertezza sulla magnitudo | Dist. epicentrale dalla stazione più vicina [km] | Localizzatore | Stazioni INGV usate |
|----------|---|--------------|--------------|-----------------|---|------------------|----------------------------------|--|---------------|---|
| 1 | 05/01/2019 05:01:57 | 40.73 | 16.33 | 25.3 | 1.5 | 1.7 ³ | 0.2 | 27 | LOKI | ACER – MGR – SLCN |
| 2 | 30/01/2019 08:11:19 | 40.49 | 16.00 | 11.2 | 1.6 | 1.2 | 0.4 | 2 | LOKI | ACER – MCEL – MGR – MIGL – SIRI – SLCN |
| 3 | 30/01/2019 08:11:38 | 40.50 | 15.93 | 18.0 | 1.7 | 1.2 | 0.3 | 5 | LOKI | ACER – MCEL – MIGL SIRI |
| 4 | 31/01/2019 02:49:02 | 40.54 | 15.81 | 10.0 | 0.5 | 1.2 ³ | 0.2 | 8 | DESK | |
| 5 | 31/01/2019 01:53:35 | 40.51 | 15.81 | 16.4 | 2.2 | 1.7 | 0.2 | 6 | LOKI | ACER – MCEL MGR – MIGL PZUN – SIRI SLCN |
| 6 | 01/02/2019 20:20:32 | 40.63 | 15.84 | 23.4 | 6.6 | 1.4 | 0.2 | 15 | LOKI | ACER – MCEL MGR – MRLC PZUN – SIRI SLCN |
| 7 | 04/02/2019 15:35:41 | 40.50 | 15.98 | 17.7 | 0.9 | 1.7 | 0.3 | 4 | LOKI | ACER – MCEL MGR – SLCN |
| 8 | 20/02/2019 16:32:44 | 40.55 | 16.12 | 30.8 | 0.5 | 2.4 | 0.3 | 8 | DESK | |
| 9 | 20/02/2019 19:30:17 | 40.01 | 15.57 | 11.2 | - | 2.0 | 0.2 | 57 | DESK | |
| 10 | 22/02/2019 01:54:07 | 40.61 | 16.27 | 28.4 | 0.5 | 1.6 | 0.2 | 13 | DESK | |
| 11 | 26/02/2019 09:49:11 | 40.10 | 15.83 | 7.1 | 7.3 | 1.6 ³ | 0.2 | 32 | Desk | |
| 12 | 28/02/2019 12:05:39 | 40.57 | 15.67 | 40.4 | 2.5 | 1.3 | 0.2 | 20 | DESK | |
| 13 | 08/03/2019 22:37:28 | 40.59 | 15.81 | 35.4 | 0.8 | 0.9 | 0.2 | 12 | DESK | |
| 14 | 13/03/2019 14:41:37 | 40.67 | 15.68 | 23.3 | 0.8 | 2.3 | 0.1 | 26 | DESK | |
| 15 | 14/03/2019 00:10:52 | 40.73 | 15.73 | 13.7 | 1.6 | 2.0 | 0.1 | 28 | DESK | |
| 16 | 14/03/2019 05:24:12 | 40.21 | 15.87 | 10.4 | 0.5 | 1.0 | 0.4 | 24 | DESK | |
| 17 | 15/03/2019 15:40:12 | 40.69 | 15.70 | 14.1 | 3.1 | 1.0 | 0.1 | 27 | DESK | |

Tabella 8: eventi sismici localizzati nella griglia più larga.

² Raggio della sfera centrata sull'ipocentro

³ Magnitudo locale calcolata da INGV

Gli eventi con sfondo verde hanno epicentro nei Domini di Rilevazione; gli eventi in grassetto e con i bordi in rosso hanno epicentro nella Concessione e l'ipocentro si trova a profondità ≥ 11.2 km.

In Figura 8 gli epicentri degli eventi sismici.

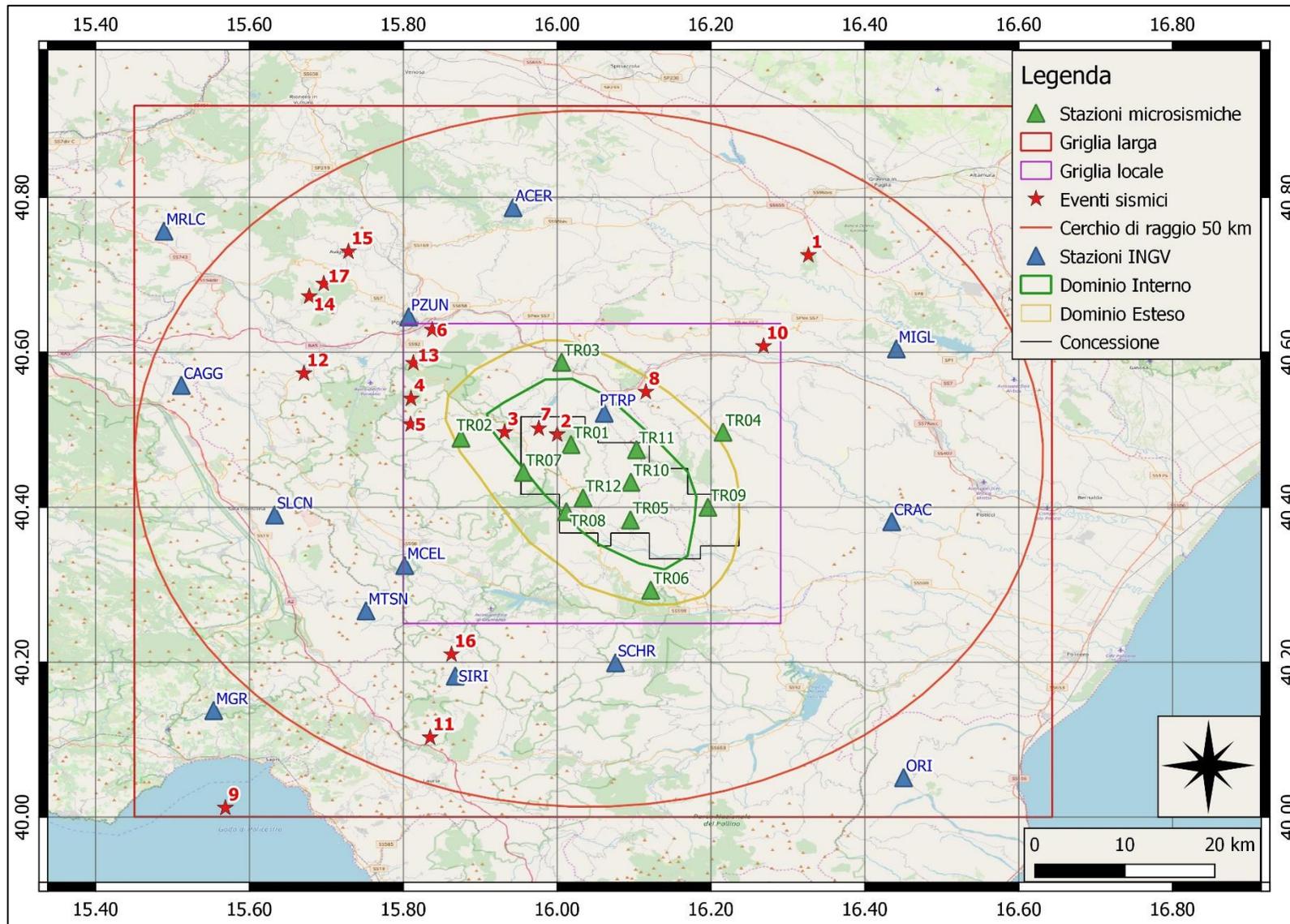


Figura 8: eventi sismici localizzati

In Figura 9 il numero di eventi sismici suddivisi per magnitudo locale, localizzati nella griglia più estesa.

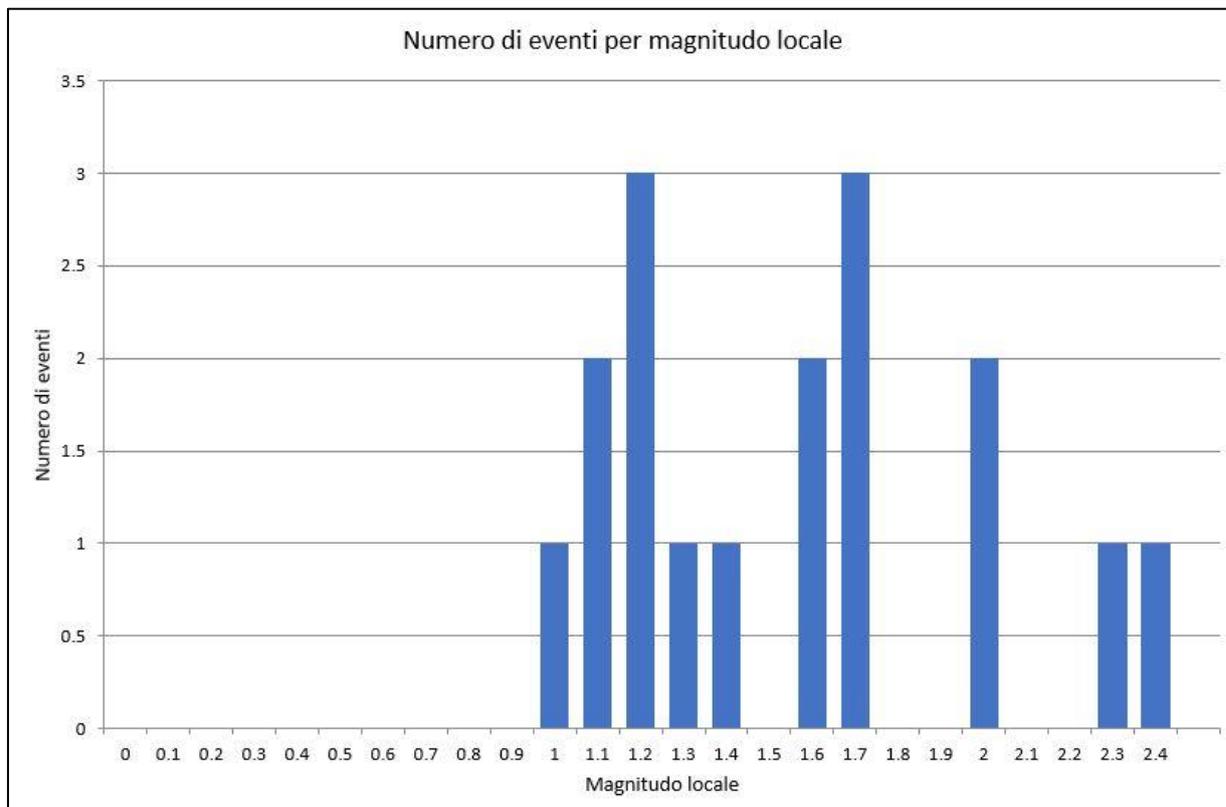


Figura 9: numero di eventi per magnitudo locale nel periodo gennaio-marzo 2019.

In Figura 10 la distribuzione di magnitudo locale degli eventi localizzati.

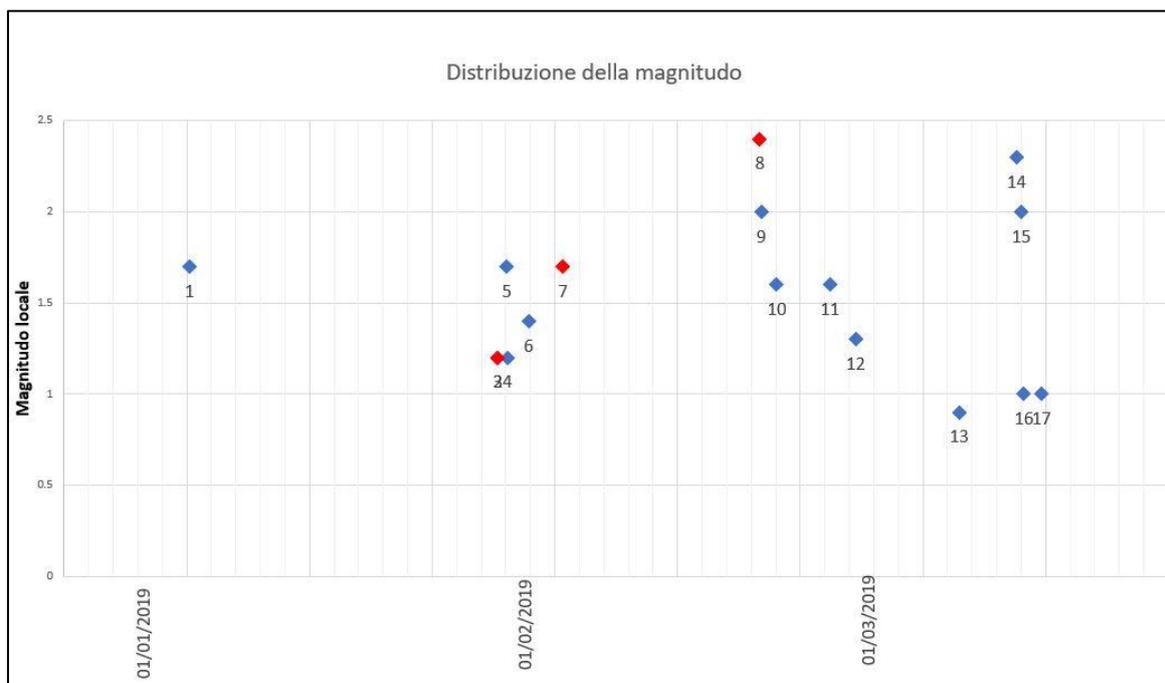


Figura 10: distribuzione di magnitudo locale nel periodo gennaio-marzo 2019, degli eventi sismici localizzati nella griglia più larga: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.

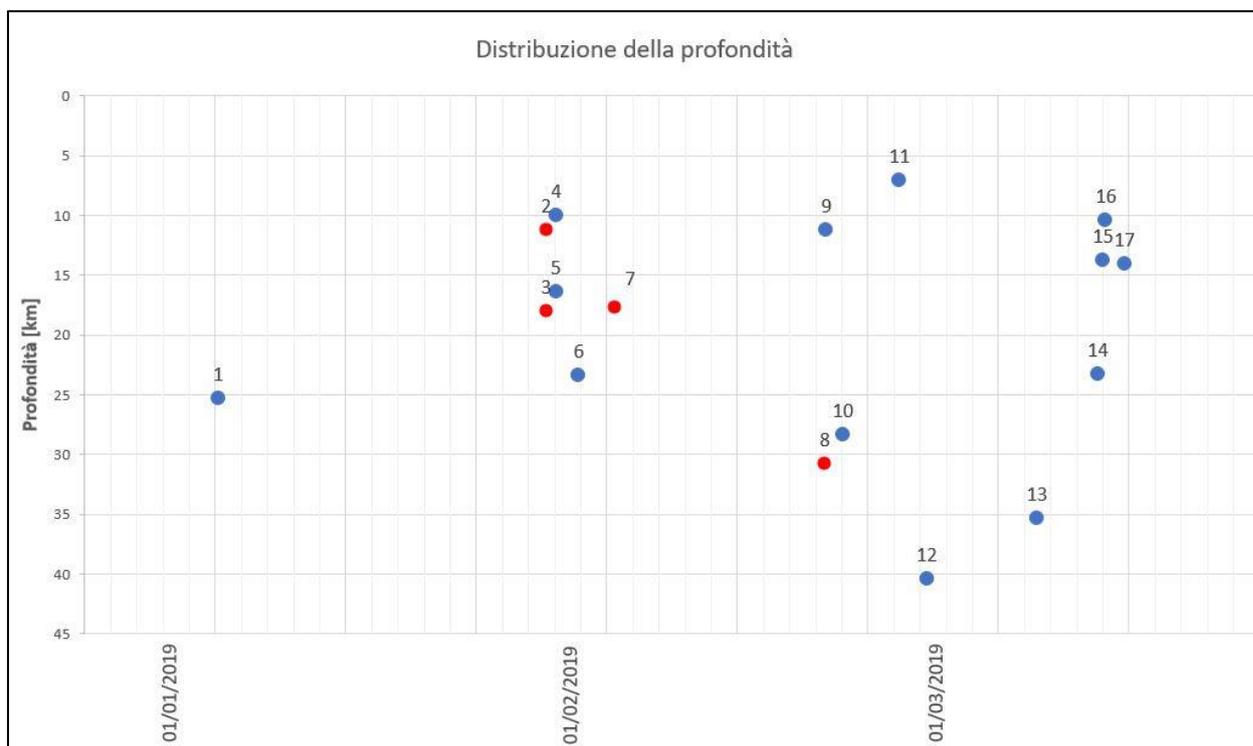


Figura 11: distribuzione delle profondità degli eventi sismici rilevati: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.

In Figura 11 la distribuzione delle profondità degli eventi sismici localizzati nella griglia più larga.

Opere citate

- Aki, K., & Richards, P. (1980). *Quantitative seismology - Theory and Methods* (Vol. II). W. H. Freeman and Company.
- Anderson, J., & Hough, S. (1984). A model for the shape of Fourier amplitude spectrum of acceleration at high frequencies. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 74(5), 1969-1993.
- Beyreuther, M., Barsch, R., Krischer, L., Megies, T., Behr, T., & Wassermann, J. (2010). ObsPy: A Python Toolbox for Seismology. *Seismological Research Letters*, 81(3), 530-533. doi:10.1785/gssrl.81.3.530
- Brune, J. N. (1970). Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 75, 4997-5009. doi:10.1029/JB075i026p04997
- Brune, J. N. (1971). Correction to tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 76, 5002.
- Castro, R., Pacor, F., Puglia, R., Ameri, G., Letort, J., Massa, M., & Luzi, L. (2013). The 2012 May 20 and 29 Emilia earthquakes (Northern Italy) and the main aftershocks: S-wave attenuation, acceleration source functions and site effects. *Geophysical Journal International*, 195, 597-611. doi:10.1093/gji/ggt245
- Cesca, S., & Grigoli, F. (2015). Full Waveform Seismological Advances for Microseismic Monitoring. In *Advances in Geophysics* (Vol. 56, pp. 169-228). Elsevier. doi:https://doi.org/10.1016/bs.agph.2014.12.002
- Dialuce, G., Chiarabba, C., Di Bucci, D., Doglioni, C., Gasparini, P., Lanari, R., . . . Zollo, A. (2014). Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche.
- Edwards, B., Allmann, B., Faeh, D., & Clinton, J. (2010). Automatic computation of moment magnitudes for small earthquakes and the scaling of local to moment magnitude. *Geophysical Journal International*, 183, 407-420. doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04743.x
- Franceschina, G., Augliera, P., Lovati, S., & Massa, M. (2015). Surface seismic monitoring of a natural gas storage reservoir in the Po Plain (Northern Italy). *Bollettino di Geofisica teorica e Applicata*, 56(4), 489-504. doi:10.4430/bgta0165
- Franceschina, G., Pacor, F., Zonno, G., Ameri, G., Cultrera, G., Cirella, A., . . . Convertito, V. (Eds.). (2007). Progetti sismologici di interesse per il DPC - Progetto S3 - Scenari di scuotimento in aree di interesse prioritario e/o strategico - Task 1 - Scenari di scuotimento - Deliverable D1 Linee guida per il calcolo degli scenari di scuotimento. Retrieved from http://esse3.mi.ingv.it/deliverables/Deliverable_S3_D1.pdf
- Goertz, A., Kraft, T., & Riahi, N. (2012). Modeling detection thresholds of microseismic monitoring networks. *SEG Technical Program Expanded Abstract*. doi:10.1190/segam2012-1069.1

- Grigoli, F., Cesca, S., Amoroso, O., Emolo, A., Zollo, A., & Dahm, T. (2014, Gennaio). Automated seismic event location by waveform coherence analysis. *Geophysical Journal International*, 1742-1753. doi:<http://doi.org/10.1093/gji/ggt477>
- Heimann, S., Kriegerowski, M., Isken, M., Cesca, S., Daout, S., Grigoli, F., . . . Willey, T. D. (2017). Pyrocko - An open-source seismology toolbox and library. V. 0.3. GFZ Data Services. doi:<http://doi.org/10.5880/GFZ.2.1.2017.001>
- Lahr, J. (2002). *Hypoellipse: A computer program for determining local earthquake hypocentral parameters, magnitude, and first motion pattern* (Vols. Open File Report 99-23). United States Geological Survey. Retrieved from <https://pubs.usgs.gov/of/1999/ofr-99-0023/>
- Lee, W., & Lahr, J. (1975). *Hypo71 (Revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes* (Vols. Open File Report 75-311). United States Geological Survey.
- Maggi, C., Frepoli, G., Console, R., & Chiappini, M. (2009, Gennaio). Recent seismicity and crustal stress field in the Lucanian Apennines and surrounding areas (Southern Italy): Seismotectonic implications. *Tectonophysics*, 463(1-4), 130-144. doi:10.1016/j.tecto.2008.09.032
- Pacor, F., Zonno, G., Cultrera, G., Cirella, A., Herrero, A., Tinti, E., . . . Basili, R. (Eds.). (2007). Progetti sismologici di interesse per il DPC - Progetto S3 - Scenari di scuotimento in aree di interesse prioritario e/o strategico - Task 5 - Potenza - Deliverables D17 Bedrock shaking scenarios. Retrieved from http://esse3.mi.ingv.it/deliverables/Deliverables_S3_D17.pdf
- Peterson, J. (1993). *Observations and modeling of seismic background noise*. U.S. Geological Survey. doi:10.3133/ofr93322
- Piccinini, D., Improta, L., Anselmi, M., Moretti, M., Fracassi, U., Buttinelli, M., . . . Vallocchia, M. (2016). *Monitoraggio sismico di baseline - Campagna di sismica passiva per lo studio della sismicità di fondo nell'area della Concessione Gorgoglione*.
- Regione Basilicata. (2018). *Database geotopografico della Regione Basilicata*. Retrieved from <http://rsdi.regione.basilicata.it/>
- Saccorotti, G., Piccinini, D., Cauchie, L., & Fiori, I. (2011). Seismic Noise by Wind Farms: a Case Study from the VIRGO Gravitational Wave Observatory, Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America*. doi:10.1785/0120100203
- Solgeo srl. (2018). *Manuale Hw rete microsismica Gorgoglione - Descrizione rete - Schede stazioni - Schemi d'impianto - Collegamenti elettrici*.
- Trnkoczy, A. (1999;2002). Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm. In P. Bormann, *New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP-2)* (p. 20). Potsdam: IASPEI, GFZ German Research Centre for Geosciences. doi:10.2312/GFZ.NMSOP-2_IS8.1

