

TOTAL E&P ITALIA S.P.A.

*Rete di monitoraggio microsismico installata presso la
concessione Gorgoglione*

Rapporto periodico di monitoraggio settembre – dicembre 2018

Oggetto: Rete microsismica Tempa Rossa - Report settembre – dicembre 2018

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

ref

S18MN04-1

Autore

Date

Chiara Cocorullo

4 February 2019

Checked By

date

Filippo Di Fronzo – Stefano Limonta

4 February 2019

Cod.

Version

S18MN04-1

Rev. 1 - 4 February 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 – Gennaio 2019	1 ^a Emissione
Rev. 1 – Febbraio 2019	1 ^a 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	7
4. Procedura di elaborazione dati	8
4.1. Modello di velocità	9
5. Eventi sismici entro 50 km dalla rete.....	10
Opere citate.....	19
Tabella 1: coordinate delle stazioni microsismiche (WGS84) e strumentazione installata.	5
Tabella 2: parametri del trigger STA/LTA.....	8
Tabella 3: modello di velocità (Maggi, Frepoli, Console, & Chiappini, 2009)	9
Tabella 4: numero di eventi localizzati e distribuzione spaziale	11
Tabella 5: eventi sismici localizzati entro 50 km dalla rete di monitoraggio.	14
Figura 1: rete microsismica. Proiezioni in superficie dei Domini di rilevazione e, in nero, i limiti della Concessione...	5
Figura 2: percentuale di funzionamento della rete nel periodo settembre - dicembre 2018.....	7
Figura 3: il sensore a banda larga: a sinistra fuori asse, a destra in asse	7
Figura 4: modello di velocità (Maggi, Frepoli, Console, & Chiappini, 2009)	10
Figura 5: eventi sismici localizzati entro 50 km dalla rete	15
Figura 6: eventi sismici con epicentro nei Domini di Rilevazione	16
Figura 7: numero di eventi per magnitudo locale nel periodo settembre-dicembre 2018, entro 50 km dalla rete ...	17
Figura 8: distribuzione di magnitudo locale nel periodo settembre-dicembre 2018, entro 50 km dalla rete: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.	17
Figura 9: distribuzione delle profondità degli ipocentri degli eventi sismici localizzati entro i Domini di Rilevazione.	18

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 documento di progettazione della rete 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 alla progettazione della rete redatta 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 settembre-dicembre 2018, vengono descritti:

- lo stato di funzionamento della rete;
- la procedura di elaborazione dati;
- gli eventi sismici localizzati entro 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.

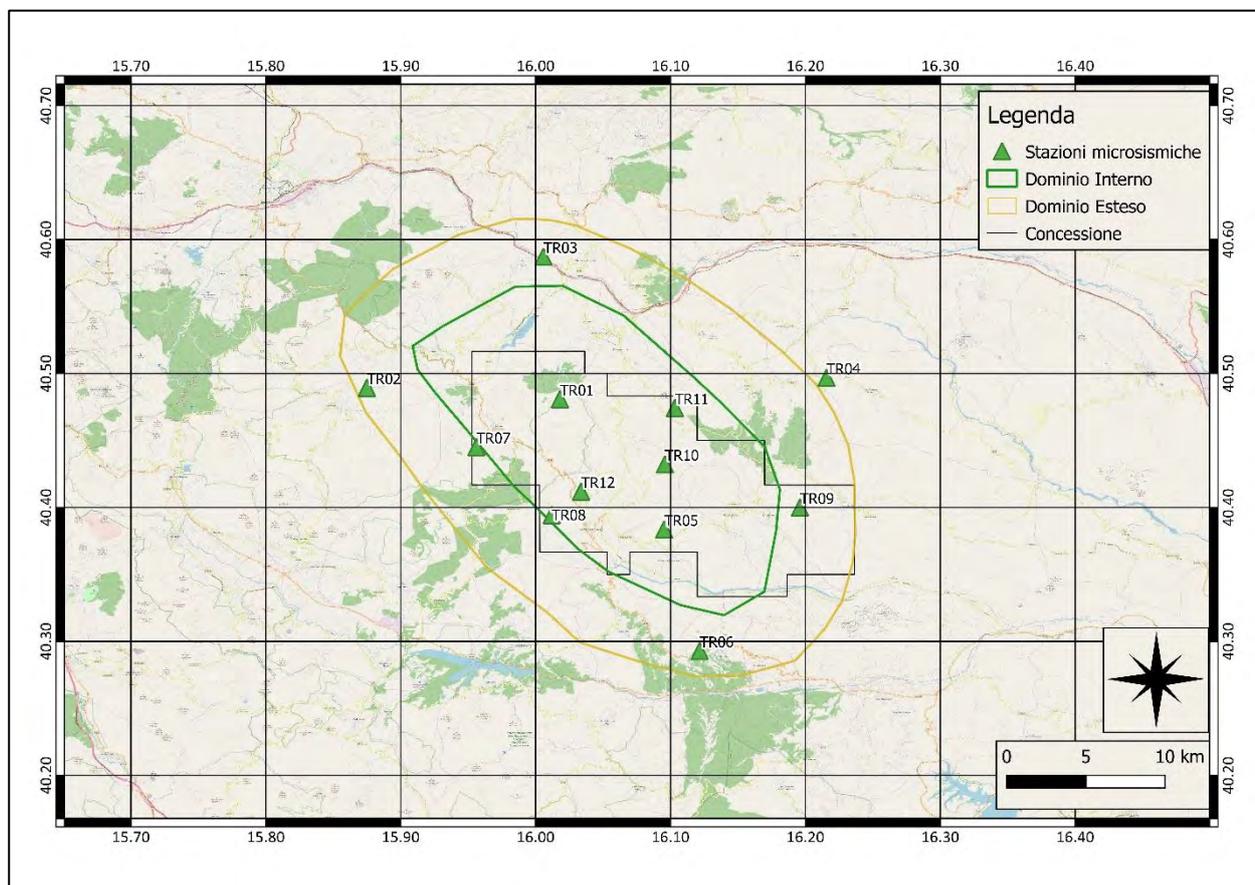


Figura 1: rete microsismica. Proiezioni in superficie dei Domini di rilevazione e, in nero, i limiti della Concessione.

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	Galicchio	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 il voltaggio delle batterie, è monitorato in tempo reale dal software SEISMOSTRU.

3.1. Copertura dei dati

Nel periodo di riferimento (01/09/2018 – 31/12/2018), la rete nel suo complesso ha garantito una copertura dei dati pari a 99.7%.

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...). Per il mese in cui una data stazione è stata installata, la percentuale di funzionamento mensile è stata calcolata a partire dal giorno successivo a quello di installazione della stazione stessa.

Si segnala che il sismometro Broad Band è, tuttora, spesso fuori asse, a causa degli assestamenti del terreno successivi alla costruzione dell'opera civile: per tale motivo i dati del periodo settembre-dicembre 2018 del sensore a banda larga sono stati esclusi dal calcolo della copertura della rete. In Figura 3 il sensore BB, prima e dopo allineamento.

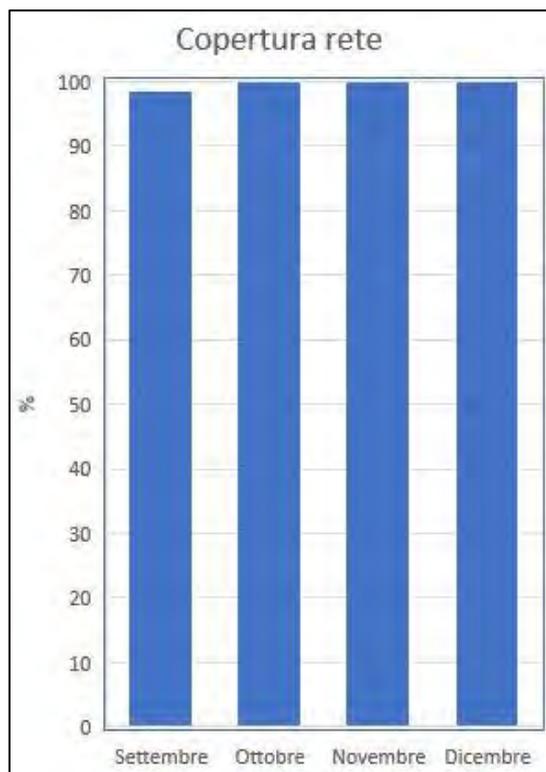


Figura 2: percentuale di funzionamento della rete nel periodo settembre - dicembre 2018



Figura 3: il sensore a banda larga: a sinistra fuori asse, a destra in asse

3.2. Sostituzioni

Nel periodo di riferimento non sono state effettuate sostituzioni.

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 2 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 2: 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;
- picking automatico;
- controllo manuale ed eventuale correzione del picking;

- localizzazione con HypoEllipse.

4.1. Modello di velocità

Il modello crostale utilizzato è quello di (Maggi, Frepoli, Console, & Chiappini, 2009), descritto in Tabella 3 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 3: modello di velocità (Maggi, Frepoli, Console, & Chiappini, 2009)

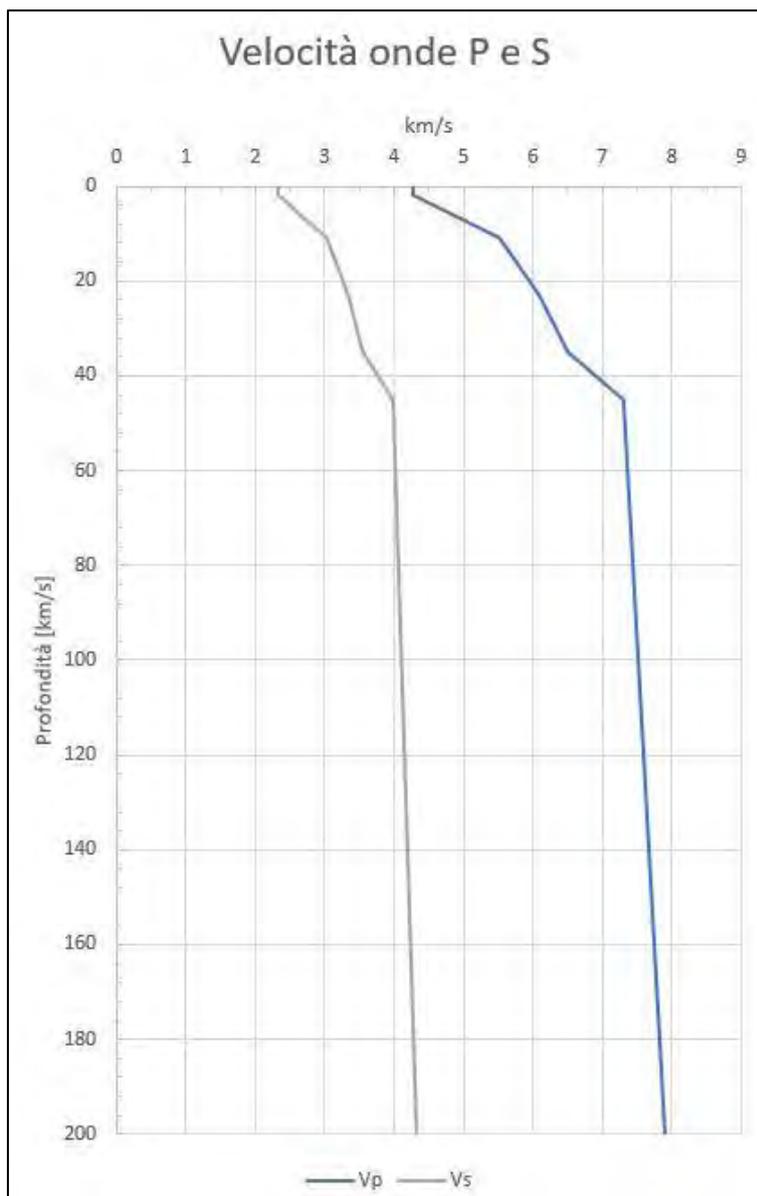


Figura 4: modello di velocità (Maggi, Frepoli, Console, & Chiappini, 2009)

5. Eventi sismici entro 50 km dalla rete

Nel periodo 01/09/2018 – 31/12/2018 sono stati localizzati 132 eventi sismici. Vengono di seguito riportati i 50 eventi sismici localizzati entro 50 km dalla rete di monitoraggio: di questi, solamente 12 hanno l'epicentro nei Domini di Rilevazione. In Tabella 4 il numero di eventi localizzati il cui epicentro ricade nelle aree di interesse.

Eventi localizzati	Eventi con epicentro entro 50 km dalla rete	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
132	50	12	5	7	5

Tabella 4: numero di eventi localizzati e distribuzione spaziale

In Tabella 5 il dettaglio degli eventi sismici localizzati entro 50 km dalla rete di monitoraggio.

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. (°)	Long. (°)	Incertezza sulla localizzazione ¹ [km]	Profondità [km]	Deviazione standard della profondità [km]	M _i	Incertezza sulla magnitudo	RMS ² [s]	Gap ³ [°]	N. Fasi ⁴	Dist. epicentrale dalla stazione più vicina [km]
1	09/09/2018 03:07:53	40.54	15.67	0.9	21.1	1.5	1.2	0.2	0.3	314	17	18.5
2	09/09/2018 03:43:06	40.58	15.69	0.8	22.6	1.1	1.4	0.2	0.4	317	22	18.6
3	09/09/2018 19:39:43	40.36	16.34	0.5	23.5	0.7	0.7	0.2	0.2	282	16	12.8
4	12/09/2018 21:48:11	40.48	16.40	0.5	32.6	0.5	1.7	0.2	0.3	299	27	15.9
5	16/09/2018 01:23:40	40.61	15.87	0.7	27.9	0.6	0.8	0.3	0.3	309	16	12.2
6	16/09/2018 18:58:43	40.36	15.72	1.8	65.7	1.1	1.1	0.2	2.1	320	10	19.1
7	19/09/2018 22:07:45	40.35	16.15	0.7	16.6	0.8	0.1	0.2	0.6	183	10	5.9
8	21/09/2018 11:54:21	40.24	15.76	1.6	19.1	2.5	0.6	0.4	0.5	301	16	27.9
9	22/09/2018 17:08:10	40.49	15.80	0.5	17.0	0.3	1.3	0.2	0.5	320	22	6.6
10	22/09/2018 17:11:36	40.52	15.79	0.3	16.0	0.3	1.7	0.2	0.5	296	40	8.0
11	23/09/2018 00:32:18	40.23	15.84	0.3	13.0	0.9	1.8	0.3	0.6	293	40	23.6
12	23/09/2018 13:55:06	40.33	15.82	0.6	31.8	0.6	0.4	0.2	1.2	277	19	17.9
13	26/09/2018 22:51:03	40.39	15.88	0.8	35.7	0.5	1.1	0.2	0.8	239	21	8.7
14	29/09/2018 18:35:45	40.43	16.25	0.3	14.0	0.3	1.0	0.3	0.6	239	31	5.6
15	29/09/2018 19:10:12	40.43	16.23	0.3	12.3	0.3	0.2	0.3	0.5	221	20	4.0
16	30/09/2018 02:43:33	40.30	16.29	0.9	29.7	0.5	1.2	0.3	0.4	282	16	13.6
17	30/09/2018 18:08:42	40.52	16.11	0.2	19.7	0.3	0.9	0.1	0.4	160	42	5.4
18	07/10/2018 00:12:16	40.34	16.14	0.2	10.2	0.3	0.3	0.3	0.8	124	22	3.5
19	10/10/2018 15:30:04	40.40	15.79	0.4	14.0	0.5	0.8	0.3	0.4	282	26	12.3
20	12/10/2018 22:35:58	40.50	16.23	0.2	15.5	0.3	1.8	0.3	1.0	258	41	1.4

¹ $\sqrt{SDX^2 + SDY^2}$, con SDX e SDY deviazioni standard in latitudine e longitudine

² Errore quadratico medio dei residui dei travelttime

³ La massima separazione azimutale, in gradi, tra le stazioni utilizzate per la localizzazione

⁴ Numero di letture dei primi arrivi delle onde P e S

21	20/10/2018 13:55:45	40.51	16.05	0.2	12.7	0.4	0.4	0.2	0.5	120	21	4.2
22	21/10/2018 01:47:00	40.69	15.72	0.5	35.1	0.4	1.9	0.1	0.8	326	36	26.0
23	22/10/2018 13:36:40	40.43	16.35	0.5	12.3	0.5	0.6	0.2	0.5	313	16	13.3
24	25/10/2018 23:00:34	40.81	16.22	1.6	29.8	3.5	-	-	1.7	325	9	31.0
25	27/10/2018 07:36:25	40.34	16.29	0.3	15.9	0.3	2.1	0.2	0.6	269	42	10.1
26	27/10/2018 12:58:04	40.45	16.34	0.3	21.7	0.3	2.8	0.3	1.1	288	38	11.0
27	27/10/2018 13:47:42	40.39	16.30	0.3	17.8	0.3	1.7	0.2	0.5	265	38	10.4
28	28/10/2018 01:14:34	40.42	16.35	0.3	15.1	0.4	1.7	0.3	0.9	289	36	13.6
29	28/10/2018 01:35:44	40.39	16.31	0.3	15.5	0.4	1.0	0.2	0.3	269	26	13.0
30	03/11/2018 00:45:45	40.46	16.17	0.2	6.7	0.3	0.3	0.2	0.9	112	23	5.5
31	05/11/2018 06:22:15	40.48	15.82	0.3	12.7	0.3	2.0	0.3	0.8	285	41	5.1
32	11/11/2018 03:56:42	40.11	15.89	0.4	9.4	0.3	1.6	0.3	0.2	314	26	28.4
33	11/11/2018 05:34:46	40.10	15.84	0.4	8.1	0.5	0.9	0.2	0.4	316	21	32.4
34	19/11/2018 13:07:02	40.37	16.46	0.5	16.5	0.8	1.9	0.3	1.7	309	21	22.5
35	04/12/2018 18:09:23	40.70	16.02	0.4	25.3	0.4	1.2	0.3	0.4	295	34	12.1
36	05/12/2018 16:23:28	40.44	16.09	1.4	49.1	1	-	-	0.3	59	13	0.7
37	08/12/2018 07:57:08	40.47	16.23	0.5	22.5	0.5	0.5	0.2	0.8	219	18	2.8
38	12/12/2018 17:49:15	40.70	15.81	0.5	22.7	0.6	1.1	0.2	0.4	316	23	20.8
39	16/12/2018 19:23:29	40.48	16.15	0.5	11.9	0.5	0.1	0.2	0.7	155	11	4.2
40	20/12/2018 02:22:44	40.46	16.00	0.4	21.2	0.5	0.4	0.2	0.8	77	18	3.0
41	20/12/2018 04:56:05	40.03	16.33	3.1	96.5	2.4	2.0	0.1	0.5	334	17	34.1
42	21/12/2018 06:24:46	40.36	16.09	0.2	7.8	0.5	0.1	0.4	0.9	139	19	2.5
43	21/12/2018 14:20:26	40.50	15.73	0.6	19.7	0.4	1.0	0.3	0.7	312	23	12.7
44	26/12/2018 18:59:28	40.63	16.18	0.4	22.1	0.5	1.1	0.1	0.4	285	33	15.1
45	27/12/2018 02:05:26	40.00	15.90	0.6	24.4	1.3	1.7	0.2	0.8	328	20	37.5
46	27/12/2018 18:02:48	40.33	16.27	1.0	34.2	0.8	1.1	0.3	0.6	265	15	9.9
47	28/12/2018 02:28:58	40.64	15.77	0.3	20.6	0.4	2.5	0.3	0.6	314	38	18.7
48	28/12/2018 14:06:39	40.40	15.66	3.3	0.1	3.9	0.9	0.3	0.6	315	18	20.3

49	29/12/2018 07:15:57	40.73	16.54	1.0	45.5	1.5	1.8	0.2	1.0	331	12	37.6
50	30/12/2018 13:13:27	40.37	16.17	0.4	13.6	0.7	0.0	0.4	0.7	180	13	4.1

Tabella 5: eventi sismici localizzati entro 50 km dalla rete di monitoraggio.

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 ≥ 10.2 km. L'evento dell'8/12 (ID 37) dista 500 m dal Dominio Esteso, ma poiché l'errore sulla localizzazione è pari a 500 m è stato considerato tra gli eventi con epicentro che ricade nei Domini.

In Figura 5 gli epicentri dei 50 eventi sismici localizzati entro 50 km dalla rete.

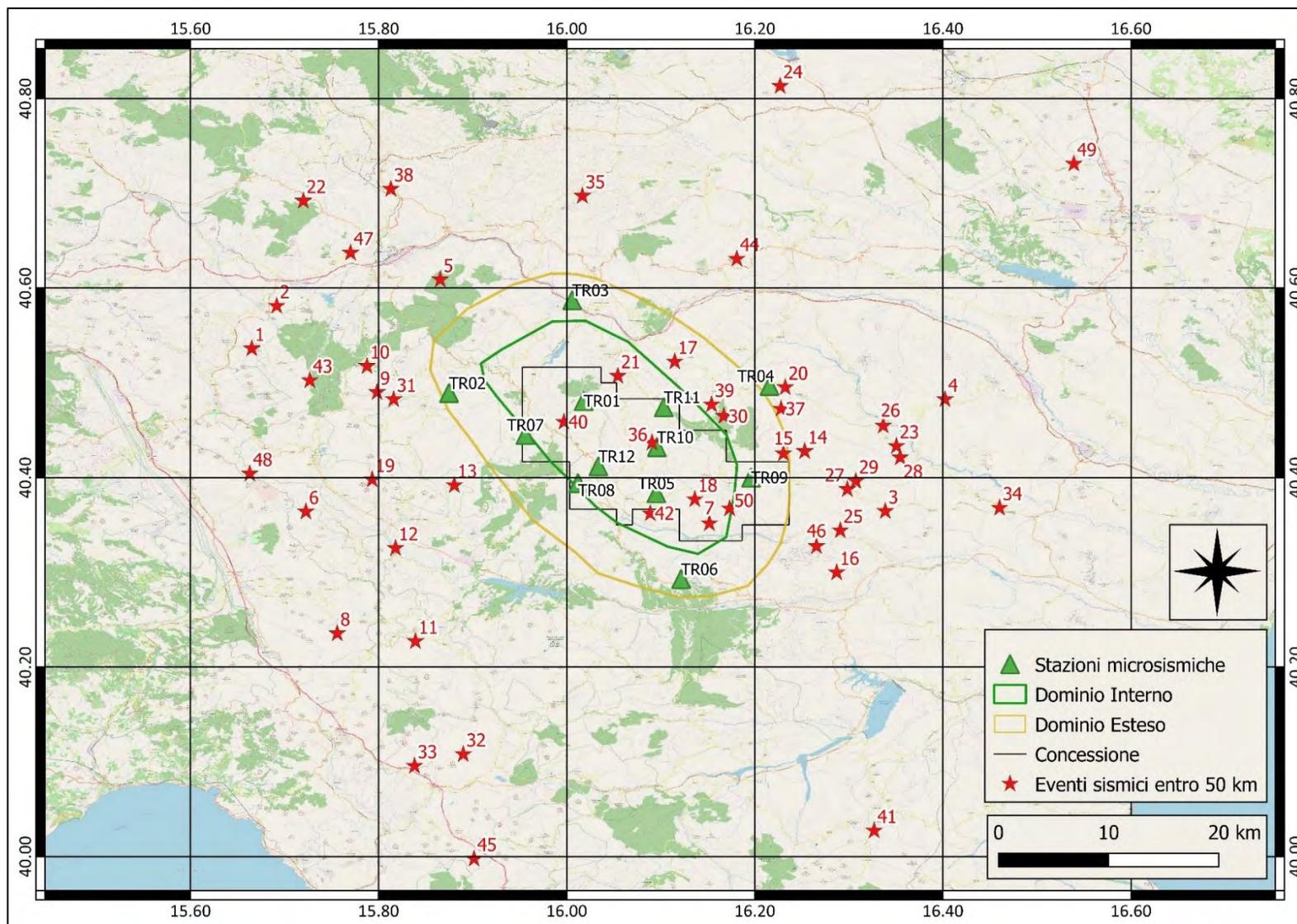


Figura 5: eventi sismici localizzati entro 50 km dalla rete

In Figura 6 gli eventi sismici il cui epicentro ricade all'interno dei Domini di Rilevazione.

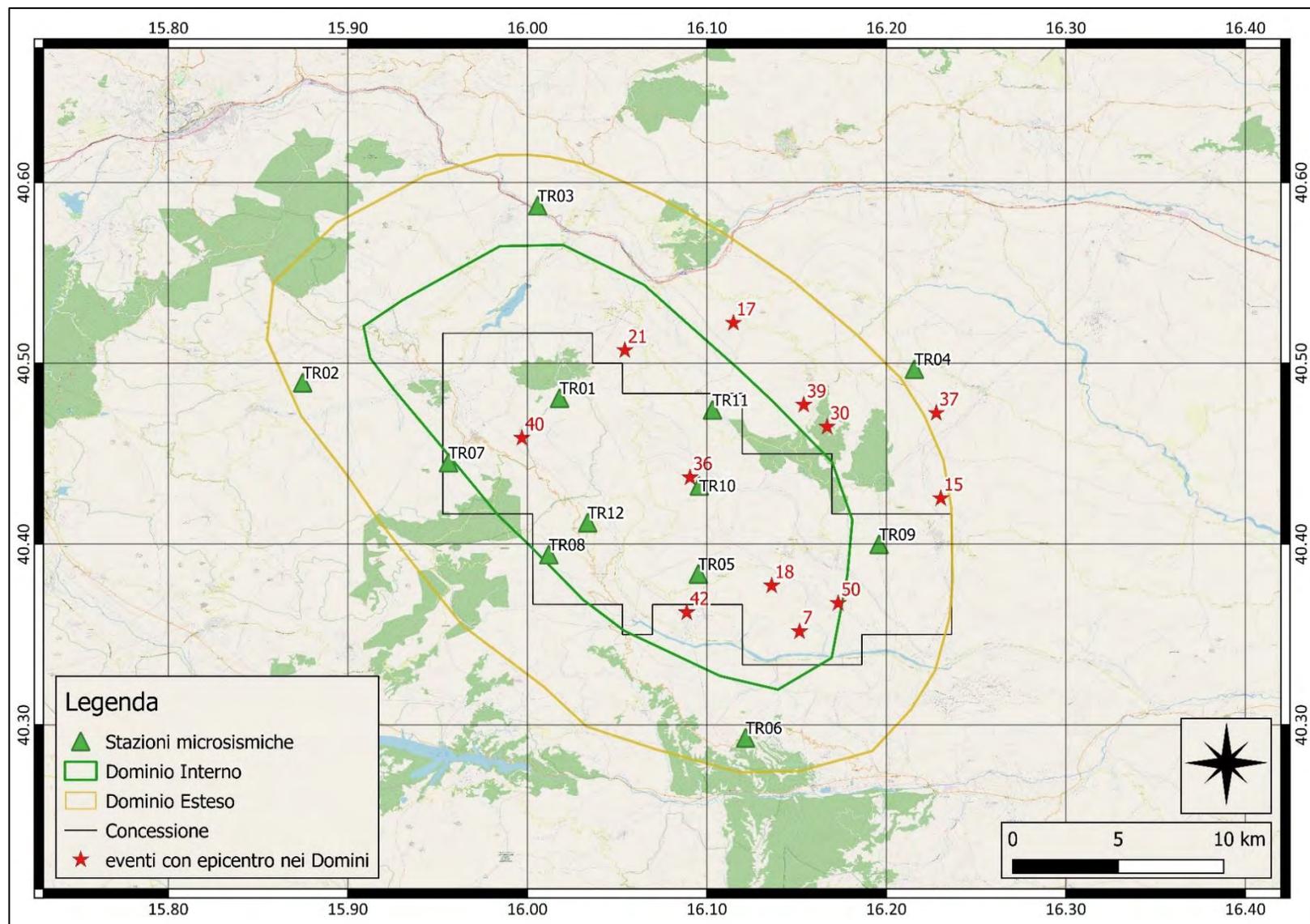


Figura 6: eventi sismici con epicentro nei Domini di Rilevanza

In Figura 7 il numero di eventi sismici suddivisi per magnitudo locale, localizzati entro 50 km dalla rete.

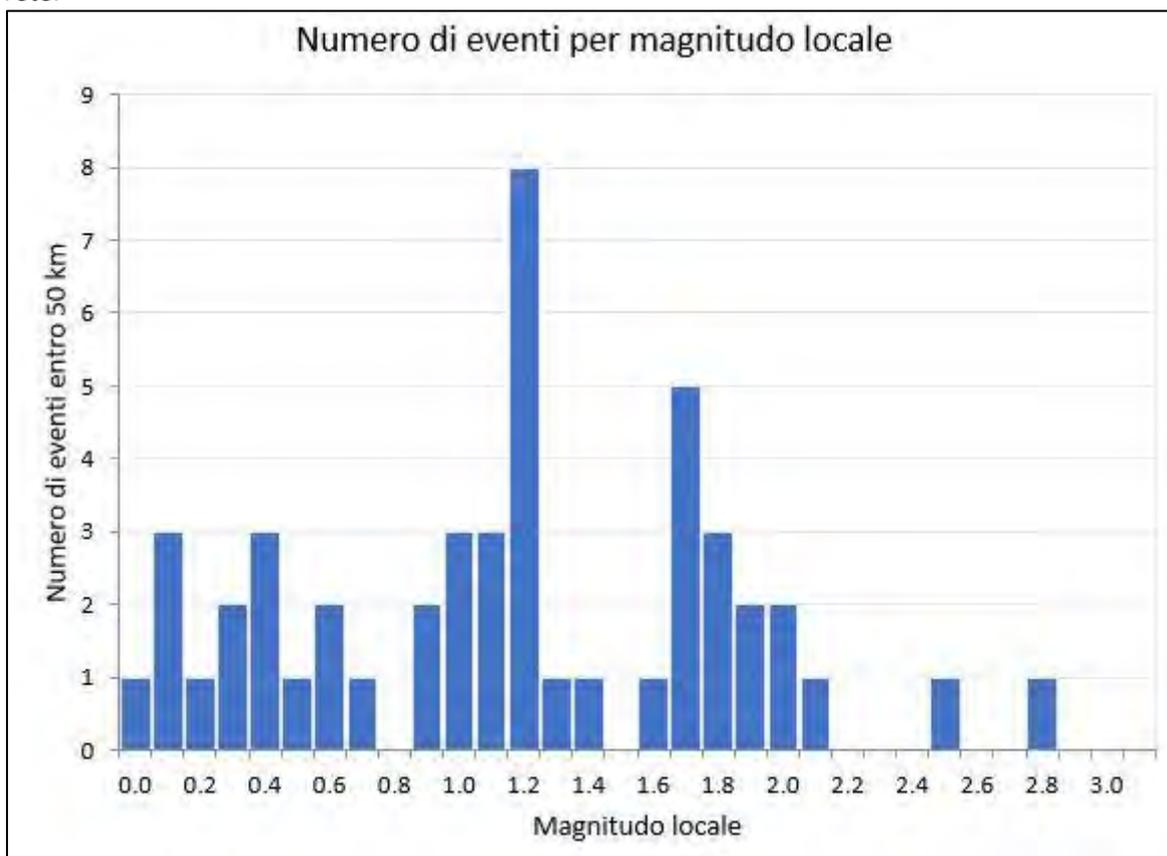


Figura 7: numero di eventi per magnitudo locale nel periodo settembre-dicembre 2018, entro 50 km dalla rete

In Figura 8 la distribuzione di magnitudo locale degli eventi localizzati entro 50 km dalla rete.

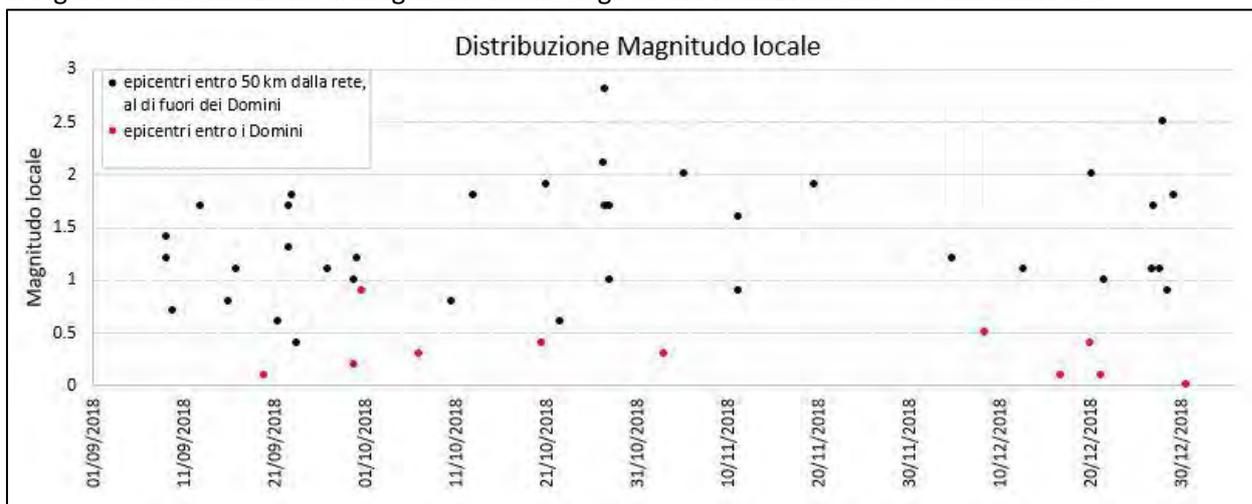


Figura 8: distribuzione di magnitudo locale nel periodo settembre-dicembre 2018, entro 50 km dalla rete: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.

In Figura 9 la distribuzione delle profondità degli eventi sismici il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.

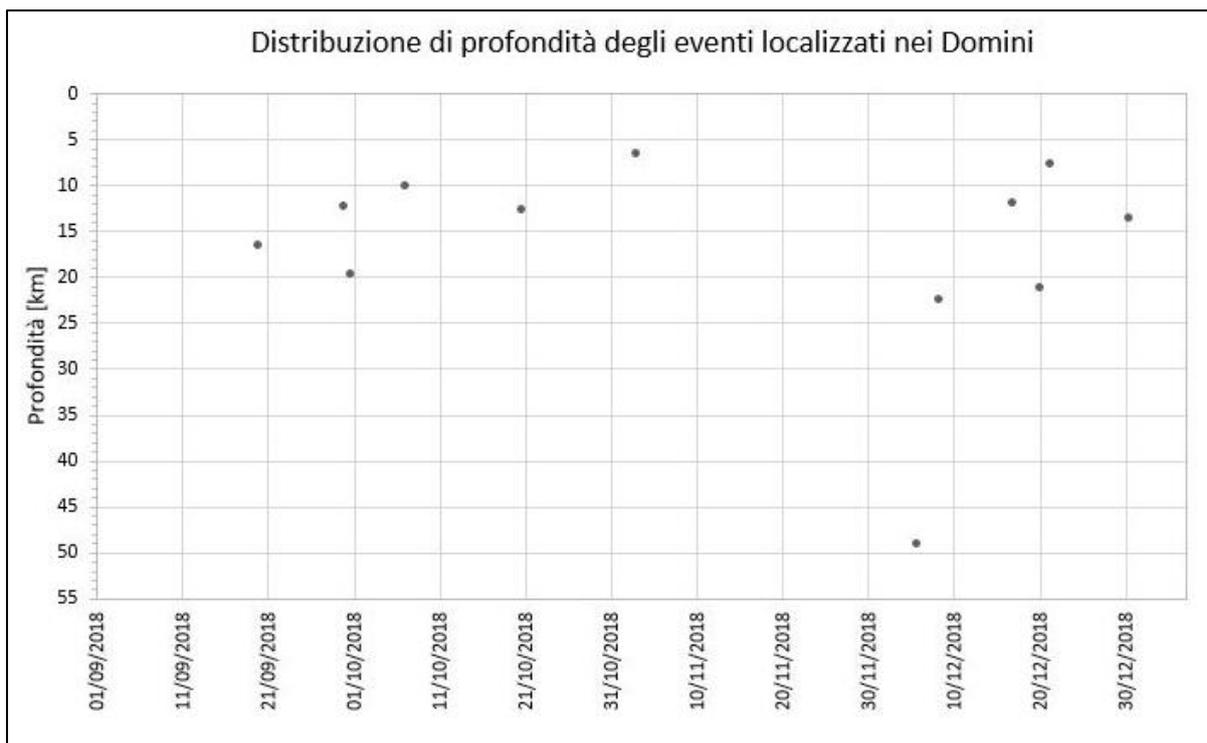


Figura 9: distribuzione delle profondità degli ipocentri degli eventi sismici localizzati entro i Domini di Rilevazione.

Opere citate

- 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.
- 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
- 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 Gorgolione.*
- 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

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.

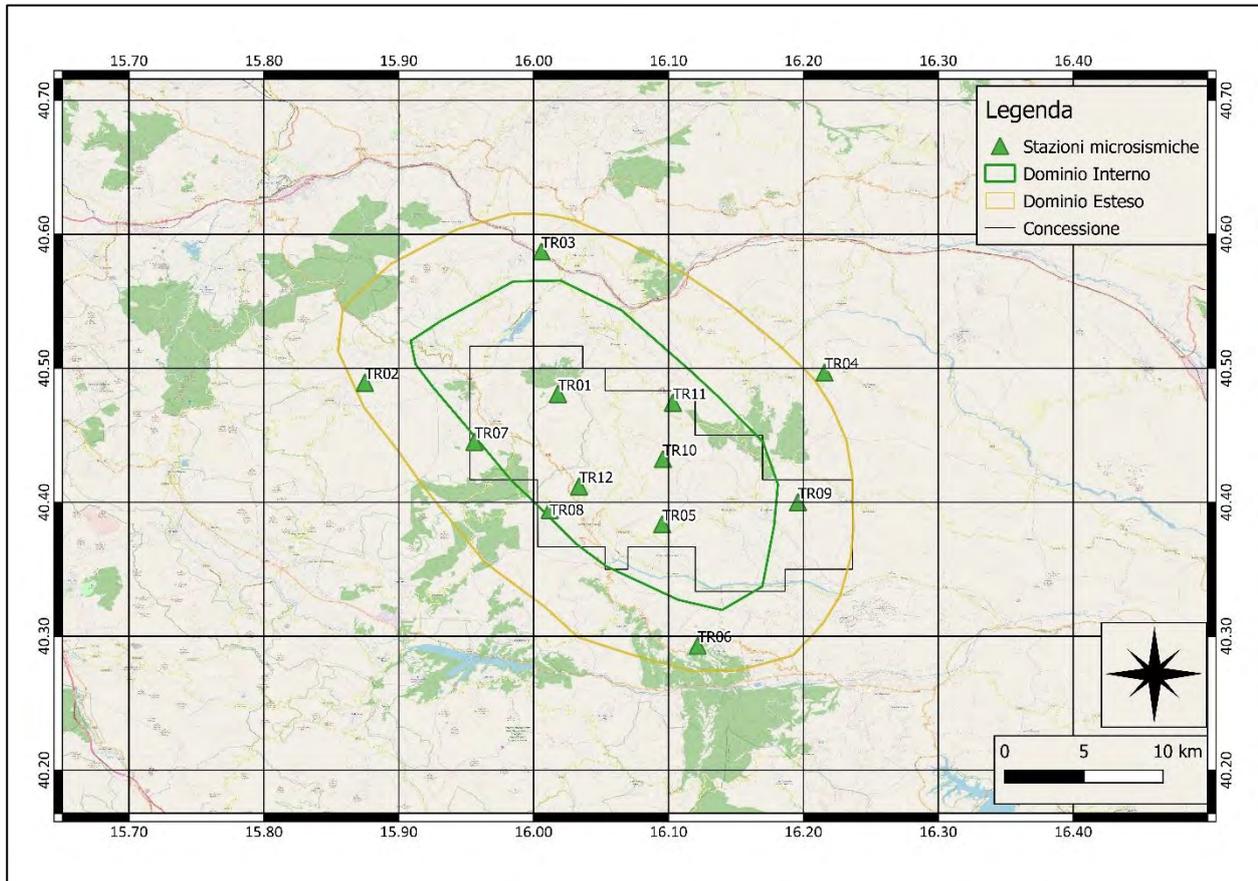


Figura 1: rete microsismica. Proiezioni in superficie dei Domini di rilevazione e, in nero, i limiti della Concessione.

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.

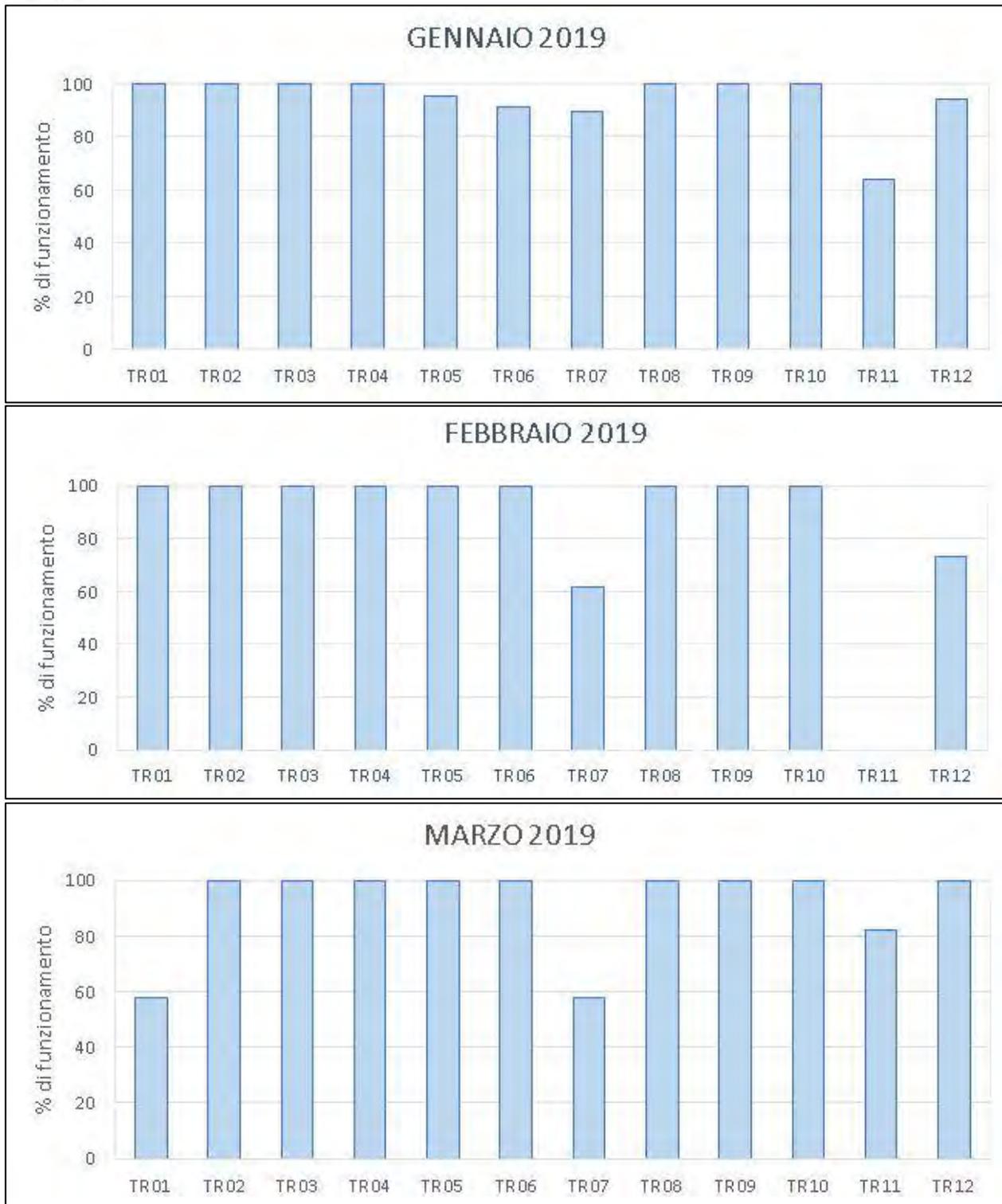


Figura 2: percentuale di funzionamento per singola stazione nei mesi oggetto del report.



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)

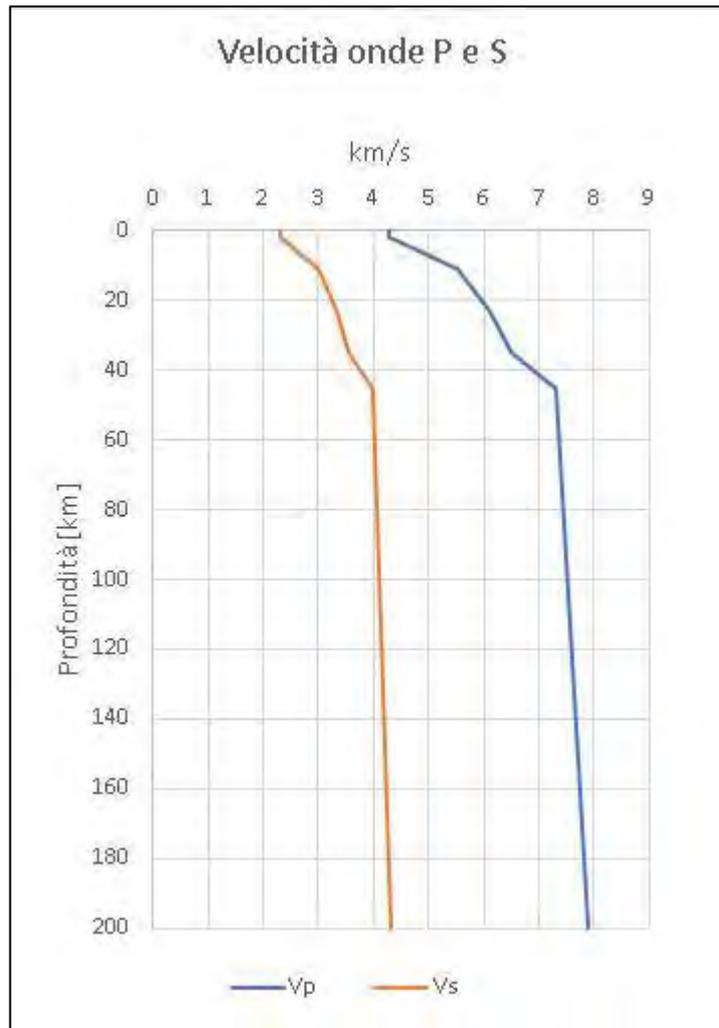


Figura 4: modello di velocità
(Maggi, Frepoli, Console, & Chiappini, 2009)

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.

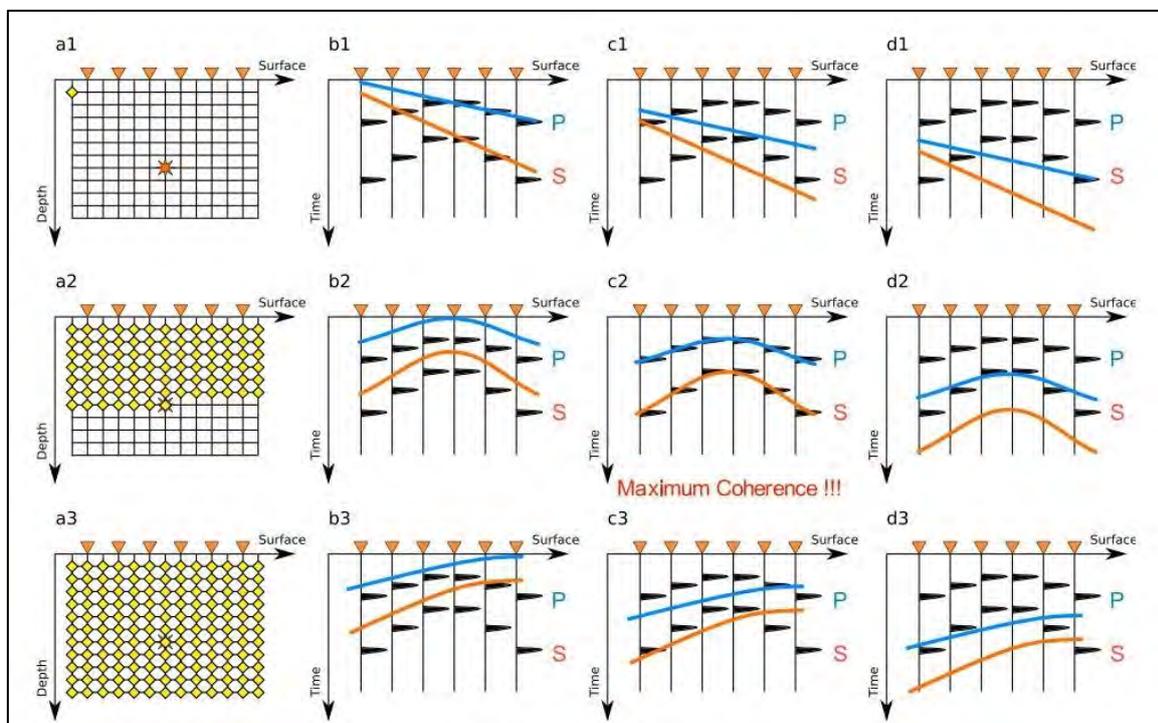


Figura 5: metodo di localizzazione tramite stacking della forma d'onda per differenti localizzazioni della sorgente (in giallo nella colonna a) e tempi origine (colonne b, c e d) (Cesca & Grigoli, 2015).

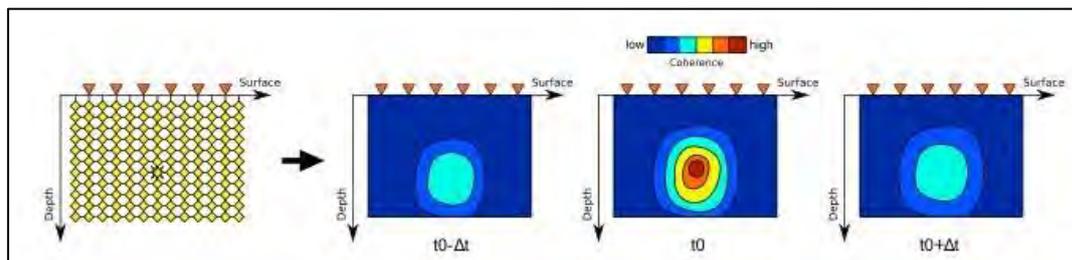


Figura 6: matrici di coerenza per differenti Δt : la massima coerenza si ha al tempo origine t_0 . (Cesca & Grigoli, 2015)

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

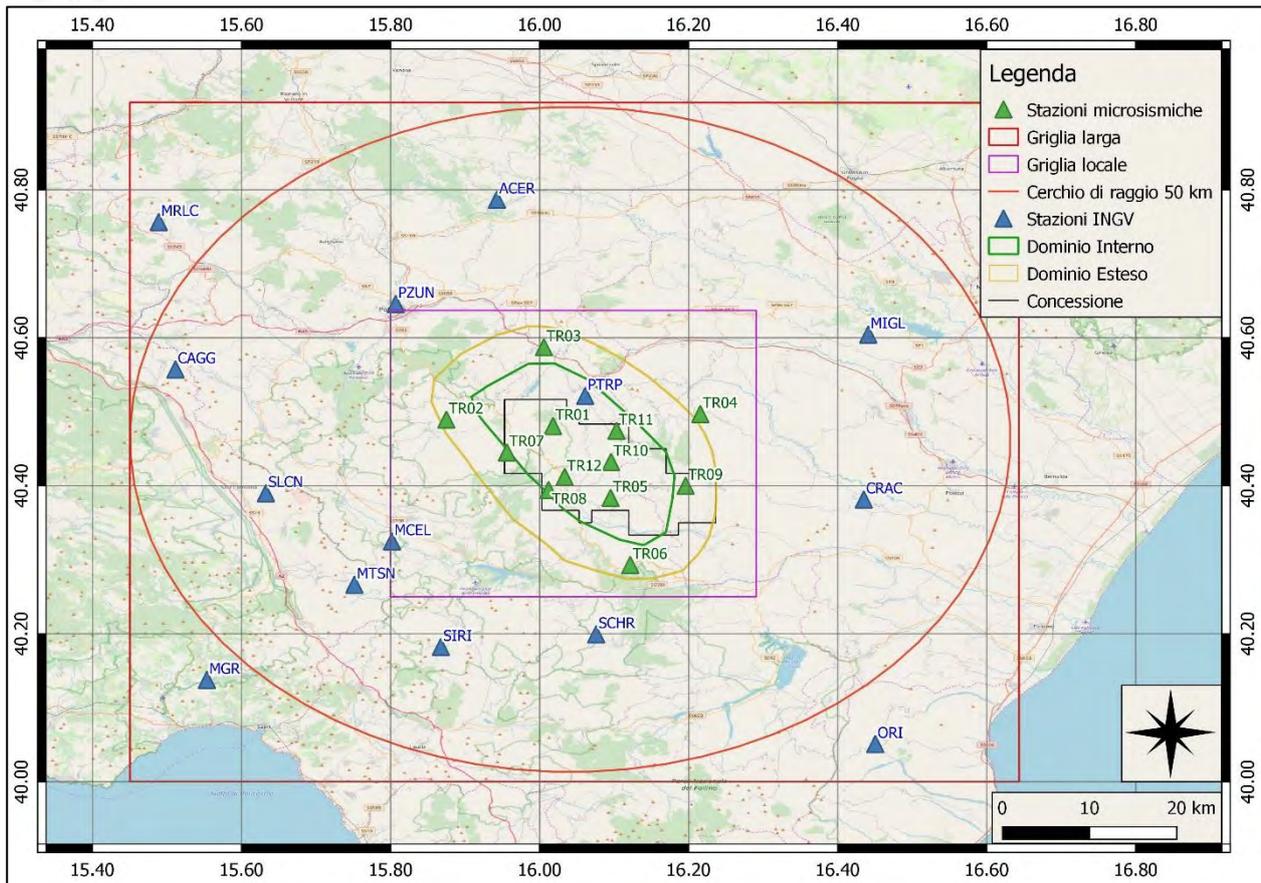


Figura 7: griglie utilizzate per la localizzazione e stazioni INGV al loro interno.

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.

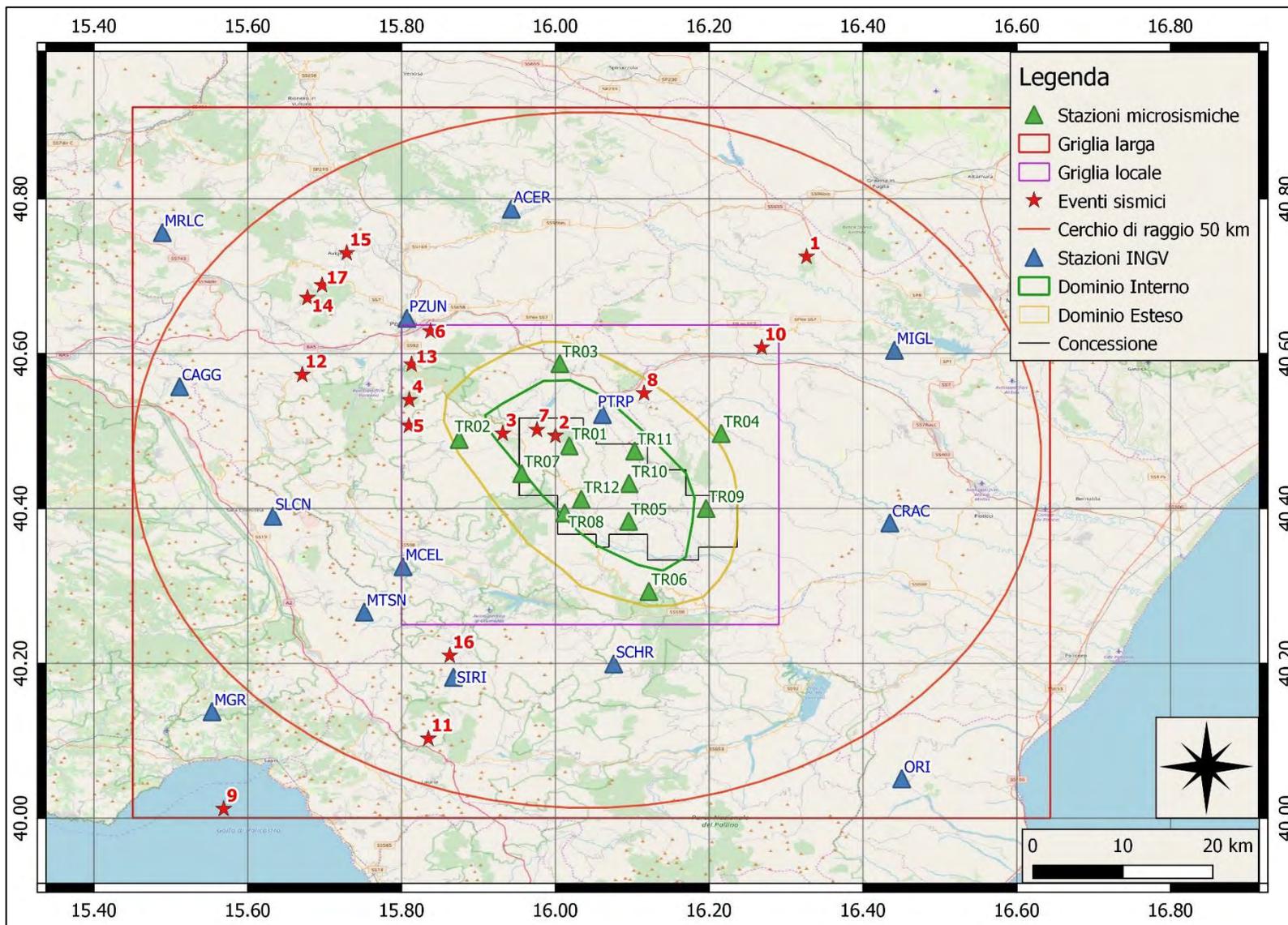


Figura 8: eventi sismici localizzati

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

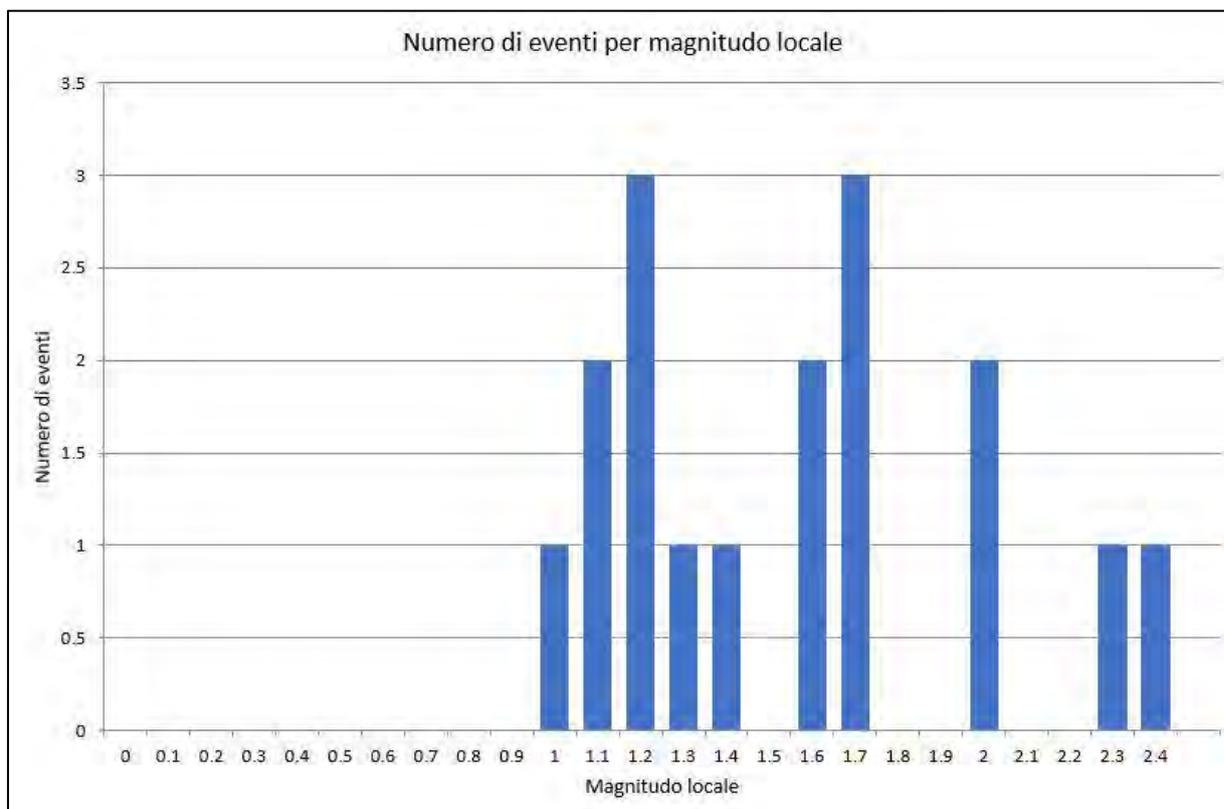


Figura 9: numero di eventi per magnitudo locale nel periodo gennaio-marzo 2019.

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

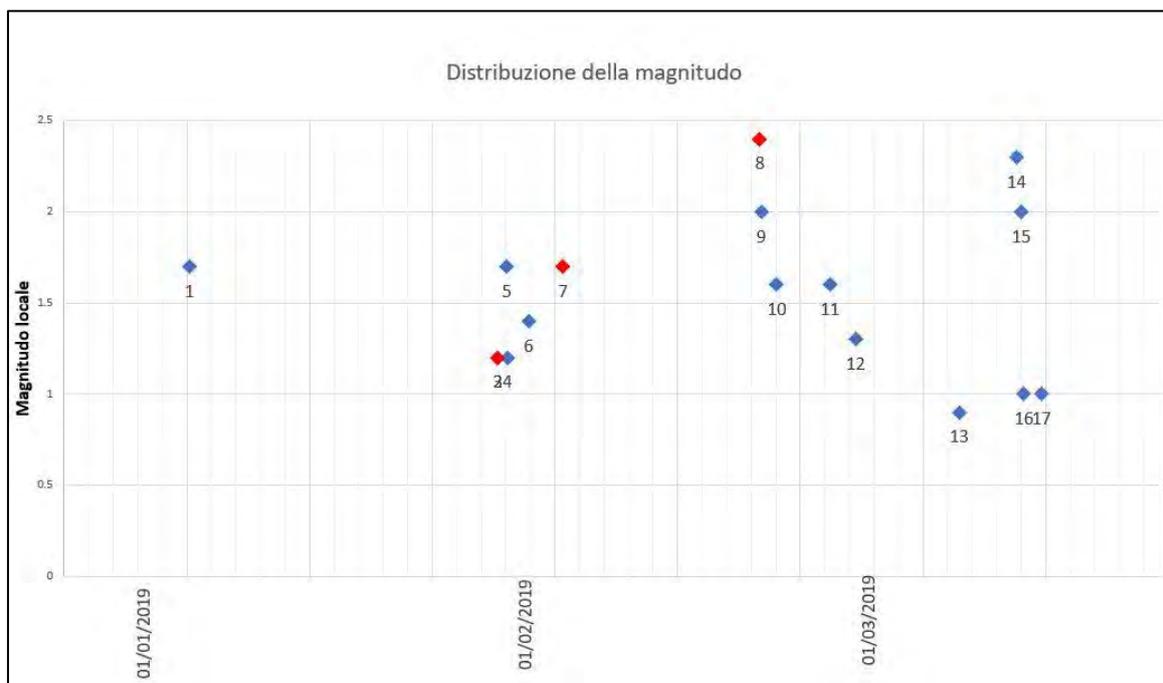


Figura 10: distribuzione di magnitudo locale nel periodo gennaio-marzo 2019, degli eventi sismici localizzati nella griglia più larga: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.

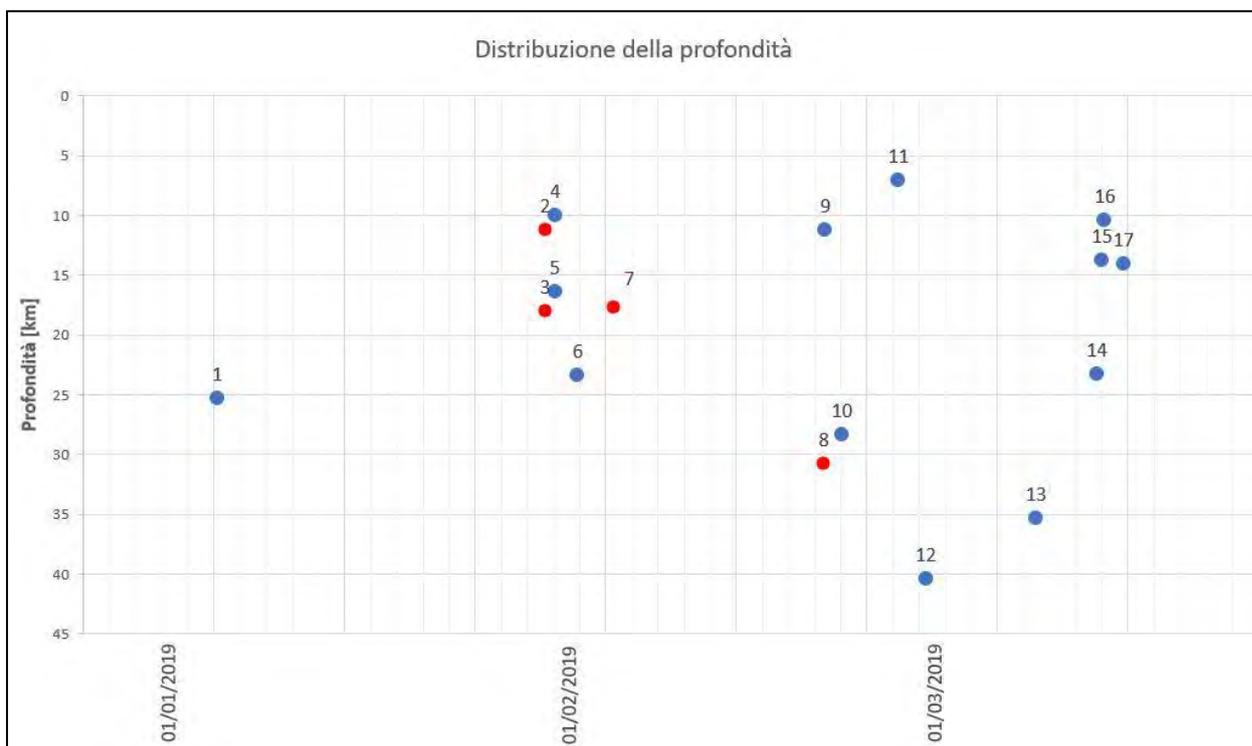


Figura 11: distribuzione delle profondità degli eventi sismici rilevati: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.

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

TOTAL E&P ITALIA S.P.A.

*Rete di monitoraggio microsismico installata presso la
concessione Gorgoglione*

Rapporto periodico di monitoraggio aprile – giugno 2019

Oggetto: Rete microsismica Tempa Rossa - Report aprile – giugno 2019

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

ref

S18MN04-1

Autore

Date

Chiara Cocorullo

30 July 2019

Checked By

date

Filippo Di Fronzo – Stefano Limonta

30 July 2019

Cod.

Version

S18MN04-1

Rev. 0 - 30 July 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 – Luglio 2019	1ª Emissione

Indice

1. Introduzione	6
2. Descrizione della rete	6
3. Operatività della rete di monitoraggio – interventi e/o sostituzioni	8
3.1. Copertura dei dati.....	8
3.2. Sostituzioni	10
4. Procedura di elaborazione dati	11
4.1. Modello di velocità	12
5. Metodo di localizzazione degli eventi sismici.....	14
6. Eventi sismici	18
6.1. Evento 1: 08/04/2019 21:34:34 UTC.....	24
6.2. Evento 2: 13/04/2019 00:13:21 UTC.....	26
6.3. Evento 3: 17/04/2019 03:06:01 UTC.....	30
6.4. Evento 4: 23/04/2019 11:24:06 UTC.....	32
6.5. Evento 5: 07/05/2019 07:20:05 UTC.....	36
6.6. Evento 6: 18/05/2019 01:13:29 UTC.....	38
6.7. Evento 7: 18/05/2019 02:17:55 UTC.....	40
6.8. Evento 8: 18/05/2019 02:42:37 UTC.....	44
6.9. Evento 9: 18/05/2019 02:43:51 UTC.....	46
6.10. Evento 10: 19/05/2019 11:23:17 UTC.....	50
6.11. Evento 11: 23/05/2019 13:14:51 UTC.....	52
6.12. Evento 12: 25/05/2019 09:16:32 UTC.....	56
6.13. Evento 13: 25/05/2019 16:59:11 UTC.....	58
6.14. Evento 14: 30/05/2019 09:44:33 UTC.....	62
6.15. Evento 15: 05/06/2019 21:03:25 UTC.....	66
6.16. Evento 16: 30/06/2019 05:58:52 UTC.....	70
Opere citate.....	72
Tabella 1: coordinate delle stazioni microsismiche (WGS84) e strumentazione installata.	7
Tabella 2: percentuale di funzionamento delle stazioni nel periodo aprile-giugno 2019	8
Tabella 3: interventi di manutenzione e/o riparazione nel periodo aprile-giugno 2019	10
Tabella 4: parametri del trigger STA/LTA	11
Tabella 5: modello 1D ottenuto dal modello 3D fornito da INGV	13
Tabella 6: stazioni INGV presenti nell'area racchiusa dalla griglia utilizzata.	17
Tabella 7: numero di eventi localizzati e distribuzione spaziale.....	18
Tabella 8: eventi sismici localizzati nella griglia.	19
Figura 1: rete microsismica. Proiezioni in superficie dei Domini di rilevazione e, in nero, i limiti della Concessione... 7	
Figura 2: percentuale di funzionamento per singola stazione nei mesi oggetto del report.	9
Figura 3: percentuale di funzionamento della rete nel periodo aprile - giugno 2019	10
Figura 4: modello di velocità.....	14
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>)	16
Figura 6: matrici di coerenza per differenti Δt : la massima coerenza si ha al tempo origine t_0	16
Figura 7: griglia utilizzata per la localizzazione e stazioni (INGV e TOTAL) al suo interno.	17
Figura 8: eventi sismici localizzati	21
Figura 9: numero di eventi per magnitudo locale nel periodo aprile-giugno 2019.	22

Figura 10: distribuzione di magnitudo locale nel periodo aprile-giugno 2019, degli eventi sismici localizzati nella griglia: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.....	22
Figura 11: distribuzione delle profondità degli eventi sismici localizzati nella griglia: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.....	23
Figura 12: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 08/04/2019 21:34:34 UTC verificatosi a profondità 7.60 km	24
Figura 13: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 1, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	25
Figura 14: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 13/04/2019 00:13:21 UTC verificatosi a profondità 11.95 km	26
Figura 15: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 2, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	27
Figura 16: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.....	28
Figura 17: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	28
Figura 18: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	29
Figura 19: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 17/04/2019 03:06:01 UTC verificatosi a profondità 23.60 km	30
Figura 20: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 3, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	31
Figura 21: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 23/04/2019 11:24:06 UTC verificatosi a profondità 17.22 km	32
Figura 22: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 4, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	33
Figura 23: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.....	34
Figura 24: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	34
Figura 25: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	35
Figura 26: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 07/05/2019 07:20:05 UTC verificatosi a profondità 15.12 km	36
Figura 27: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 5, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	37
Figura 28: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 18/05/2019 01:13:29 UTC verificatosi a profondità 16.96 km	38
Figura 29: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 6, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	39
Figura 30: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 18/05/2019 02:17:55 UTC verificatosi a profondità 14.54 km	40
Figura 31: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 7, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	41
Figura 32: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.....	42
Figura 33: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	42
Figura 34: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	43
Figura 35: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 18/05/2019 02:42:37 UTC verificatosi a profondità 13.85 km	44
Figura 36: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 8, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	45
Figura 37: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 18/05/2019 02:43:51 UTC verificatosi a profondità 15.50 km	46
Figura 38: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 9, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	47
Figura 39: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.....	48
Figura 40: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	48
Figura 41: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	49
Figura 42: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 19/05/2019 11:23:17 UTC verificatosi a profondità 11.84 km	50
Figura 43: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 10, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	51

Figura 44: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 23/05/2019 13:14:51 UTC verificatosi a profondità 28.29 km	52
Figura 45: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 11, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	53
Figura 46: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.....	54
Figura 47: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	54
Figura 48: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	55
Figura 49: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 25/05/2019 09:16:32 UTC verificatosi a profondità 21.52 km	56
Figura 50: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 12, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	57
Figura 51: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 25/05/2019 16:59:11 UTC verificatosi a profondità 18.07 km	58
Figura 52: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 13, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	59
Figura 53: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.....	60
Figura 54: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	60
Figura 55: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	61
Figura 56: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 30/05/2019 09:44:33 UTC verificatosi a profondità 19.51 km	62
Figura 57: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 14, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	63
Figura 58: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.....	64
Figura 59: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	64
Figura 60: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	65
Figura 61: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 05/06/2019 21:03:25 UTC verificatosi a profondità 19.13 km	66
Figura 62: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 15, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	67
Figura 63: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.....	68
Figura 64: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	68
Figura 65: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	69
Figura 66: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 30/06/2019 05:58:52 UTC verificatosi a profondità 1.97 km	70
Figura 67: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 16, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	71

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, nelle province di Potenza e Matera.

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 aprile-giugno 2019, vengono descritti:

- lo stato di funzionamento della rete;
- la procedura di elaborazione dati;
- gli eventi sismici localizzati nell’area di interesse.

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.

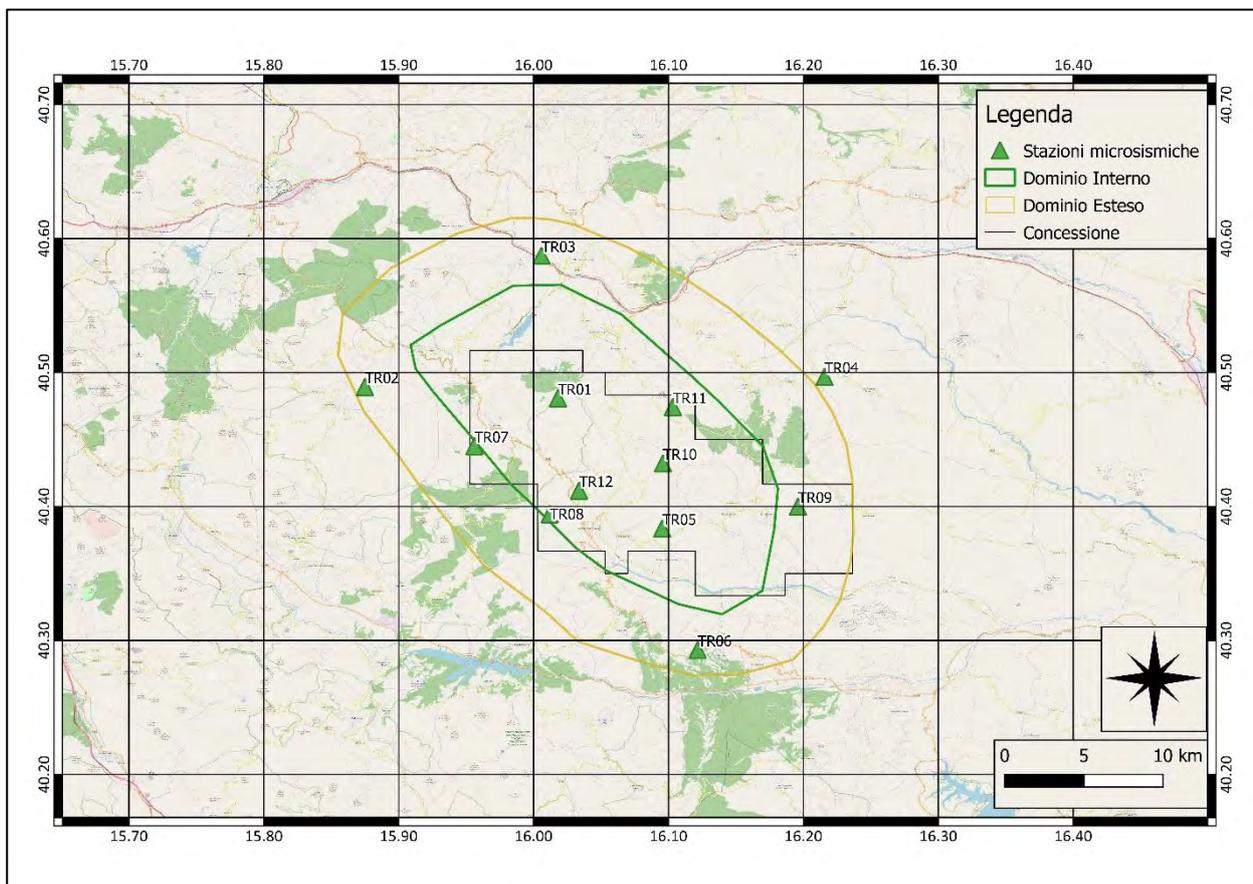


Figura 1: rete microsismica. Proiezioni in superficie dei Domini di rilevazione e, in nero, i limiti della Concessione.

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 (01/04/2019 – 30/06/2019), la rete nel suo complesso ha garantito una copertura dei dati pari a 96.3%.

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 TR11 nel mese di aprile;
- parziale mancanza dei dati delle stazioni TR01 e TR12 nel mese di maggio;

Queste interruzioni nell'acquisizione sono state causate da un guasto degli acquisitori

Stazione	Percentuale di funzionamento		
	Aprile	Maggio	Giugno
TR01	100.0	68.1	100.0
TR02	100.0	99.9	100.0
TR03	99.9	99.9	100.0
TR04	100.0	99.9	100.0
TR05	76.9	100.0	100.0
TR06	100.0	99.9	100.0
TR07	100.0	99.9	100.0
TR08	100.0	99.9	100.0
TR09	99.3	99.9	100.0
TR10	100.0	99.9	95.7
TR11	53.5	99.9	100.0
TR12	99.7	74.2	100.0
Rete	94.1	95.1	99.6

Tabella 2: percentuale di funzionamento delle stazioni nel periodo aprile-giugno 2019

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.

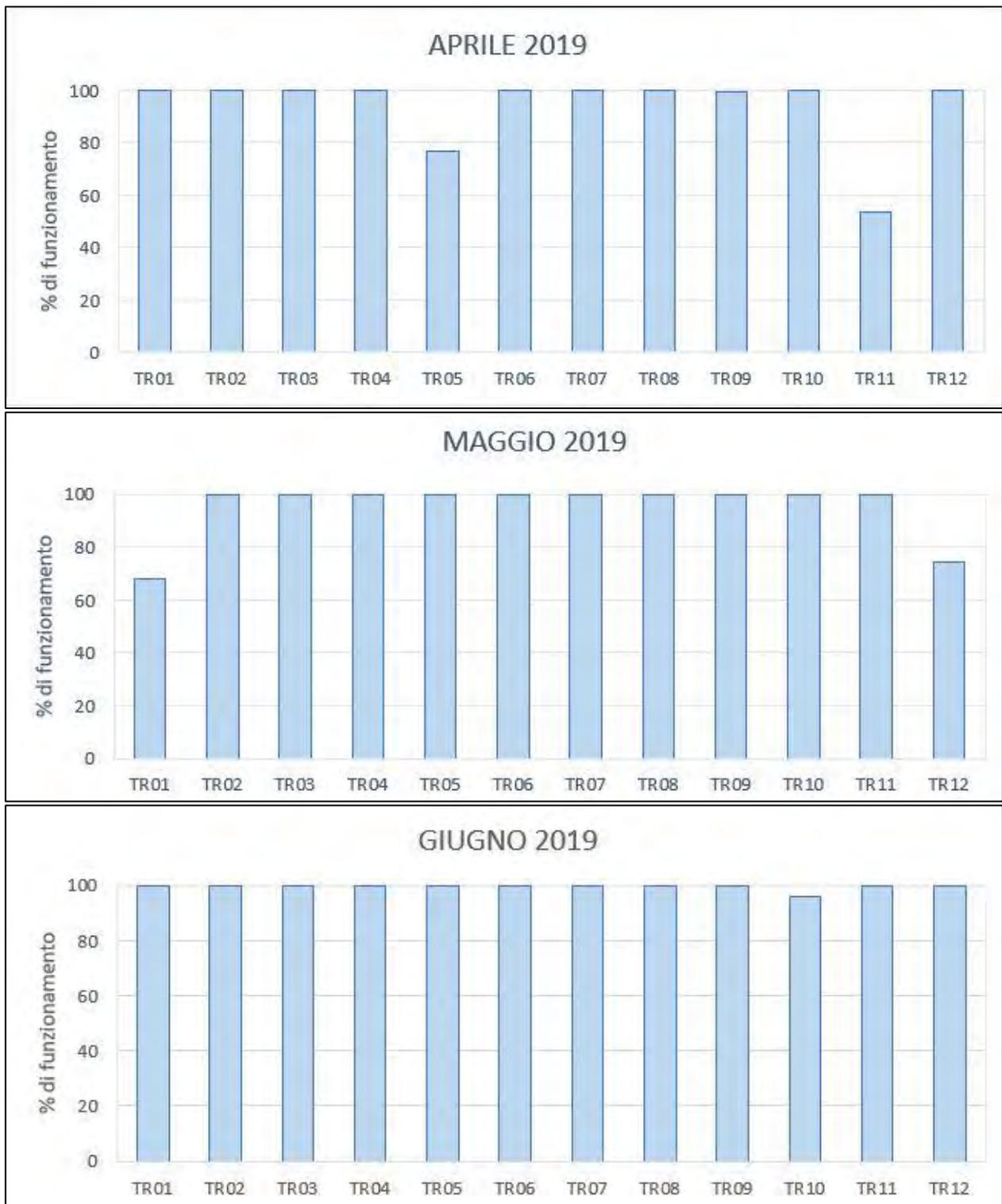


Figura 2: percentuale di funzionamento per singola stazione nei mesi oggetto del report.

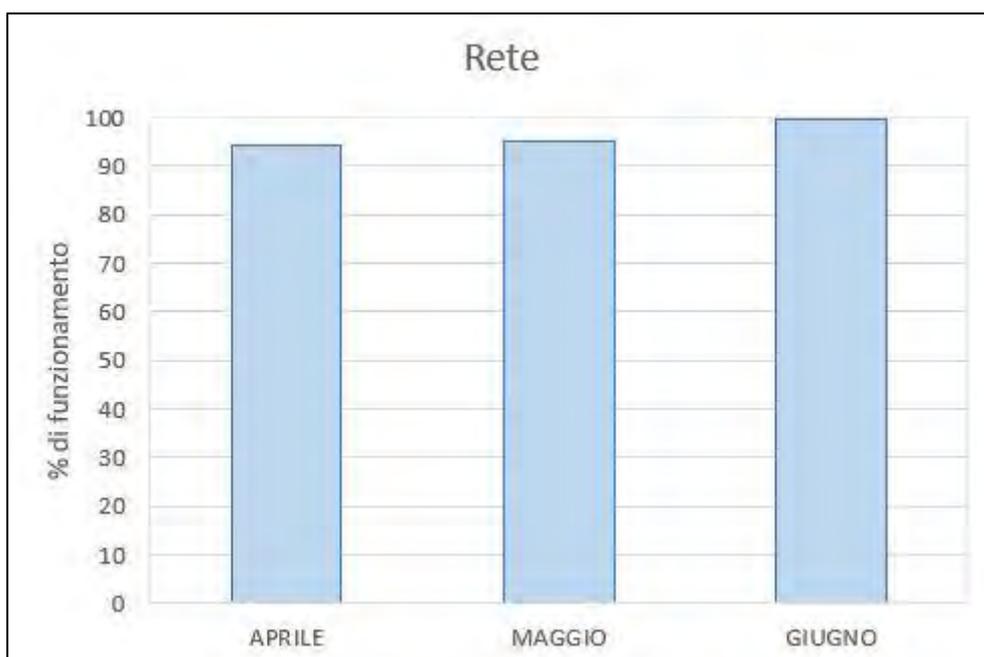


Figura 3: percentuale di funzionamento della rete nel periodo aprile - giugno 2019

3.2.Sostituzioni

A metà maggio è stata effettuata una manutenzione ordinaria su tutte le stazioni.

In Tabella 3 sono elencati gli interventi di manutenzione eseguiti nel periodo aprile-giugno 2019.

Stazione	Data	Intervento
TR05	18/04/2019	Sostituzione acquirettore. Aggiunto stabilizzatore
TR11	19/04/2019	Sostituzione acquirettore. Aggiunto stabilizzatore
Tutte le stazioni tranne TR05 e TR11	13-17/05/2019	Aggiunto stabilizzatore
TR12	14/05/2019	Sostituzione acquirettore
TR01	16/05/2019	Sostituzione acquirettore

Tabella 3: interventi di manutenzione e/o riparazione nel periodo aprile-giugno 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 Pyrocko (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

Per elaborare i dati del periodo in oggetto (01/04/2019-30/06/2019) si è prodotto un nuovo modello crostale, basandosi sul modello 3D ottenuto da INGV, descritto nel Rapporto di Monitoraggio Sismico di Baseline redatto da INGV (Piccinini, et al., 2016), e gentilmente fornitoci da INGV dopo richiesta da parte di TOTAL E&P Italia.

Anche se il software LOKI consente di utilizzare un modello crostale tridimensionale, si è ritenuto opportuno non fare uso del modello ottenuto da INGV, per due motivi:

- 1) per avere omogeneità tra gli eventi sismici localizzati con i due localizzatori (HypoEllipse e LOKI), poiché HypoEllipse (Lahr, 2002) non può usare modelli 3D;
- 2) perché il modello 3D è discretizzato con passo 4 km in tutte e tre le direzioni, mentre la griglia utilizzata in LOKI è discretizzata con passo 250 m e la rete si estende per circa 30x30 km: utilizzandolo non avremmo ottenuto delle migliorie nelle localizzazioni tali da giustificare l'aumento di risorse computazionali che il processo di localizzazione avrebbe richiesto.

Si è invece utilizzato il modello 3D di INGV per produrre un nuovo modello 1D mediando, per ogni strato (profondità del top dello strato pari a 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 34, 44 km), i valori di Vp e di Vp/Vs per i soli punti interni alla griglia utilizzata per le localizzazioni con Loki.

Il modello è descritto in Tabella 5 e mostrato in Figura 4.

Profondità [km]	Vp [km/s]	Vs [km/s]	Vp/Vs
0 – 4	3.99	2.12	1.88
4 – 8	6.07	3.23	1.88
8 – 12	6.45	3.43	1.88
12 – 16	6.50	3.46	1.88
16 – 20	6.50	3.49	1.86
20 – 44	6.51	3.50	1.86
44 –	7.31	3.93	1.86

Tabella 5: modello 1D ottenuto dal modello 3D fornito da INGV

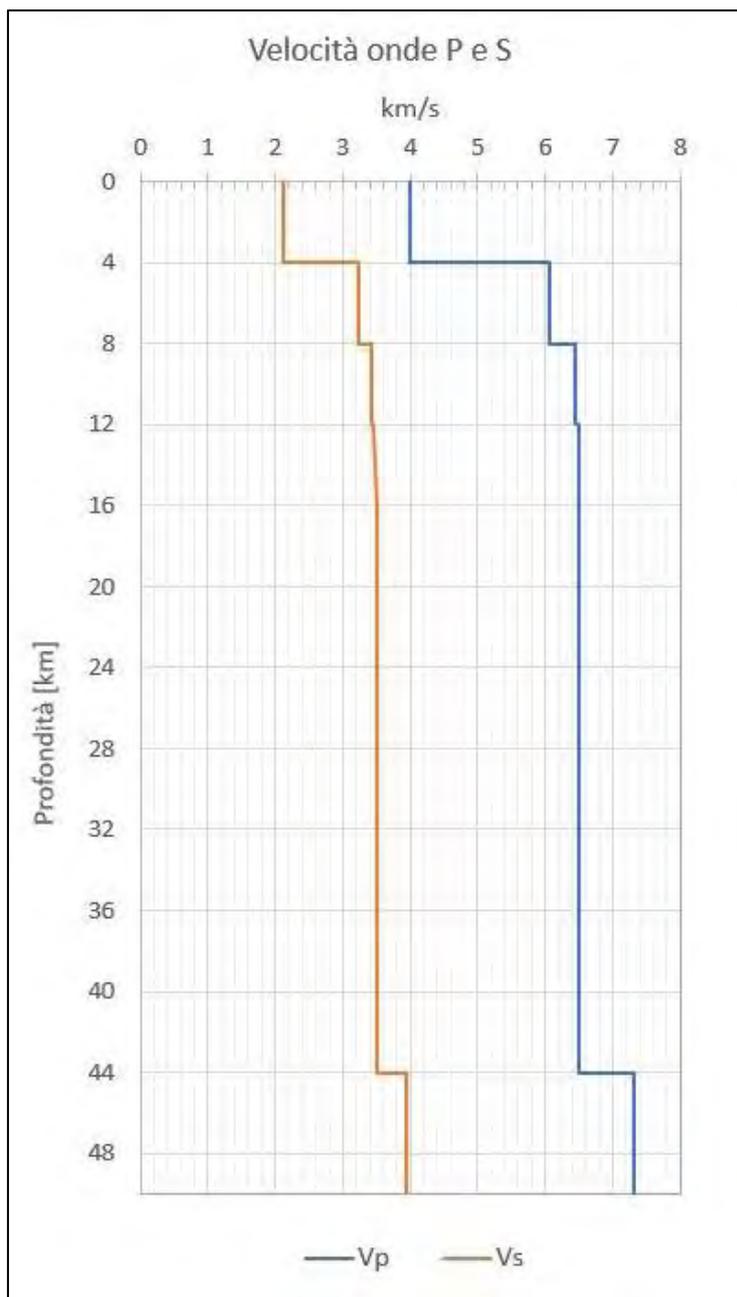


Figura 4: modello di velocità

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.

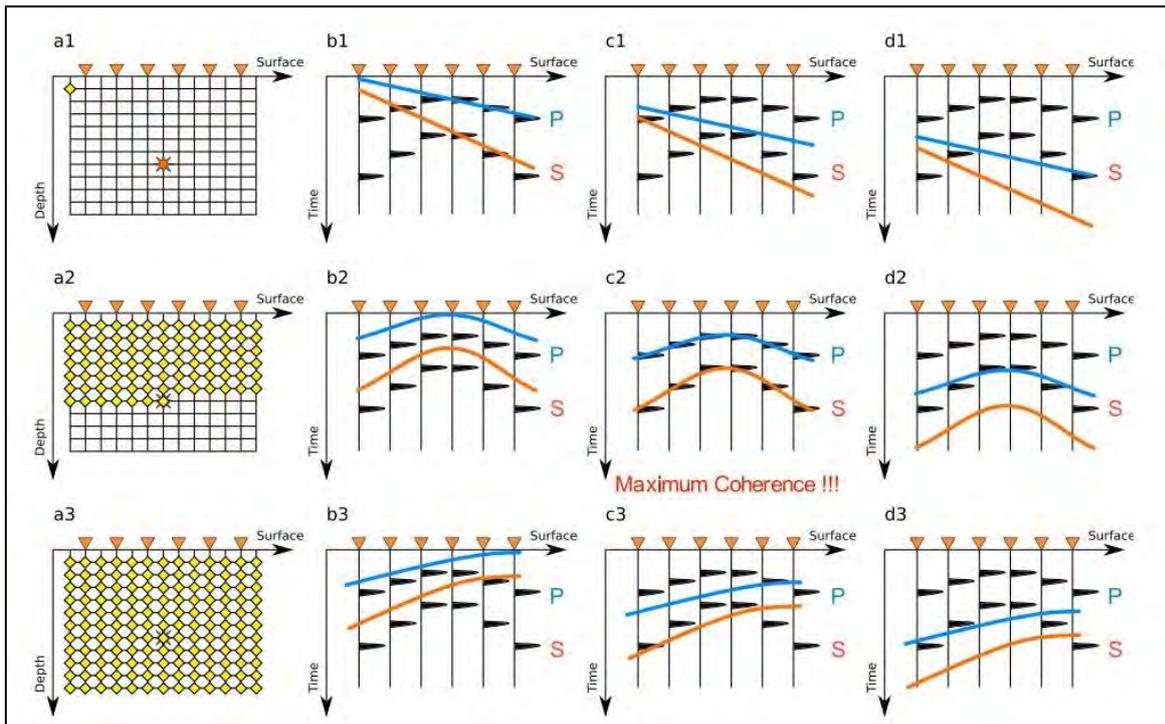


Figura 5: metodo di localizzazione tramite stacking della forma d'onda per differenti localizzazioni della sorgente (in giallo nella colonna *a*) e tempi origine (colonne *b*, *c* e *d*) (Cesca & Grigoli, 2015).

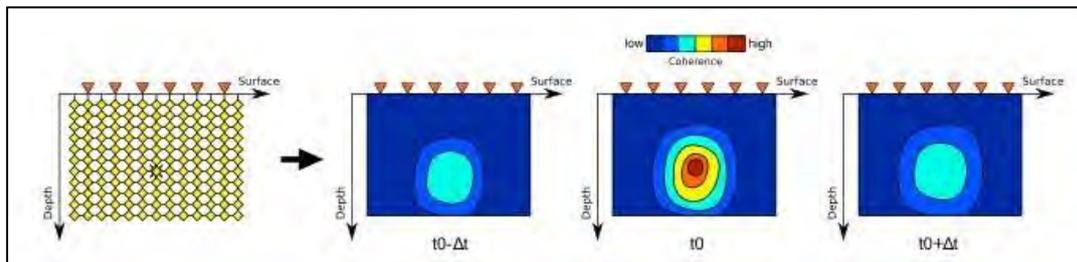


Figura 6: matrici di coerenza per differenti Δt : la massima coerenza si ha al tempo origine t_0 . (Cesca & Grigoli, 2015)

Vengono di seguito riportati gli eventi occorsi nella zona di interesse, che si estende in superficie per circa 41x43 km e in profondità per 50 km, e che racchiude i Domini di Rilevazione. Questo volume è di seguito indicato come *Griglia locale*.

Essa è discretizzata con passo 250 m in tutte e tre le direzioni e le uniche stazioni della Rete Sismica Nazionale presenti nella zona sono MCEL e PTRP. In Tabella 6 le informazioni sulle stazioni INGV.

Per ogni evento viene indicato se le stazioni sono state utilizzate.

Nome Rete	ID Stazione	Lat. [°]	Long. [°]	Quota [Km]	Canali
IV	MCEL	40.32	15.80	0.96	HH*
	PTRP	40.52	16.06	1.08	HH*

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

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 (H significa velocimetro High Broad Band), da nomenclatura standard del formato SEED¹.

In Figura 7 la griglia utilizzata per la localizzazione con LOKI, i limiti dei Domini di rilevazione e le stazioni in essa contenute.

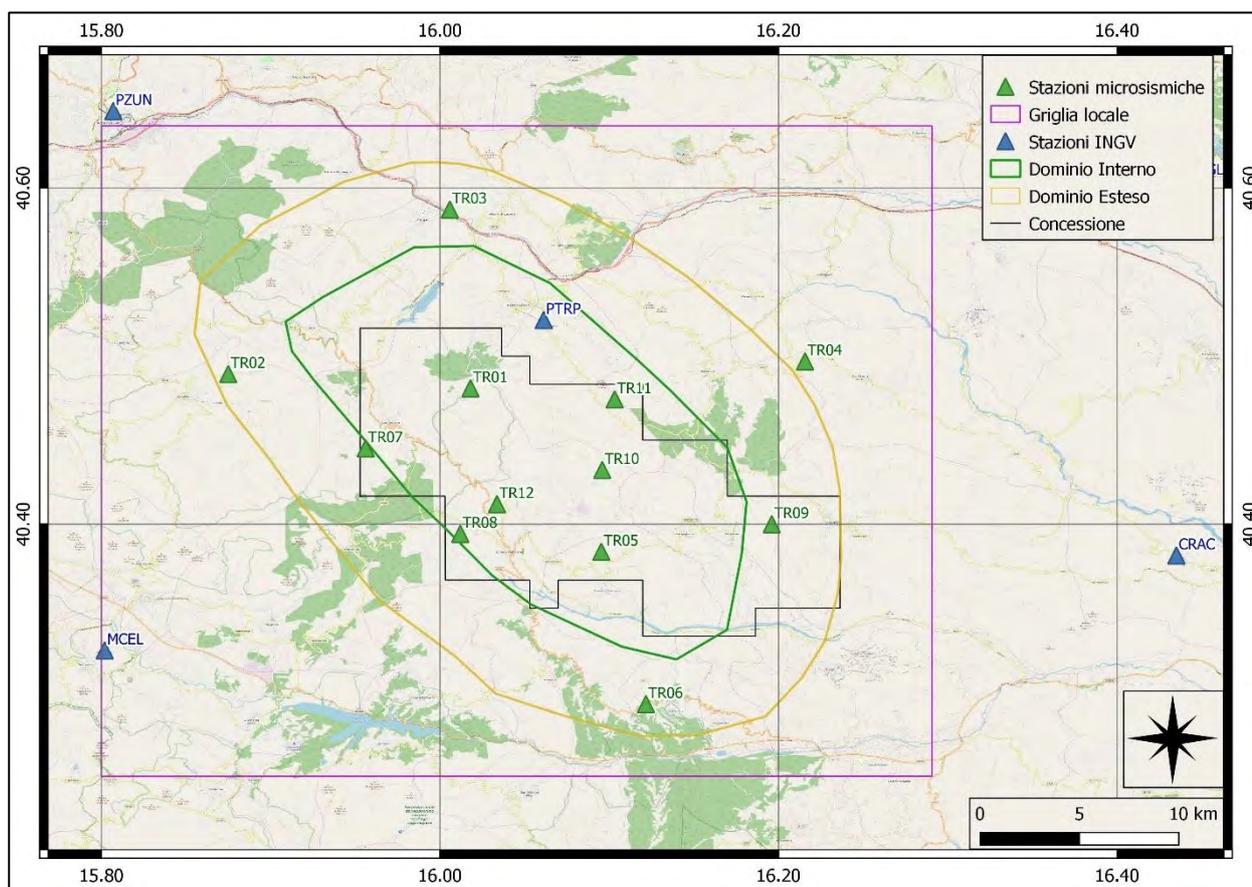


Figura 7: griglia utilizzata per la localizzazione e stazioni (INGV e TOTAL) al suo interno.

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

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

6. Eventi sismici

Nel periodo 01/04/2019 – 30/06/2019 sono stati localizzati 16 eventi sismici: di questi, 8 hanno l'epicentro nei Domini di Rilevazione (2 nel Dominio Interno, a profondità maggiori di 7 km) .

In Tabella 7 il numero di eventi localizzati il cui epicentro ricade nelle aree di interesse.

Eventi con epicentro nella griglia:	16	
Eventi con epicentro:		
nei Domini di Rilevazione	nel Dominio Interno	entro i limiti della Concessione
8	2	0

Tabella 7: numero di eventi localizzati e distribuzione spaziale

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

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione ² [km]	M _i	Incertezza sulla magnitudo	Dist. epicentrale dalla stazione più vicina [km]	Localizzatore	Stazioni INGV usate
1	08/04/2019 21:34:34	40.50	16.10	7.60	0.40	0.7	0.2	7.34 ³	Desk - HypoEllipse	-
2	13/04/2019 00:13:21	40.40	15.94	11.95	0.36	2.0	0.2	5.10	LOKI	-
3	17/04/2019 03:06:01	40.59	16.06	23.60	0.50	0.4	0.3	4.21	Desk - HypoEllipse	-
4	23/04/2019 11:24:06	40.54	16.01	17.22	1.24	1.0	0.3	5.05	LOKI	PTRP
5	07/05/2019 07:20:05	40.56	16.19	15.12	0.50	0.9	0.2	7.59	Desk - HypoEllipse	-
6	18/05/2019 01:13:29	40.97	16.16	16.96	0.60	0.3	0.3	5.04	Desk - HypoEllipse	-
7	18/05/2019 02:17:55	40.46	16.19	14.54	1.15	0.9	0.3	4.77	LOKI	-
8	18/05/2019 02:42:37	40.46	16.24	13.85	1.00	0.2	0.2	5.02	Desk - HypoEllipse	-
9	18/05/2019 02:43:51	40.45	16.17	15.50	0.25	0.8	0.3	5.98	LOKI	-
10	19/05/2019 11:23:17	40.46	16.21	11.84	0.40	0.9	0.3	3.75	Desk - HypoEllipse	-
11	23/05/2019 13:14:51	40.62	12.27	28.29	2.37	1.5	0.2	14.31	LOKI	-
12	25/05/2019 09:16:32	40.52	15.80	21.52	0.60	0.6	0.1	7.07	Desk - HypoEllipse	-
13	25/05/2019 16:59:11	40.53	15.83	18.07	2.41	1.3	0.2	6.54	LOKI	-
14	30/05/2019 09:44:33	40.52	15.81	19.51	2.42	0.9	0.1	6.47	LOKI	-
15	05/06/2019 21:03:25	40.52	15.81	19.13	1.84	0.7	0.2	6.73	LOKI	-
16	30/06/2019 05:58:52	40.39	15.92	1.97	0.30	0.3	0.3	7.37	Desk - HypoEllipse	-

Tabella 8: eventi sismici localizzati nella griglia.

² Raggio della sfera centrata sull'ipocentro

³ Dati della stazione TR11, distante 2.86 km, non disponibili

Gli eventi per i quali il Localizzatore indicato è DESK - HypoEllipse, sono stati localizzati con la tecnica classica del picking dei primi arrivi.

Gli eventi con sfondo verde hanno epicentro nei Domini di Rilevazione (quelli in blu in grassetto hanno epicentro nel Dominio Interno); non ci sono eventi con epicentro nella Concessione.

La magnitudo locale è stata calcolata con il software SEISMODESK, applicando la legge di attenuazione di (Bakun & Joyner, 1984) al segnale convertito per la risposta del sismografo Wood-Anderson.

In Figura 8 gli epicentri degli eventi sismici.

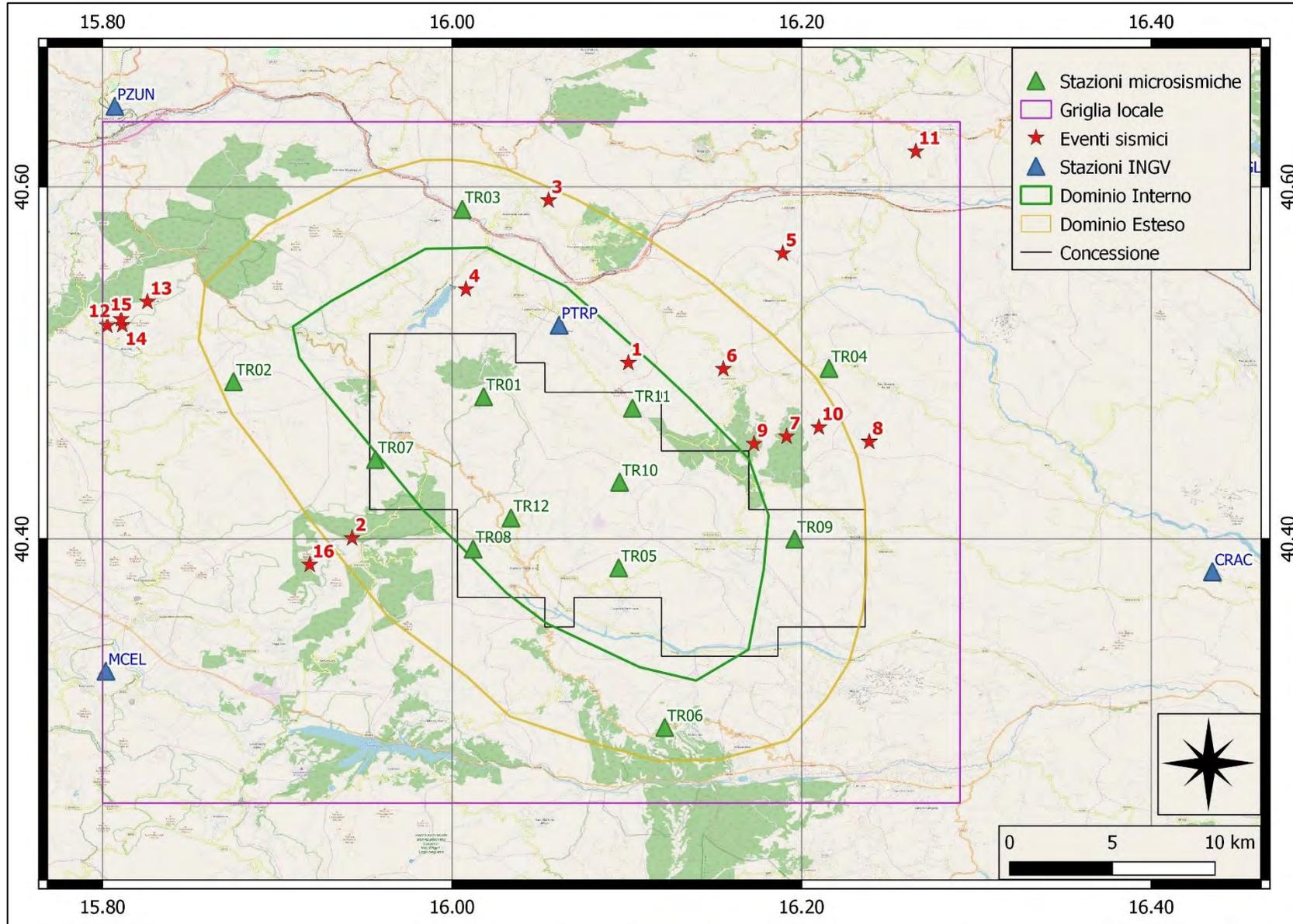


Figura 8: eventi sismici localizzati

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

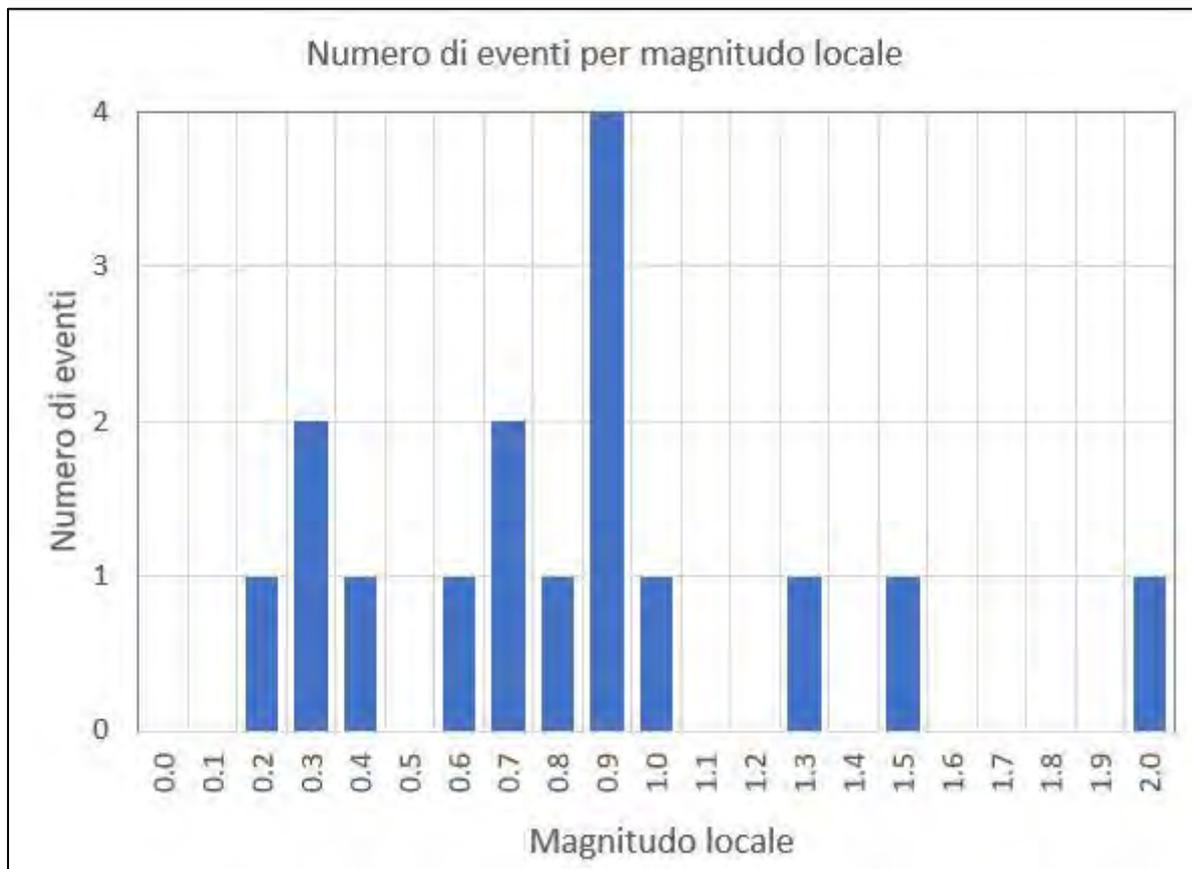


Figura 9: numero di eventi per magnitudo locale nel periodo aprile-giugno 2019.

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

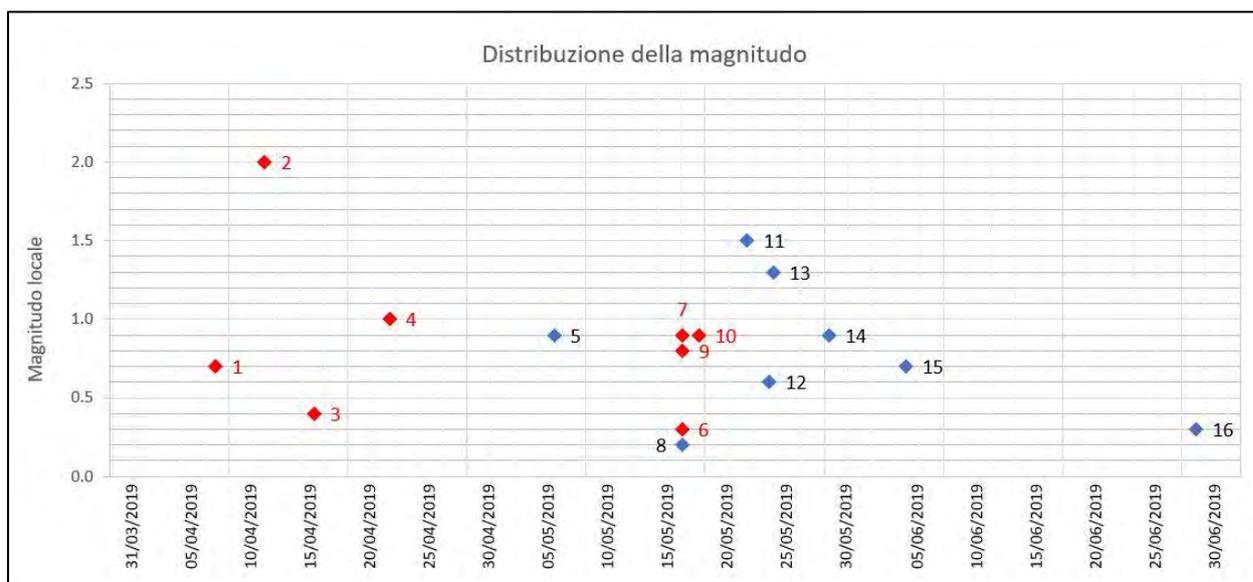


Figura 10: distribuzione di magnitudo locale nel periodo aprile-giugno 2019, degli eventi sismici localizzati nella griglia: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.

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

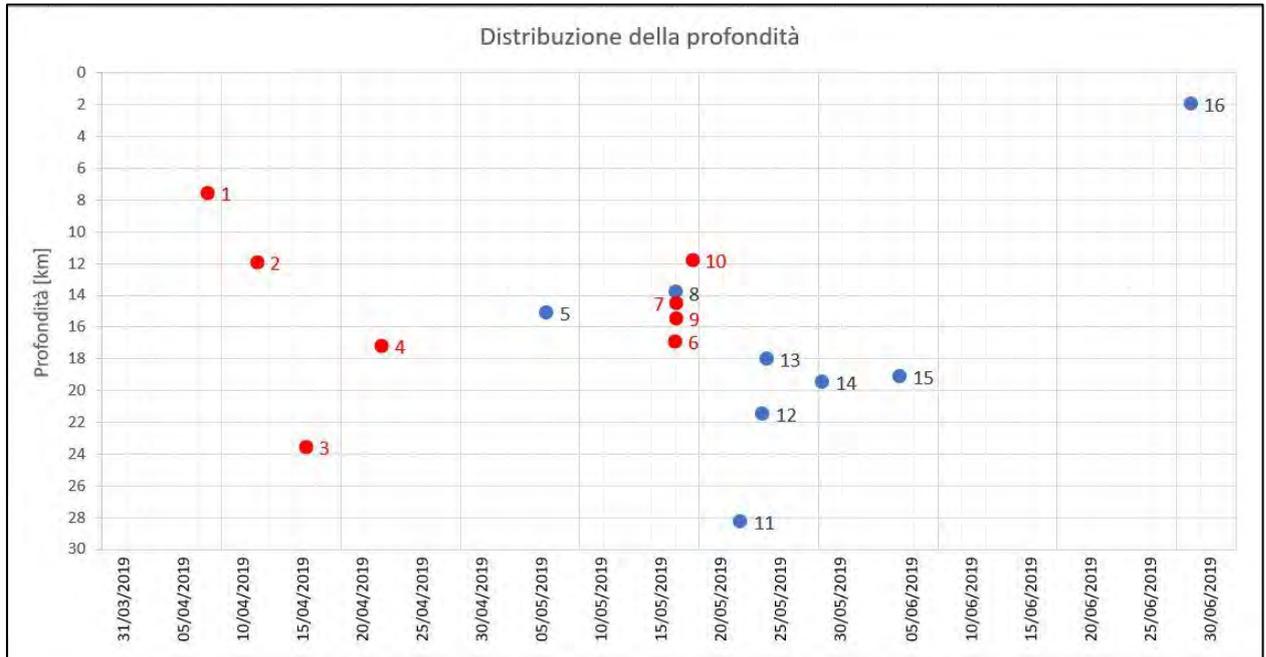


Figura 11: distribuzione delle profondità degli eventi sismici localizzati nella griglia: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.

6.1.Evento 1: 08/04/2019 21:34:34 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _l
1	08/04/2019 21:34:34	40.50	16.10	7.60	0.40	0.7 ± 0.2

In Figura 12 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

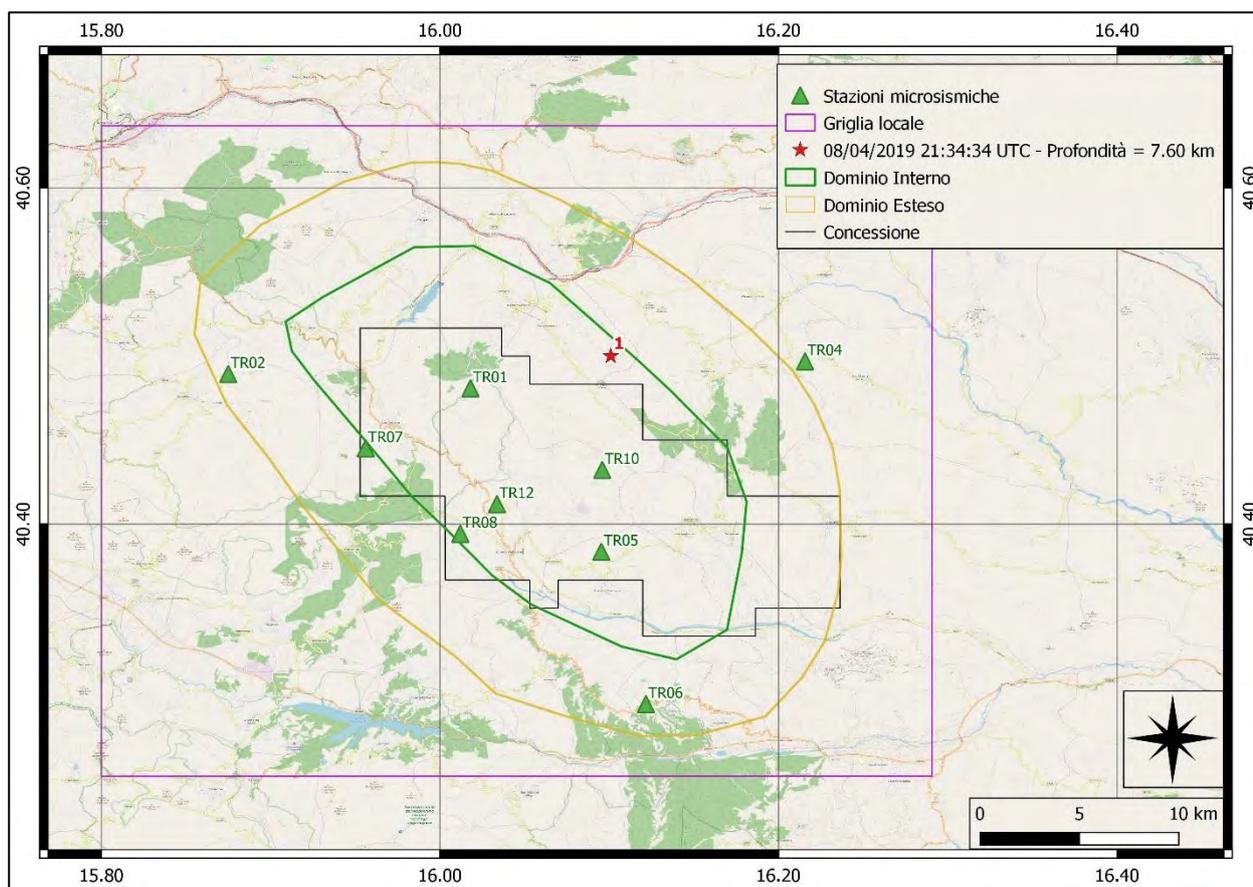


Figura 12: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 08/04/2019 21:34:34 UTC verificatosi a profondità 7.60 km

In Figura 13 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 1: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

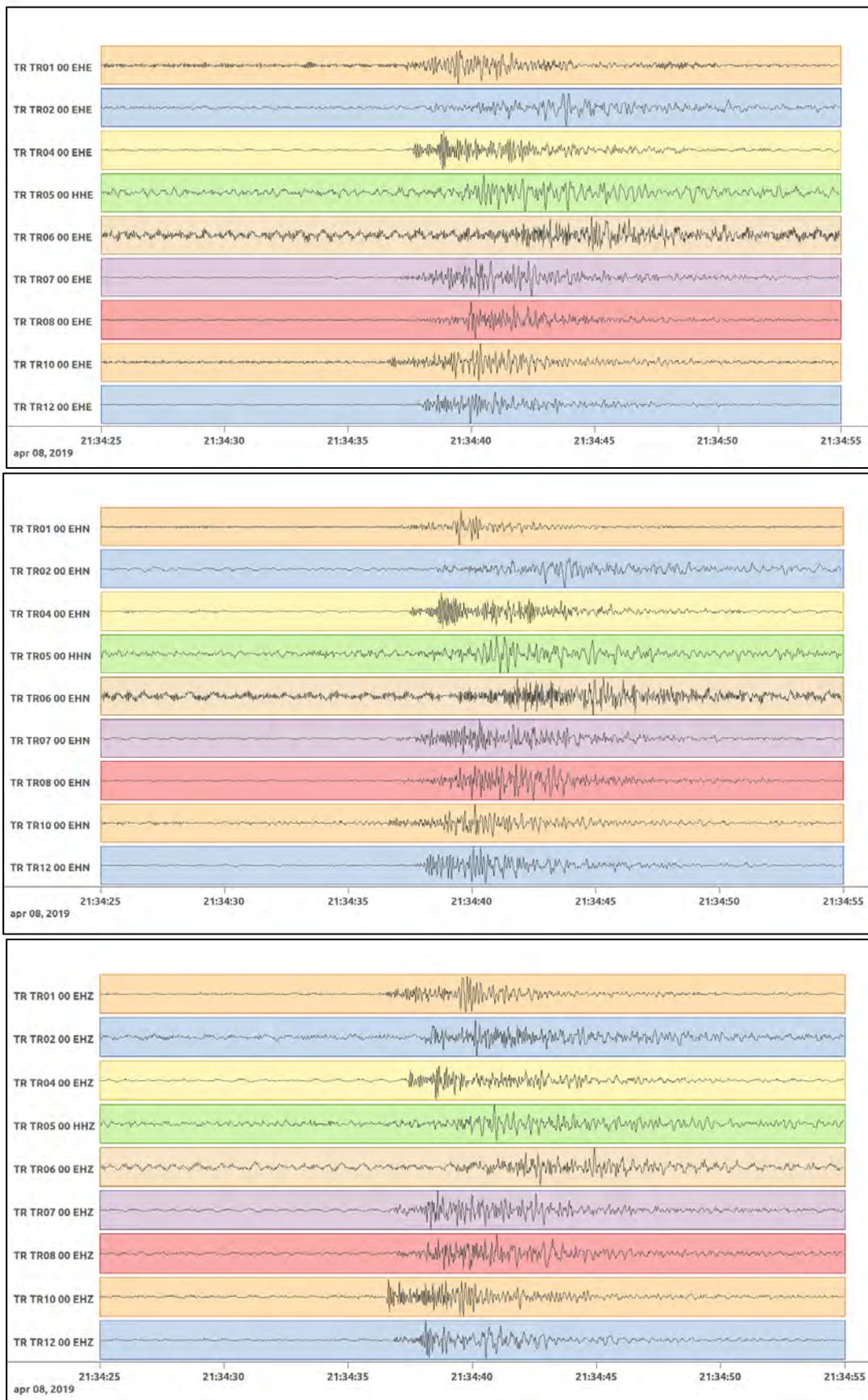


Figura 13: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 1, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

6.2. Evento 2: 13/04/2019 00:13:21 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _l
2	13/04/2019 00:13:21	40.40	15.94	11.95	0.36	2.0 ± 0.2

In Figura 14 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

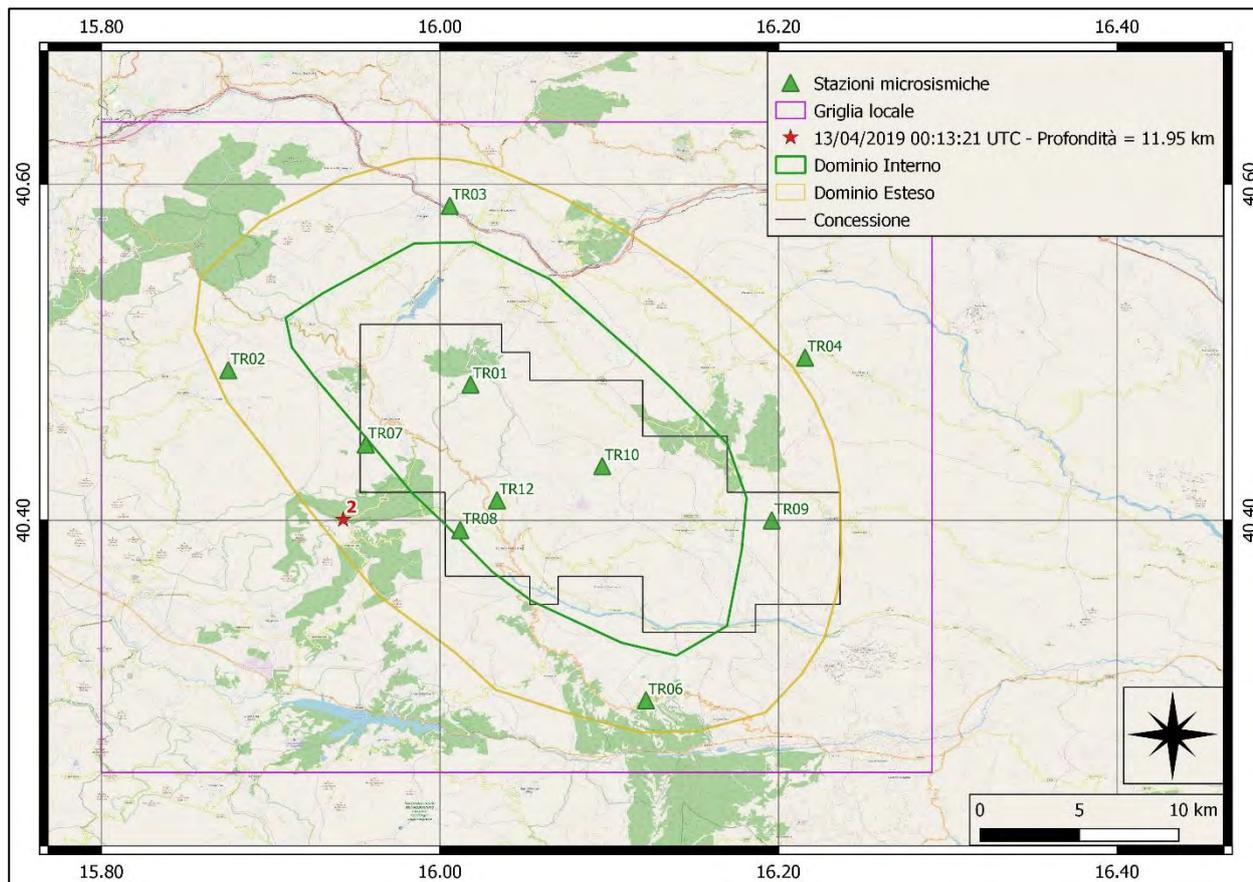


Figura 14: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 13/04/2019 00:13:21 UTC verificatosi a profondità 11.95 km

In Figura 15 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 2: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

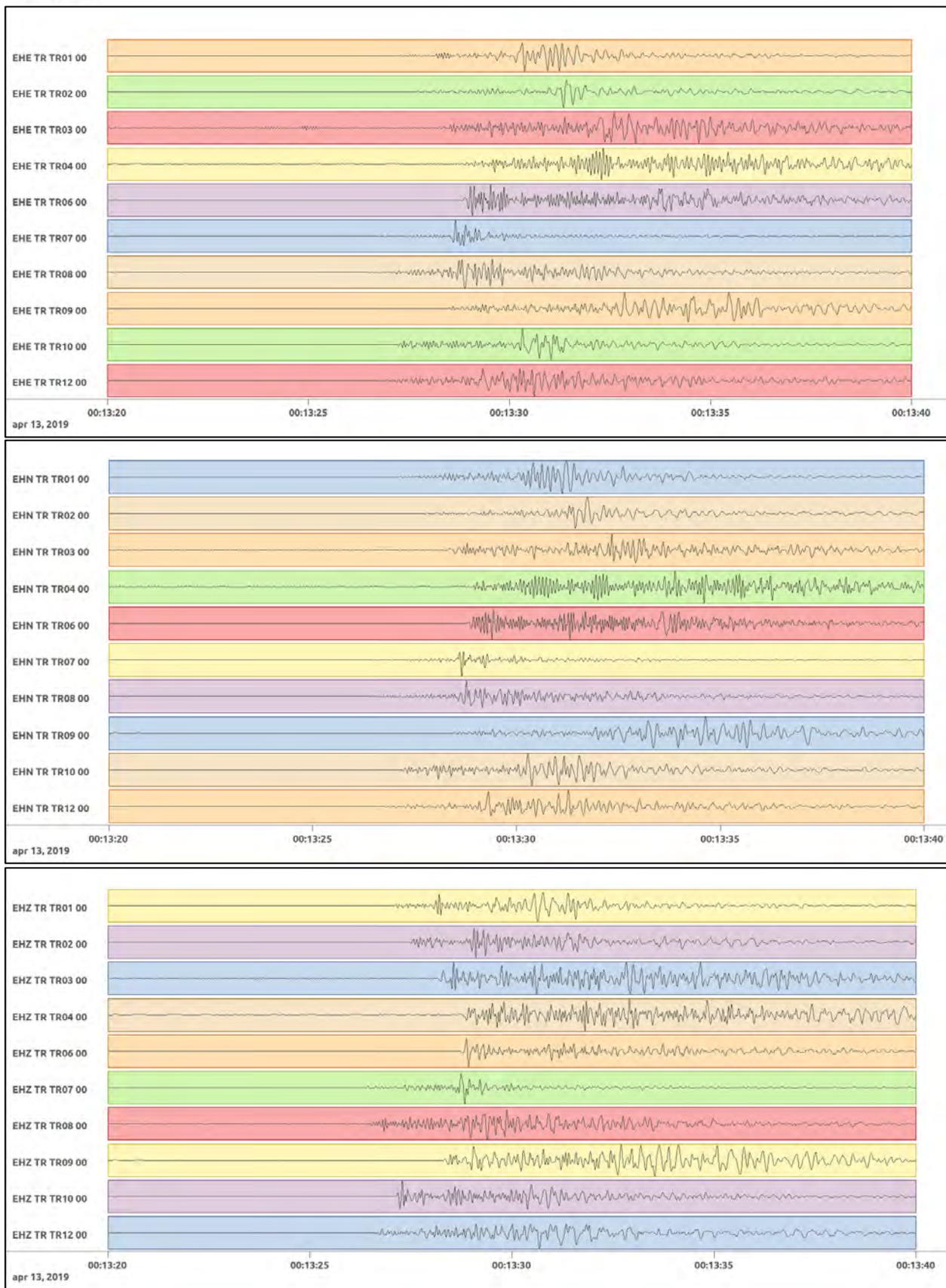


Figura 15: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 2, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

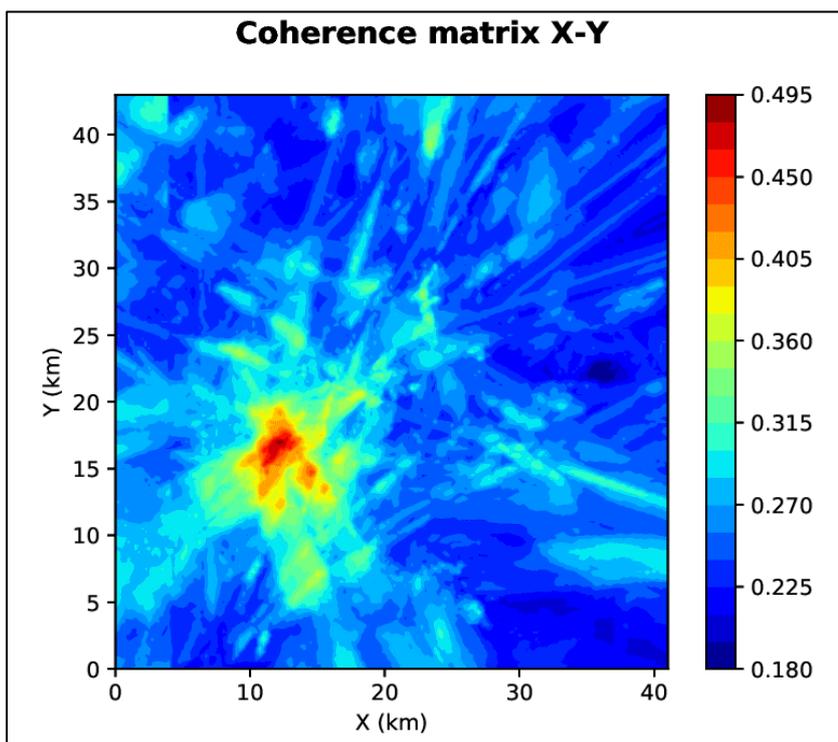


Figura 16: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.

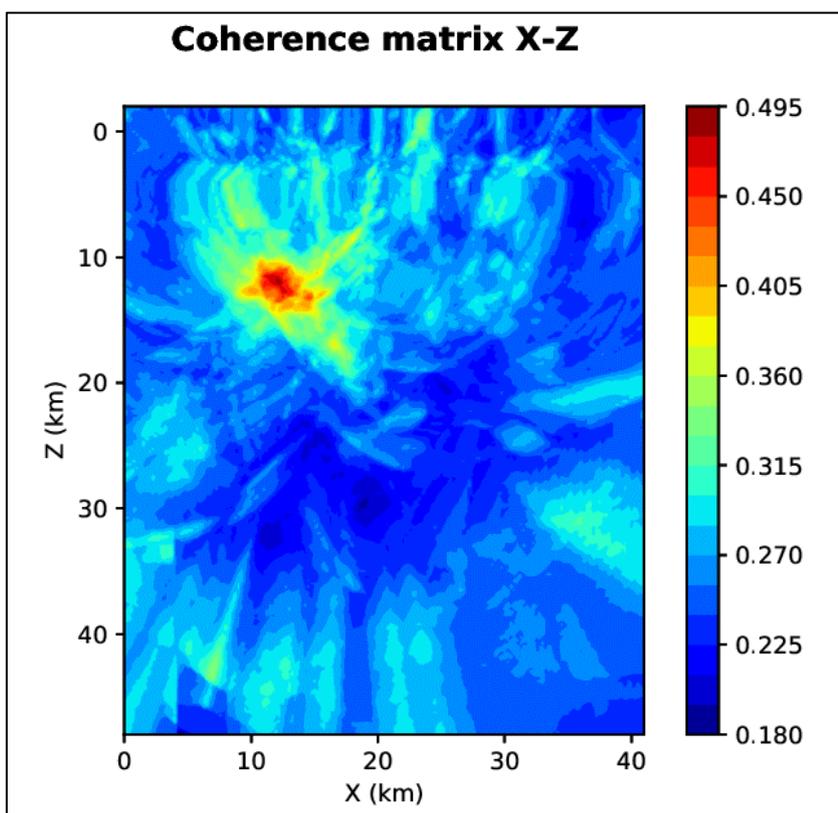


Figura 17: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

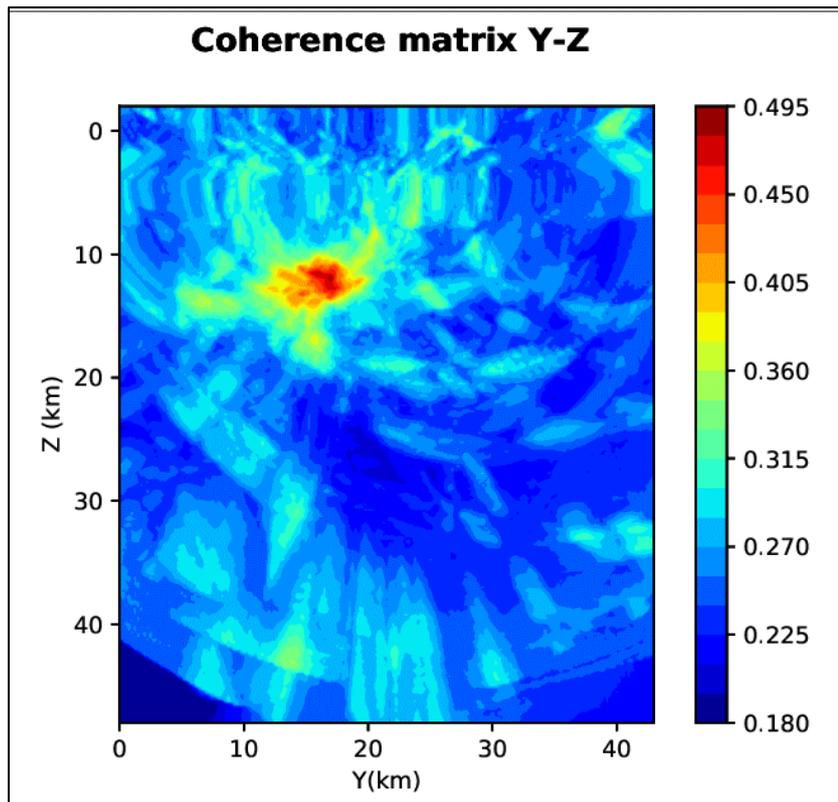


Figura 18: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.3. Evento 3: 17/04/2019 03:06:01 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _l
3	17/04/2019 03:06:01	40.59	16.06	23.60	0.50	0.4 ± 0.3

In Figura 19 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

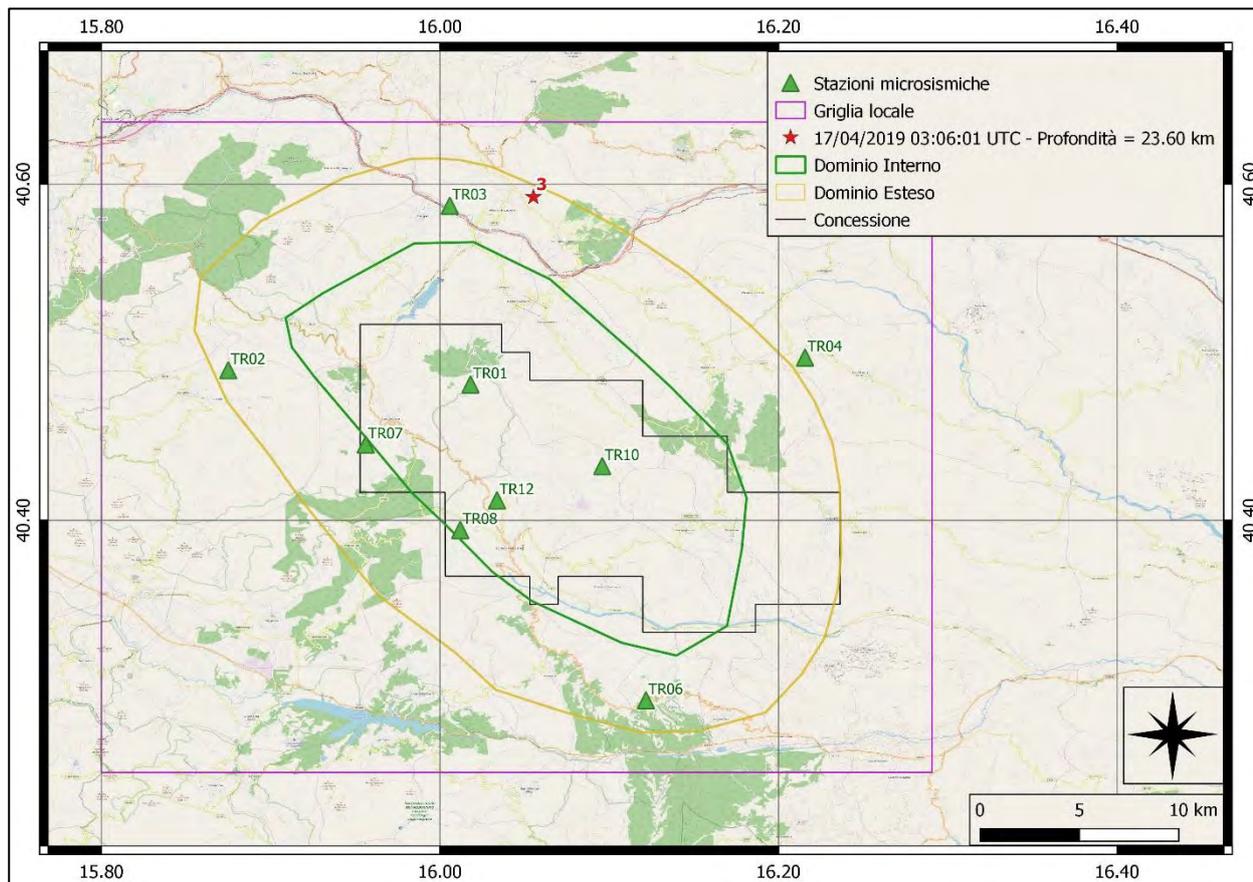


Figura 19: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 17/04/2019 03:06:01 UTC verificatosi a profondità 23.60 km

In Figura 20 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 3: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

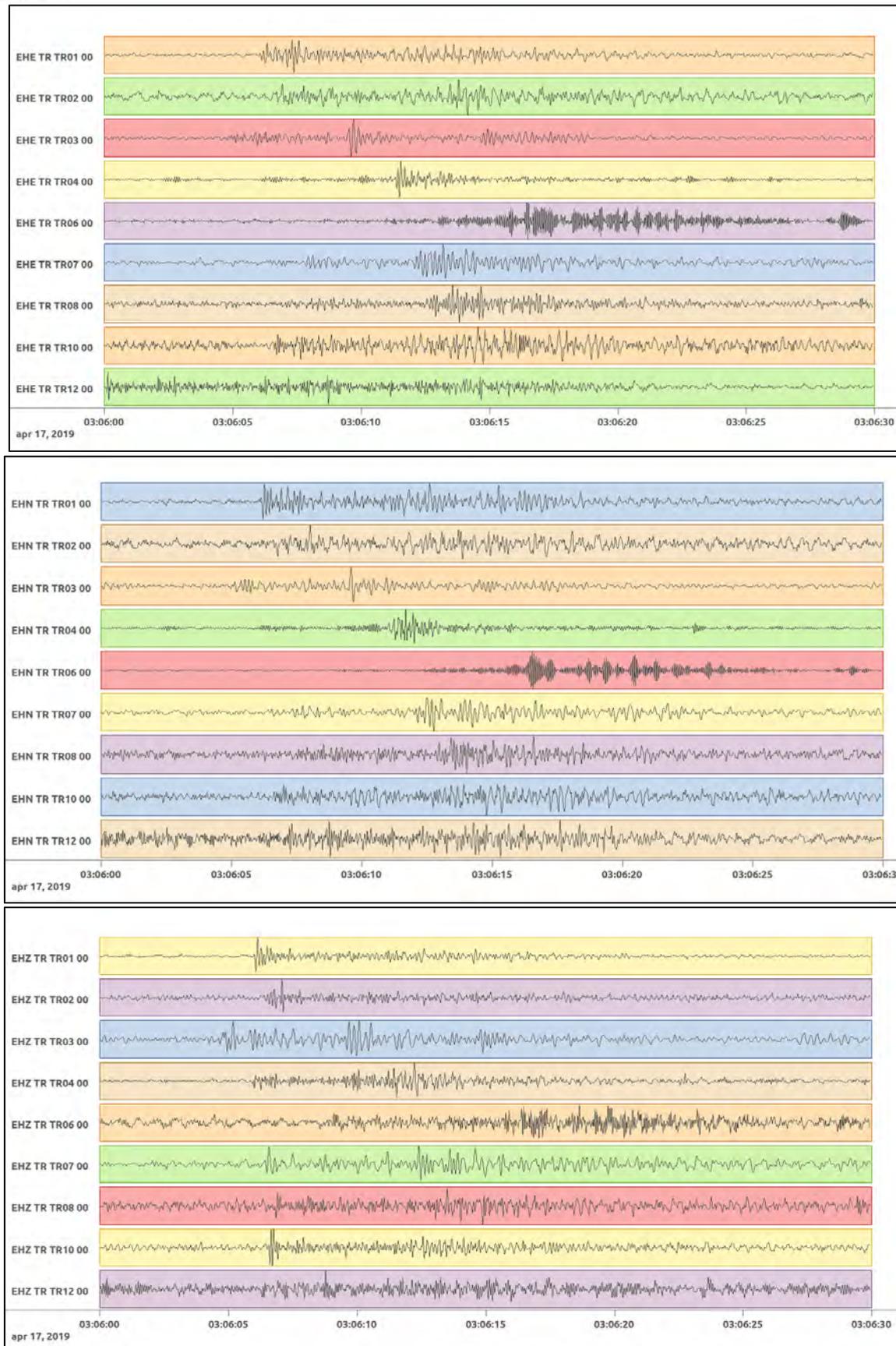


Figura 20: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 3, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

6.4. Evento 4: 23/04/2019 11:24:06 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _I	Stazioni INGV
4	23/04/2019 11:24:06	40.54	16.01	17.22	1.24	1.0 ± 0.3	PTRP

In Figura 21 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

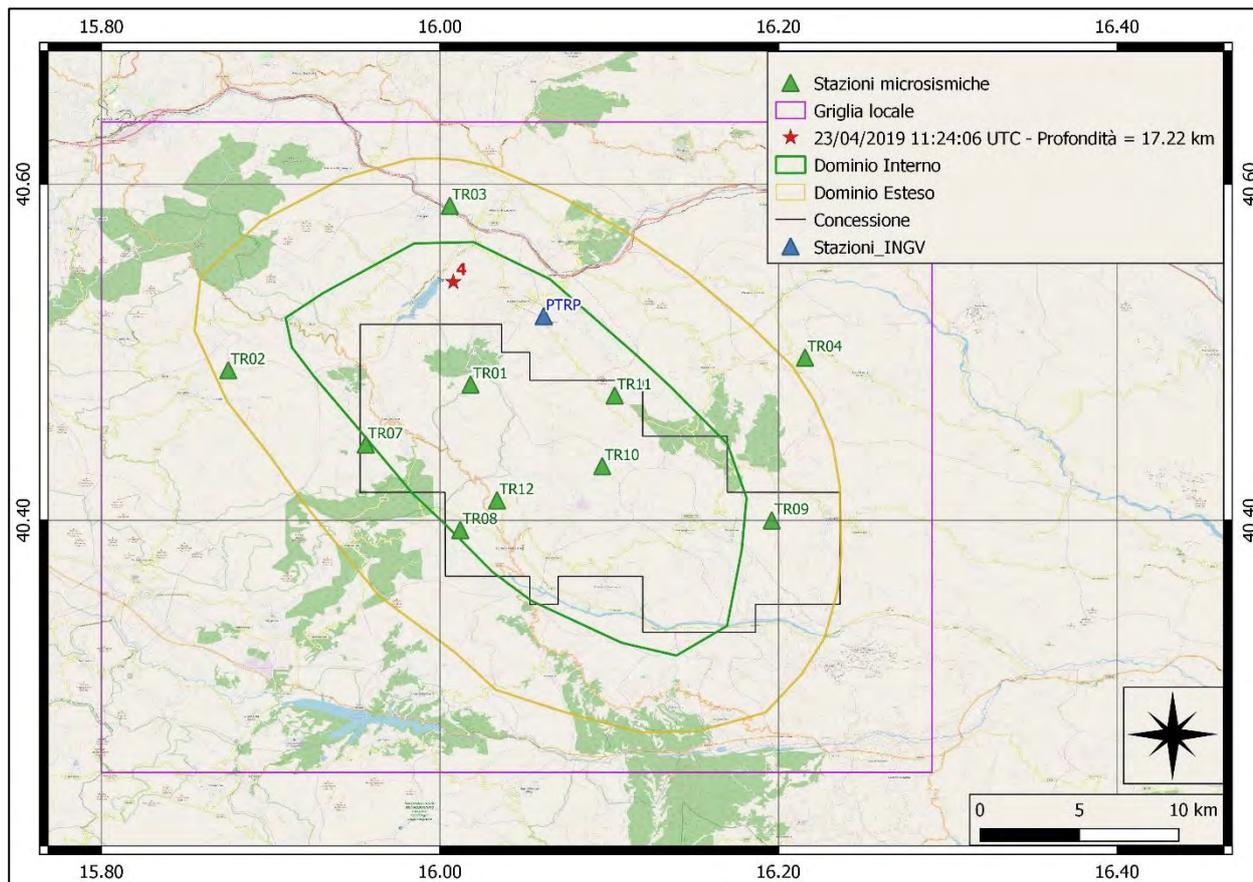


Figura 21: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 23/04/2019 11:24:06 UTC verificatosi a profondità 17.22 km

In Figura 22 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 4: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

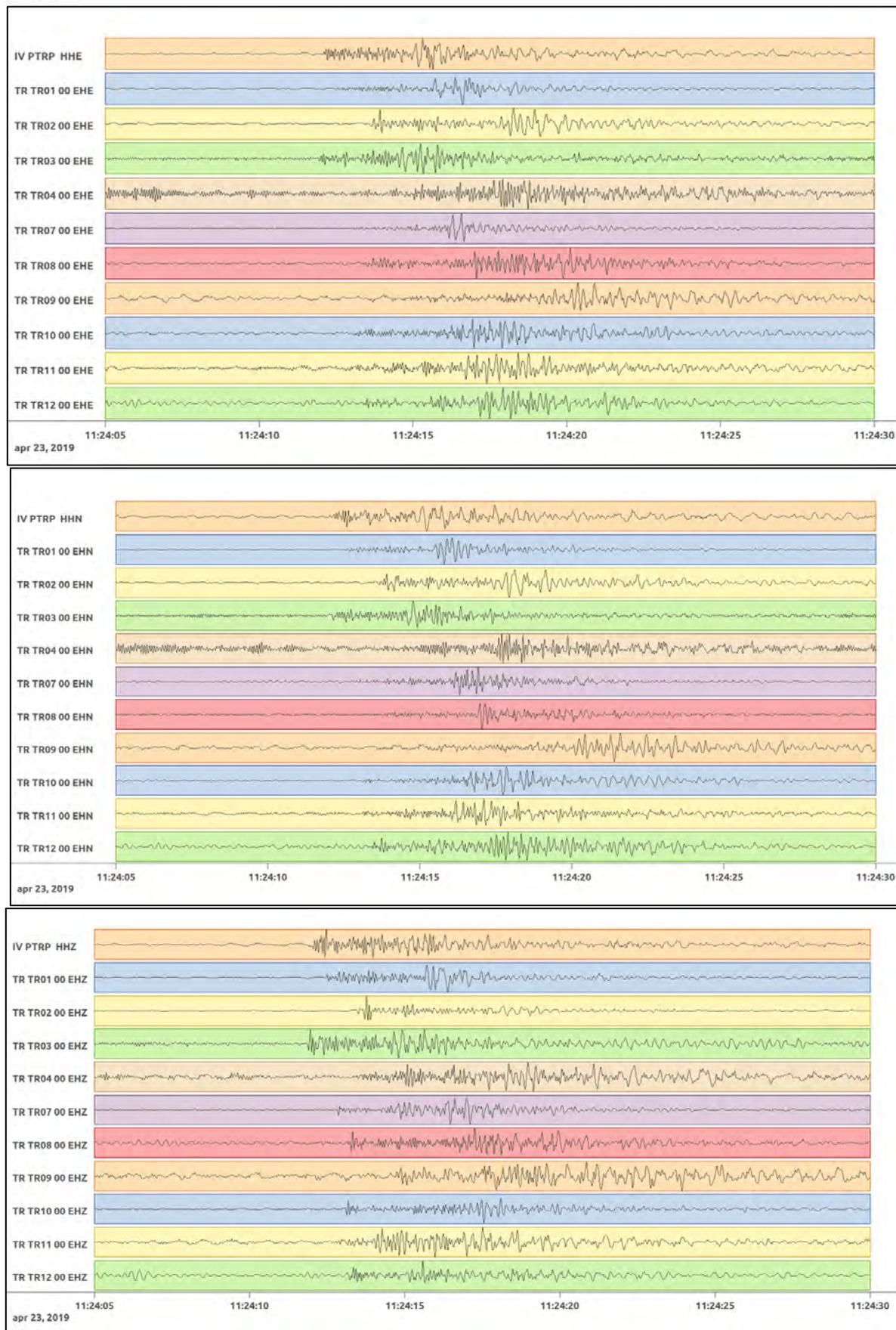


Figura 22: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 4, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

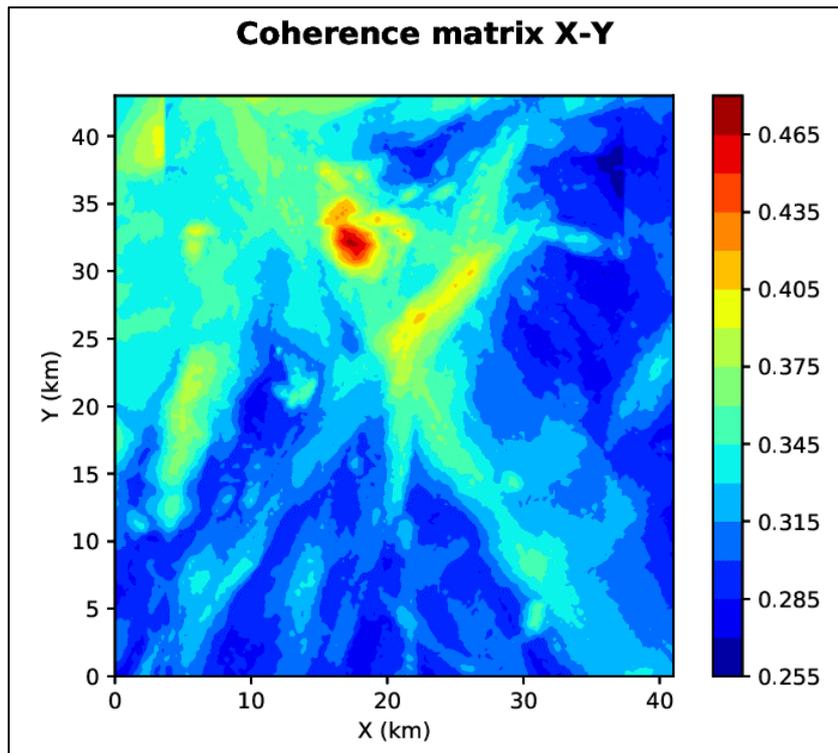


Figura 23: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.

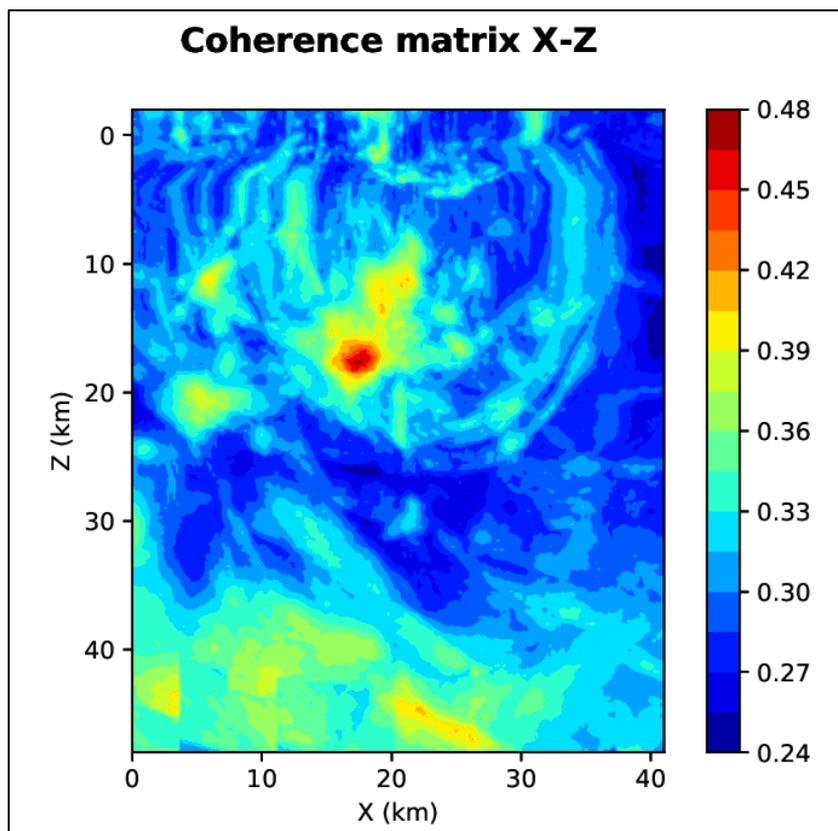


Figura 24: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

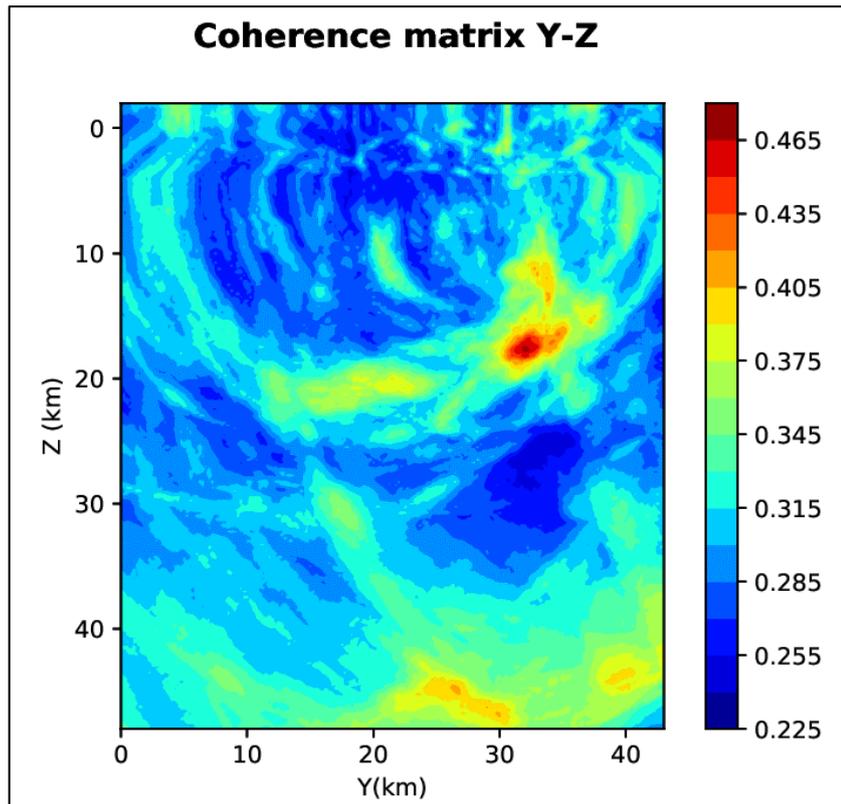


Figura 25: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.5. Evento 5: 07/05/2019 07:20:05 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _l
5	07/05/2019 07:20:05	40.56	16.19	15.12	0.50	0.9 ± 0.2

In Figura 26 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

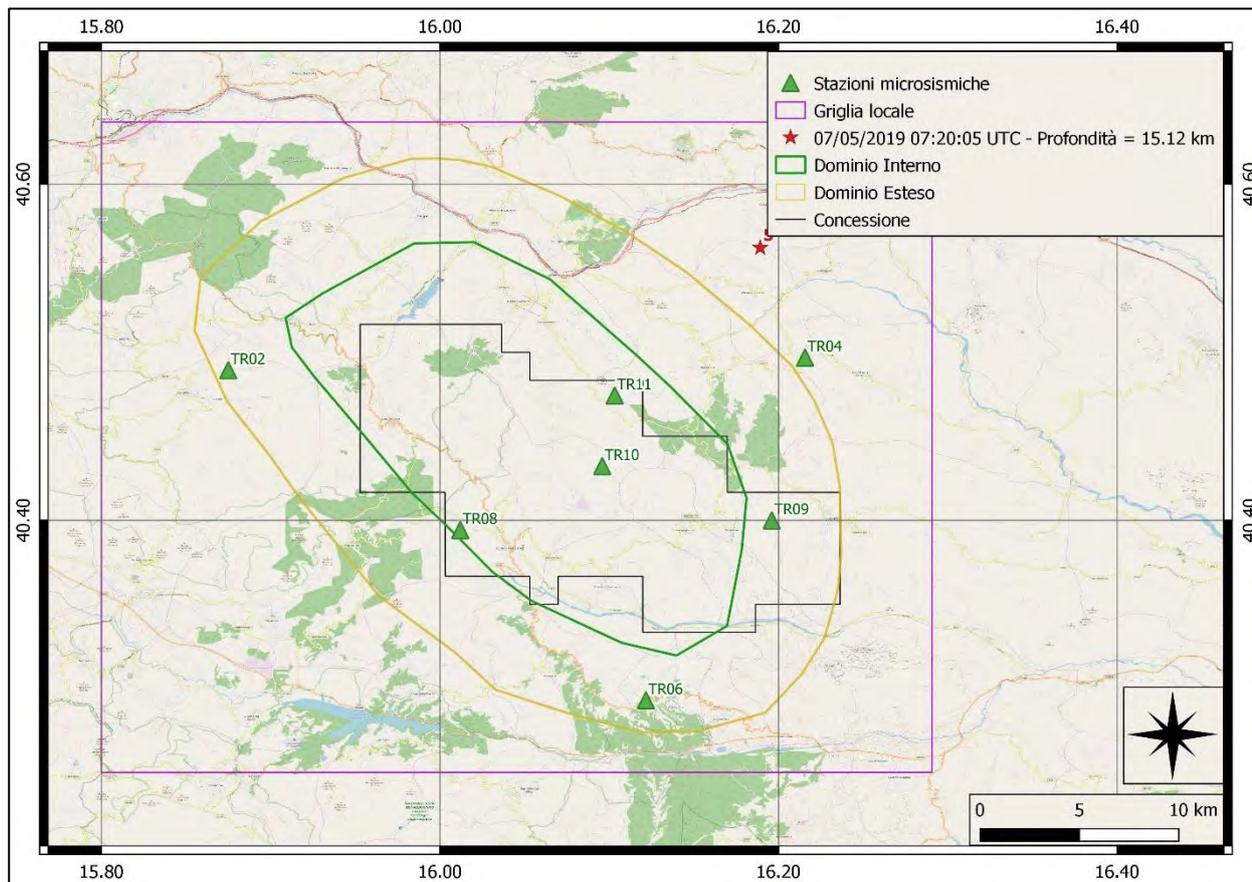


Figura 26: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 07/05/2019 07:20:05 UTC verificatosi a profondità 15.12 km

In Figura 27 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 5: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

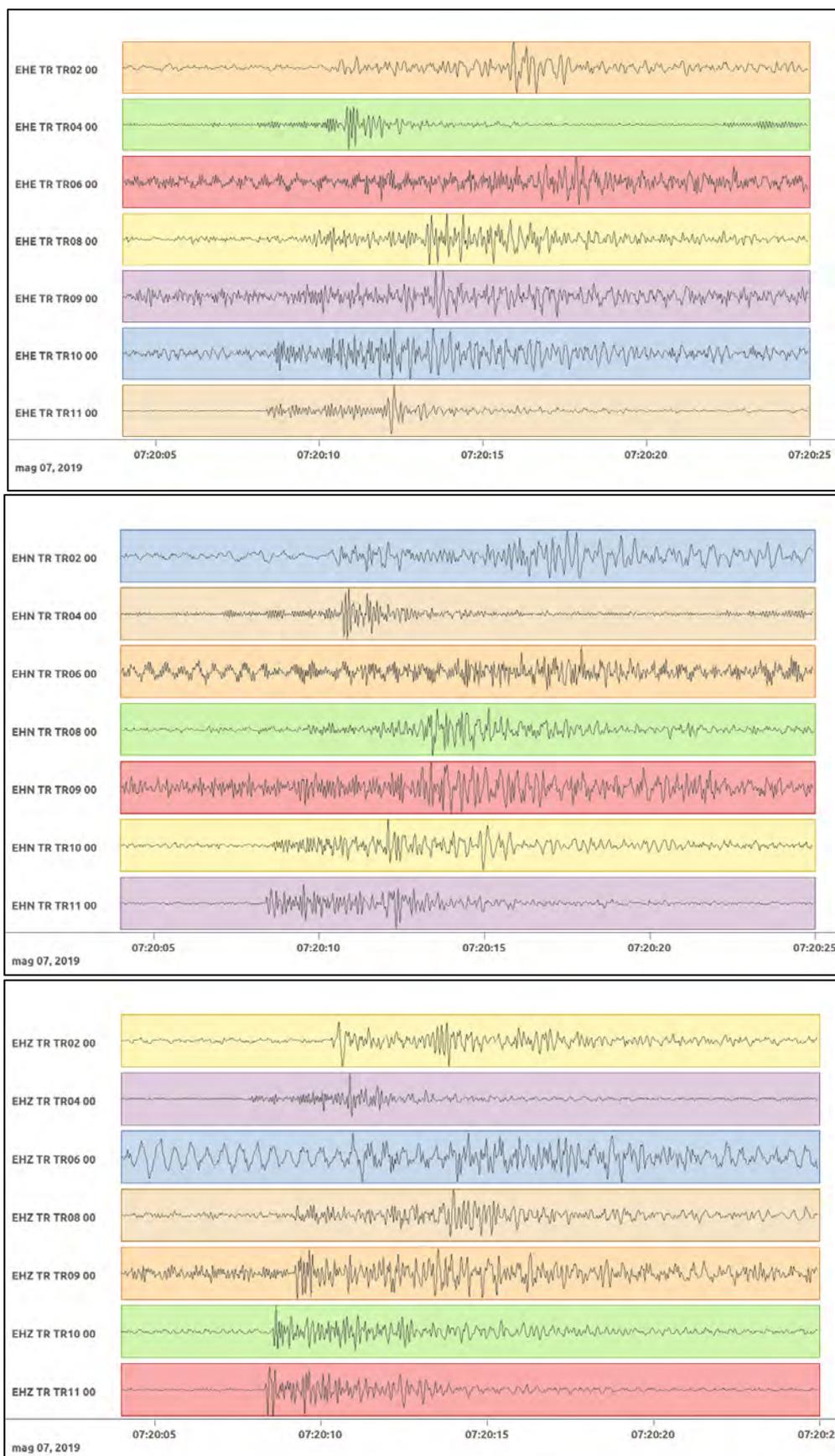


Figura 27: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 5, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

6.6. Evento 6: 18/05/2019 01:13:29 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _l
6	18/05/2019 01:13:29	40.97	16.16	16.96	0.60	0.3 ± 0.3

In Figura 28 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

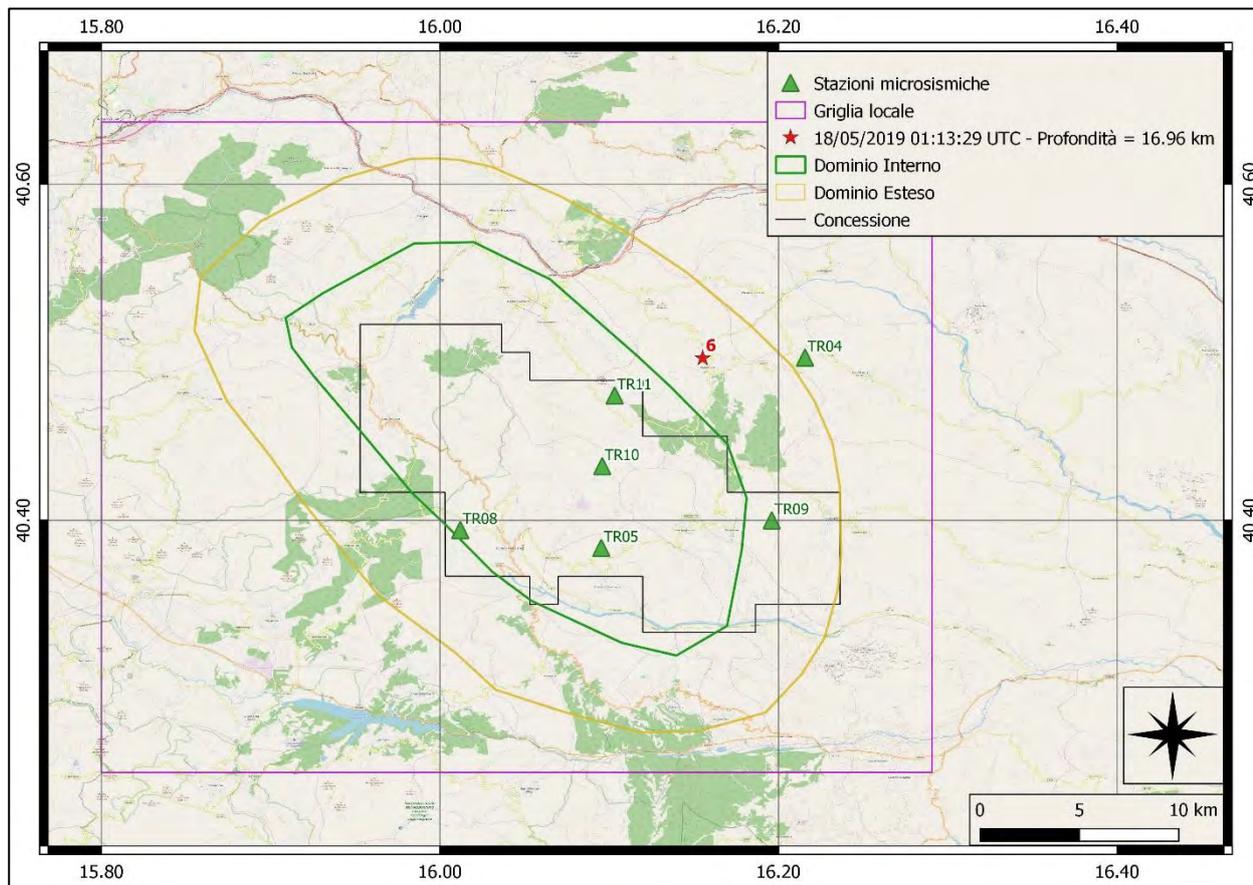


Figura 28: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 18/05/2019 01:13:29 UTC verificatosi a profondità 16.96 km

In Figura 29 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 6: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

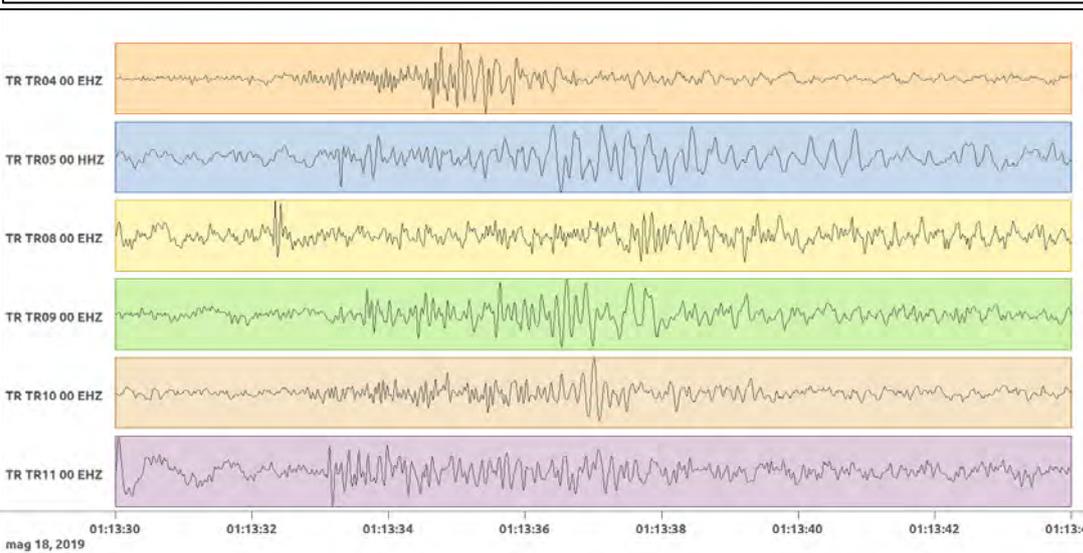
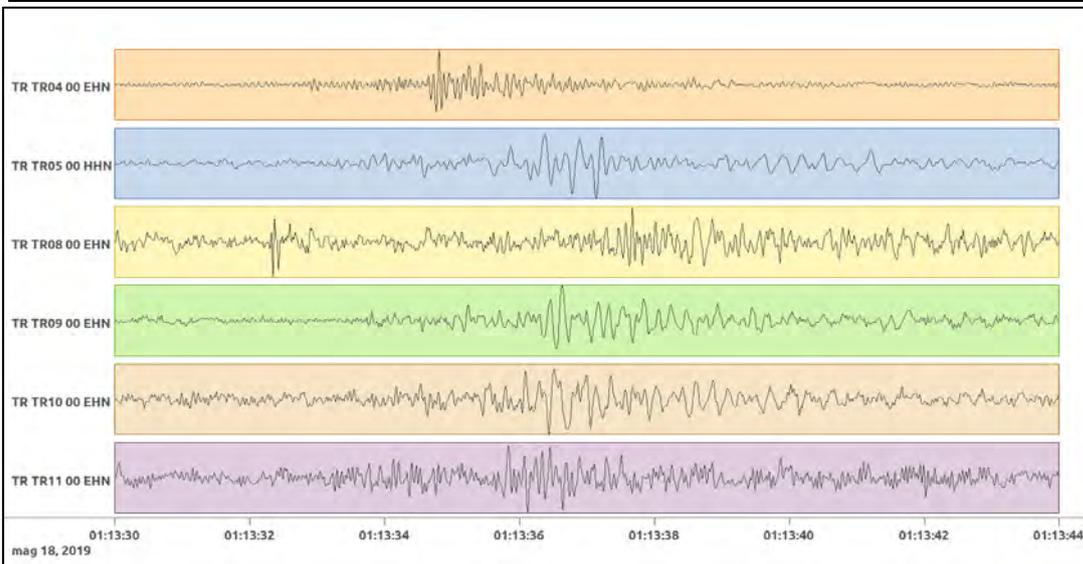
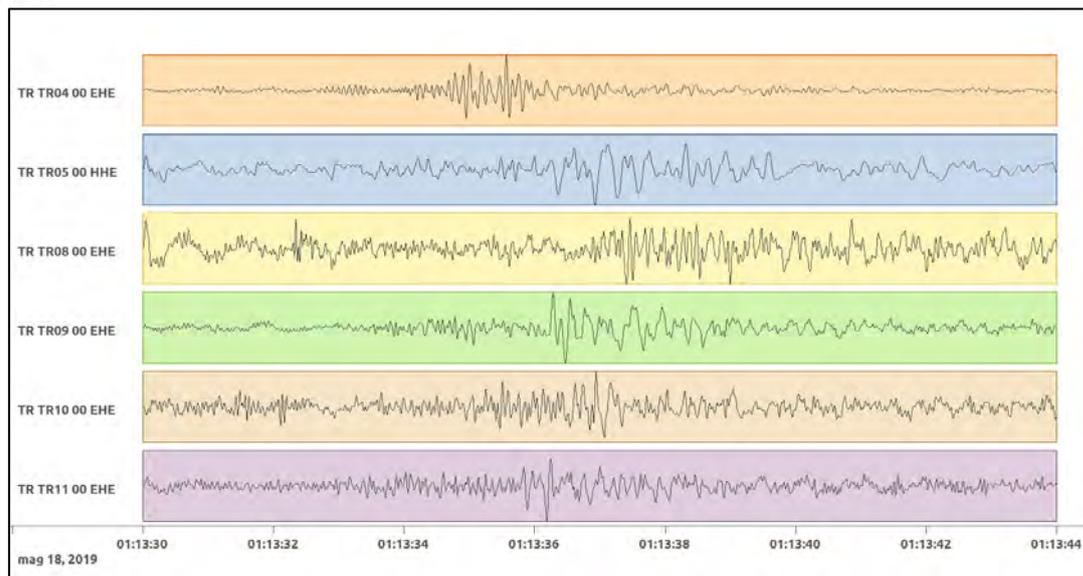


Figura 29: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 6, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

6.7. Evento 7: 18/05/2019 02:17:55 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _l
7	18/05/2019 02:17:55	40.46	16.19	14.54	1.15	0.9 ± 0.3

In Figura 30 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

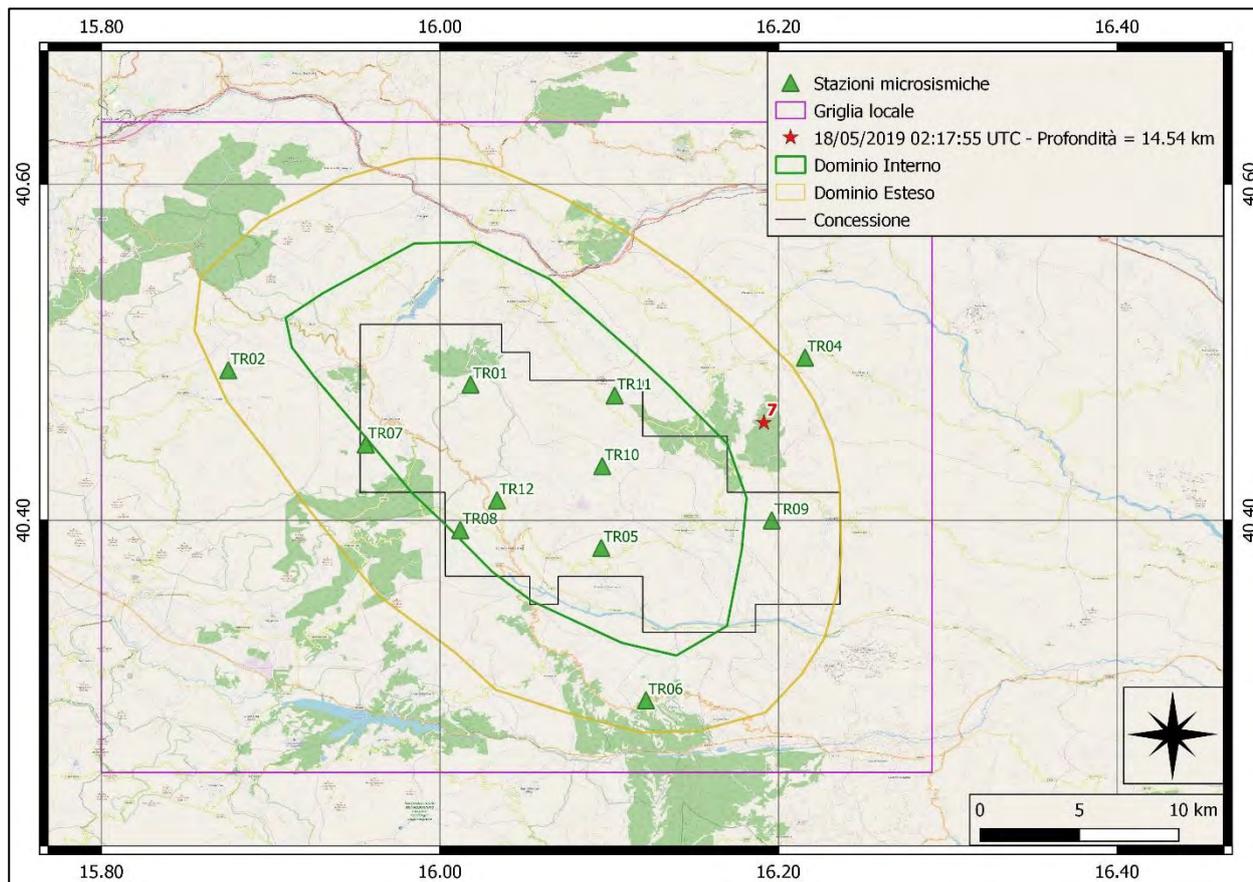


Figura 30: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 18/05/2019 02:17:55 UTC verificatosi a profondità 14.54 km

In Figura 31 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 7: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

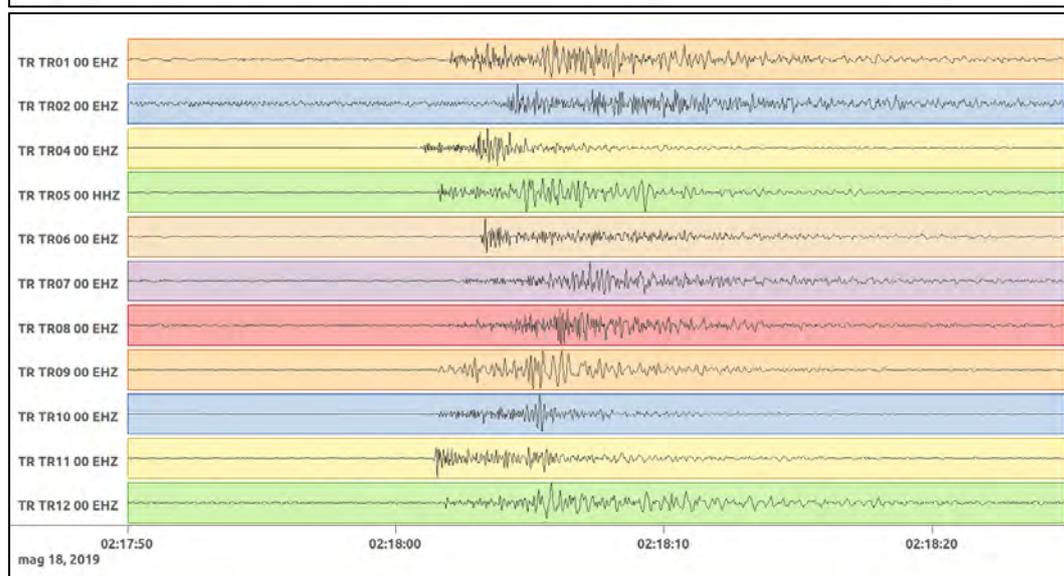
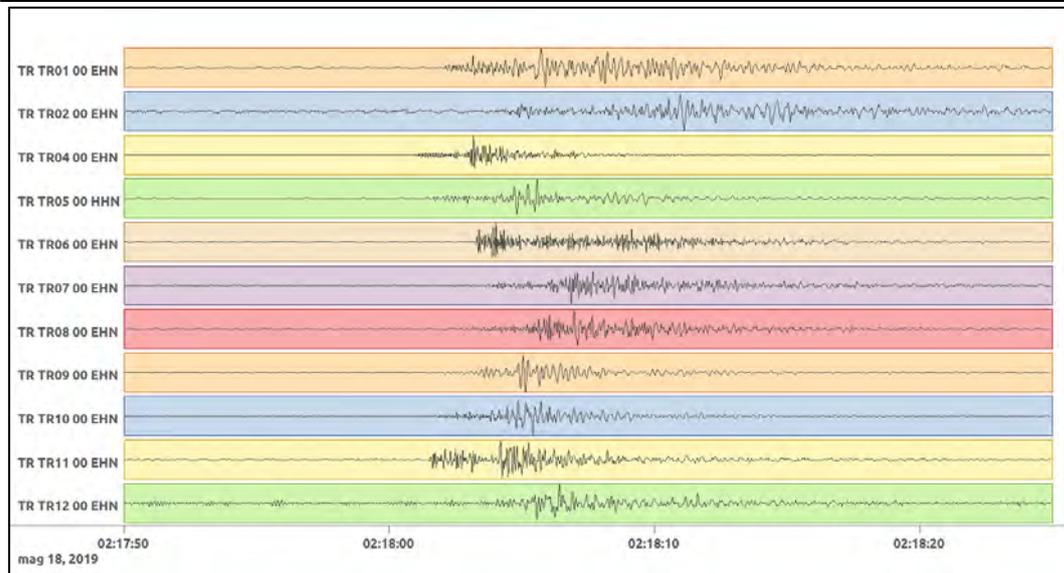
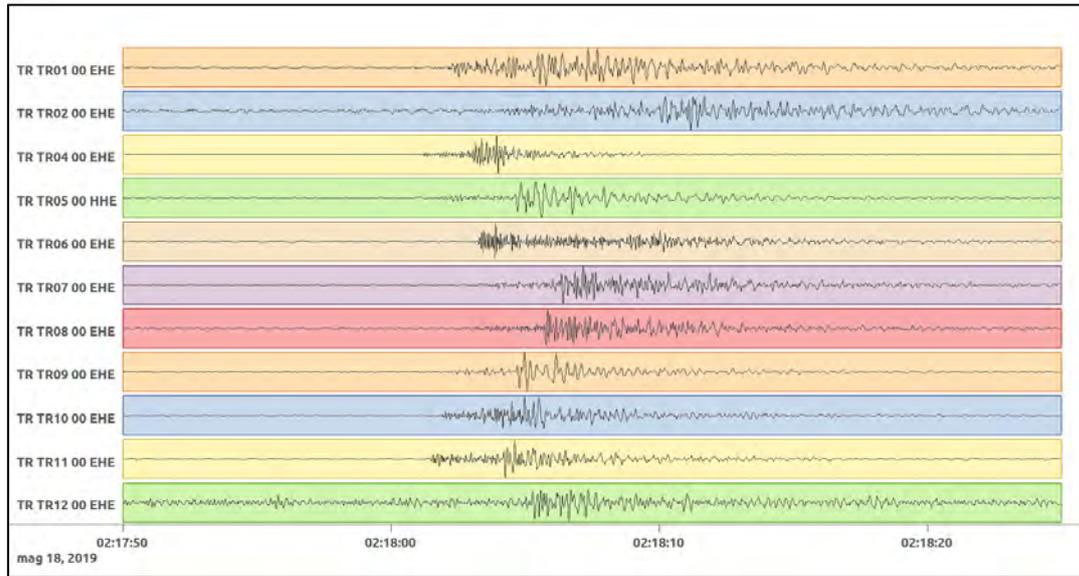


Figura 31: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 7, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

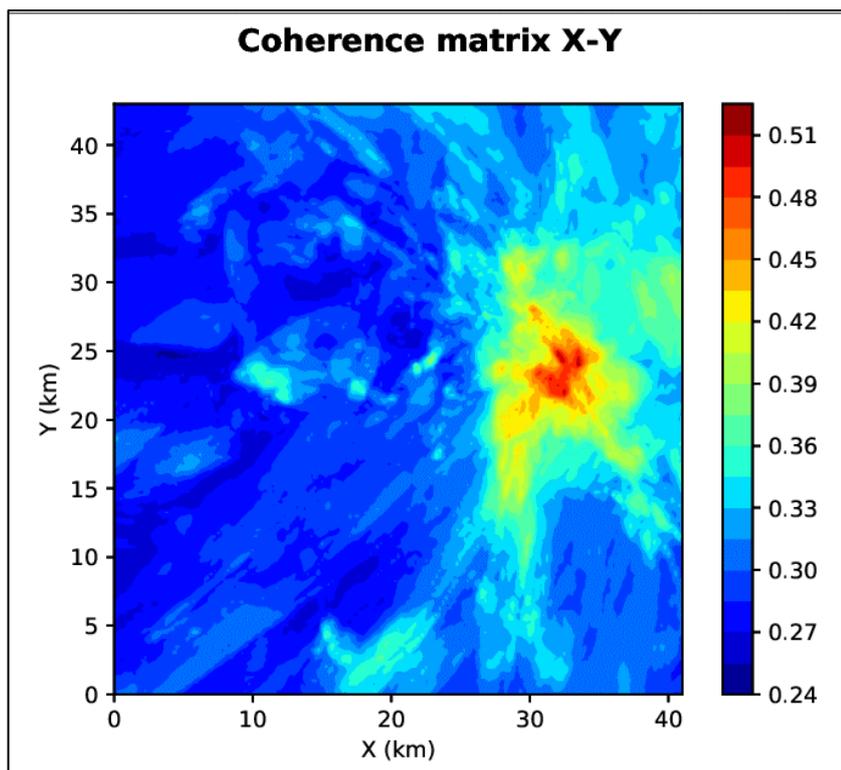


Figura 32: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.

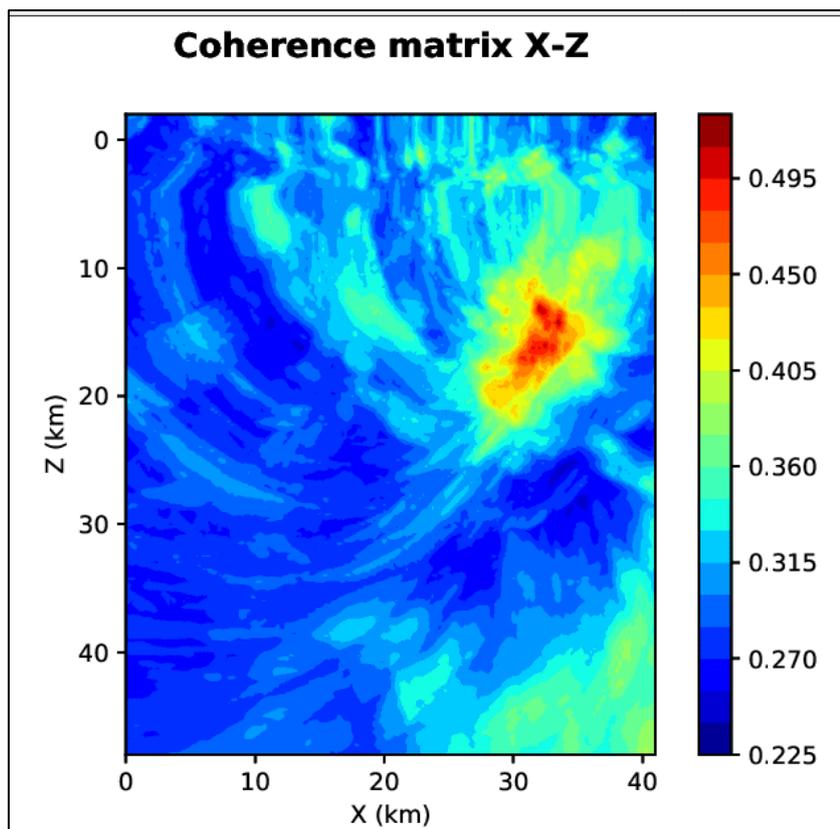


Figura 33: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

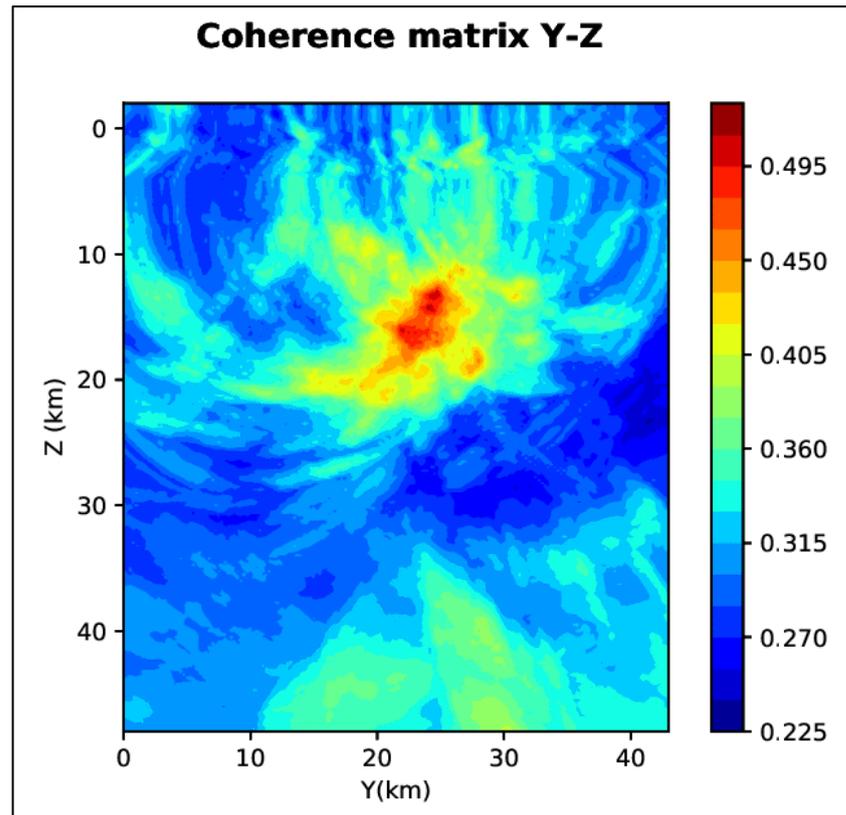


Figura 34: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.8. Evento 8: 18/05/2019 02:42:37 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _l
8	18/05/2019 02:42:37	40.46	16.24	13.85	1.00	0.2 ± 0.2

In Figura 35 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

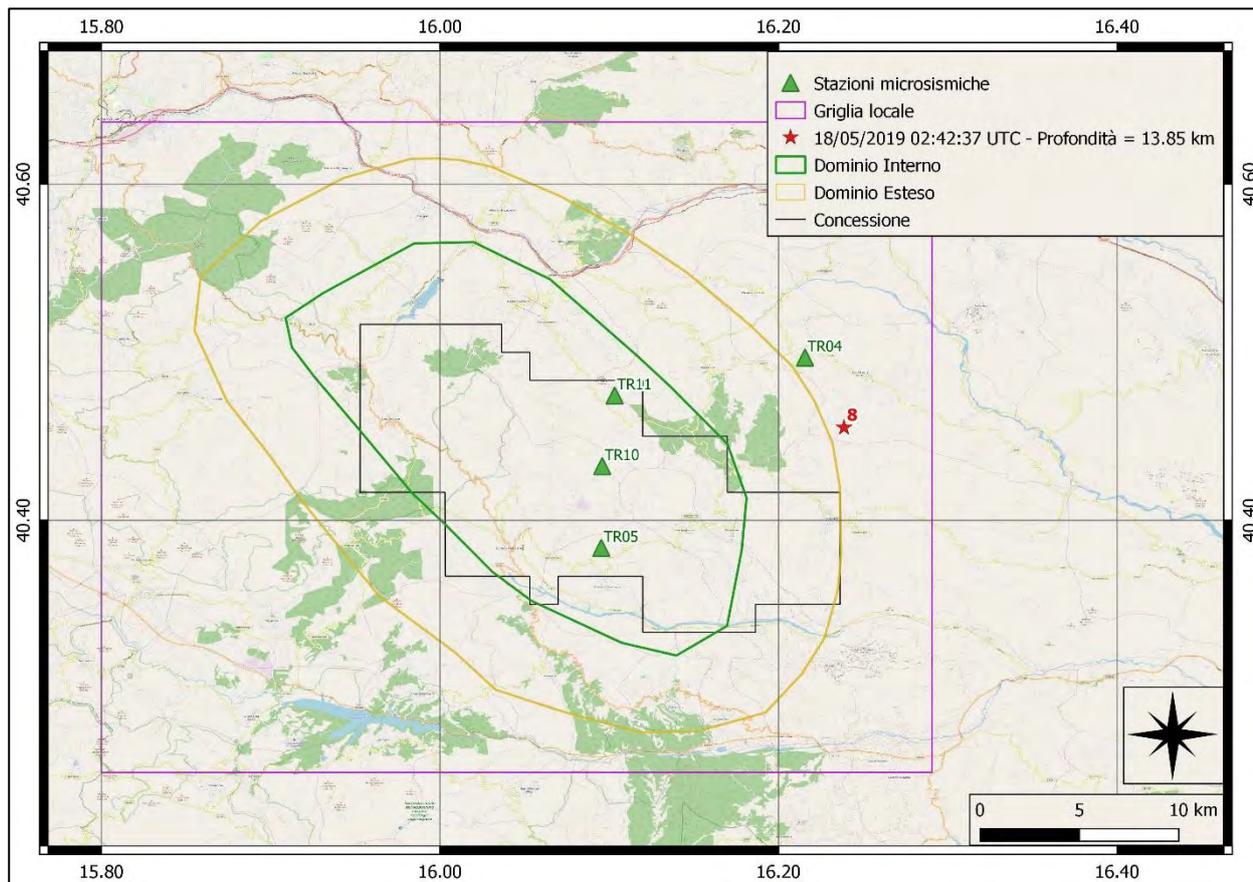


Figura 35: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 18/05/2019 02:42:37 UTC verificatosi a profondità 13.85 km

In Figura 36 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 8: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

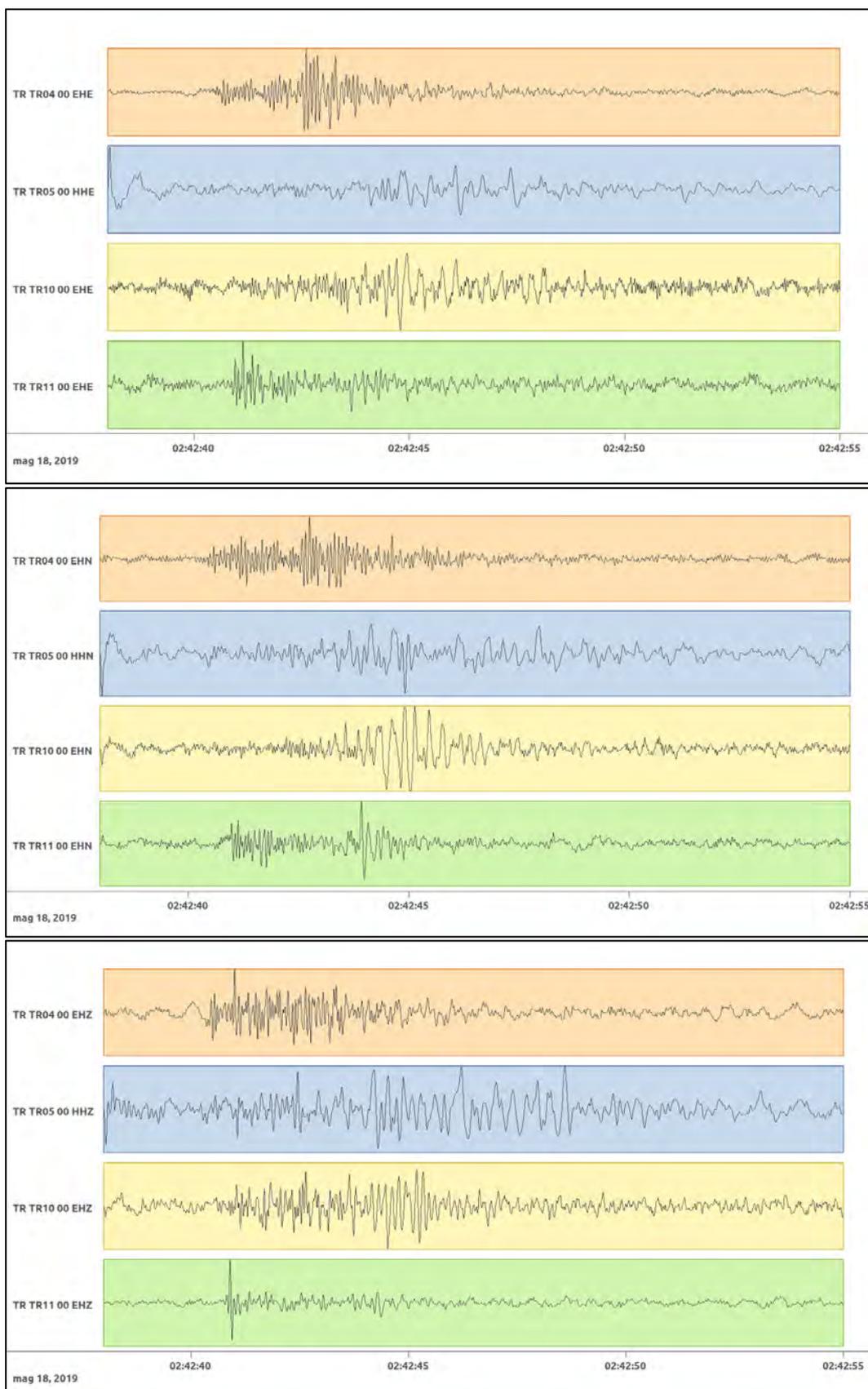


Figura 36: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 8, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

6.9. Evento 9: 18/05/2019 02:43:51 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i
9	18/05/2019 02:43:51	40.45	16.17	15.50	0.25	0.8 ± 0.3

In Figura 37 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

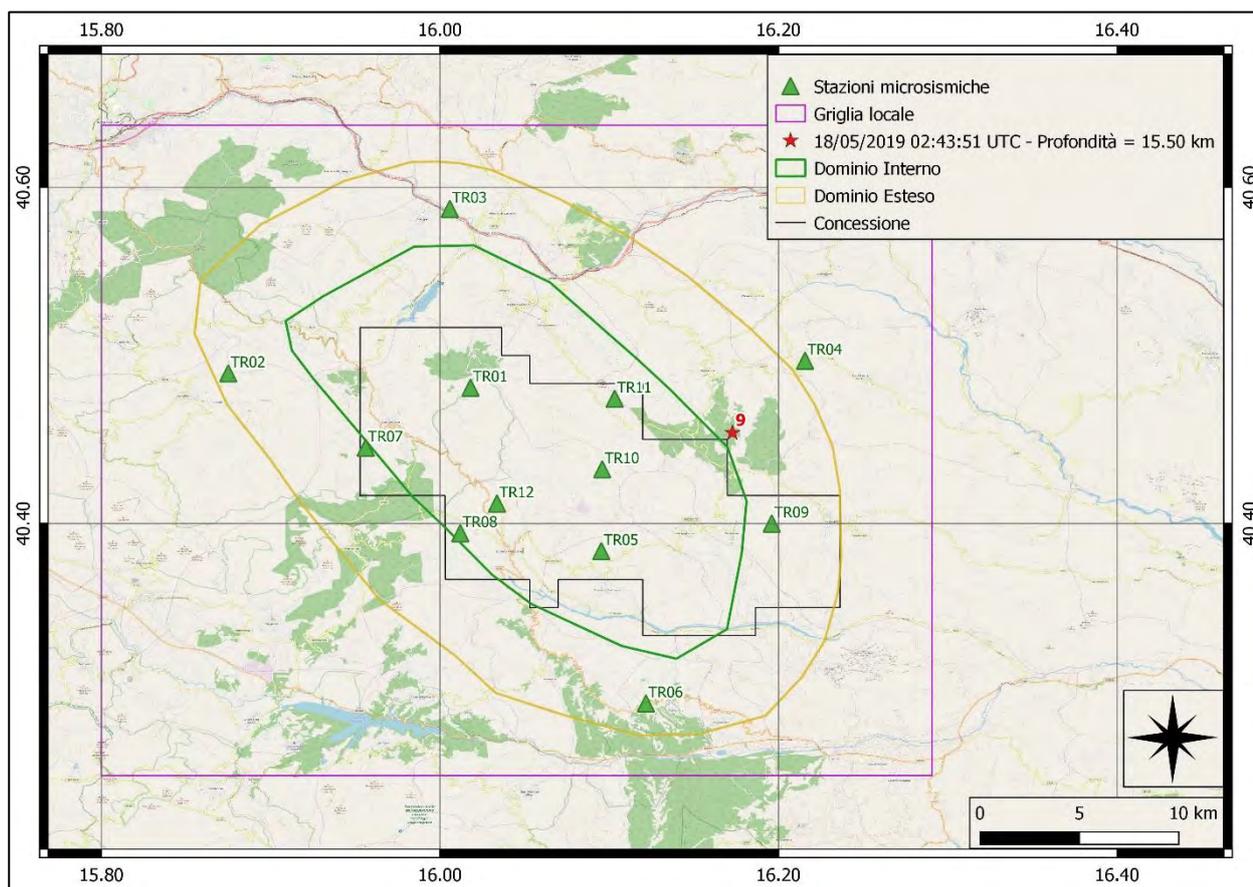


Figura 37: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 18/05/2019 02:43:51 UTC verificatosi a profondità 15.50 km

In Figura 38 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 9: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

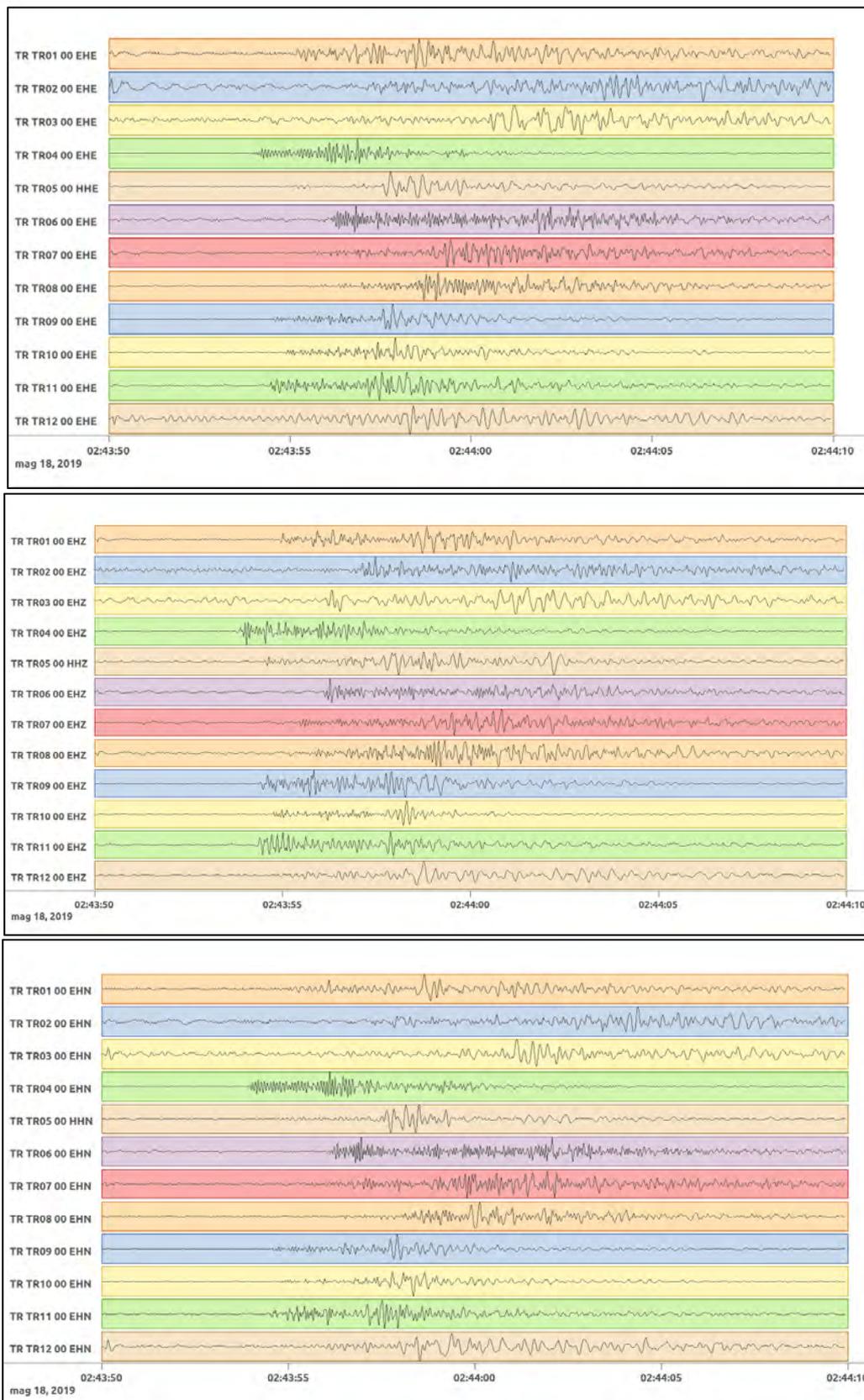


Figura 38: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 9, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

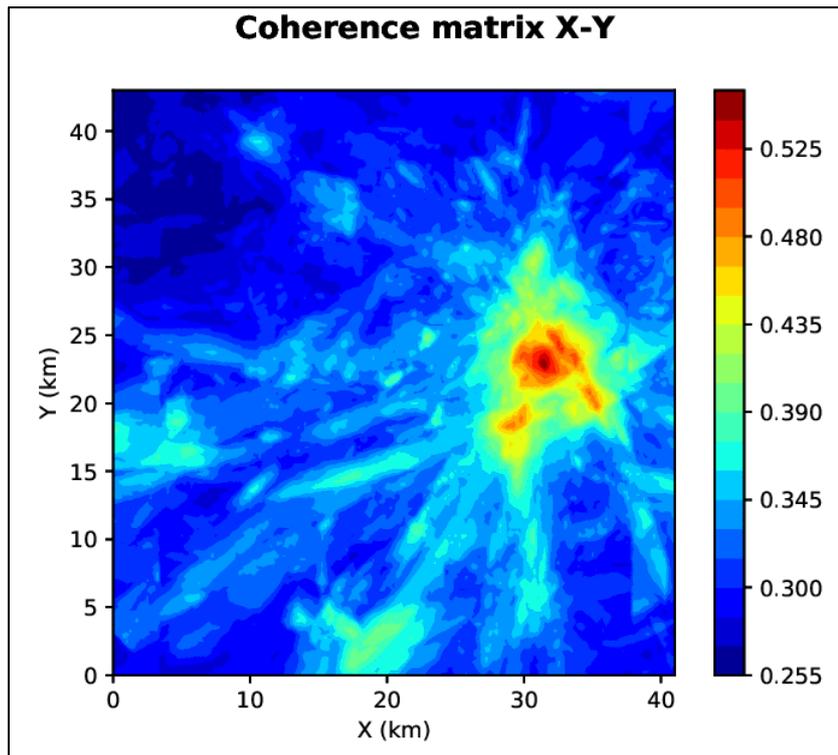


Figura 39: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.

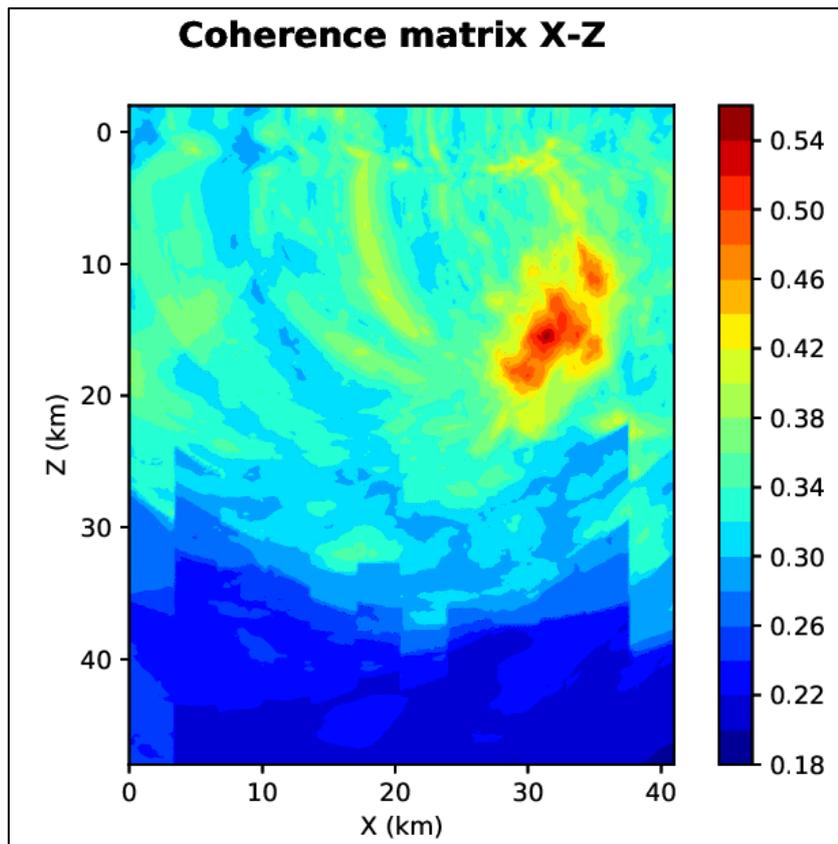


Figura 40: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

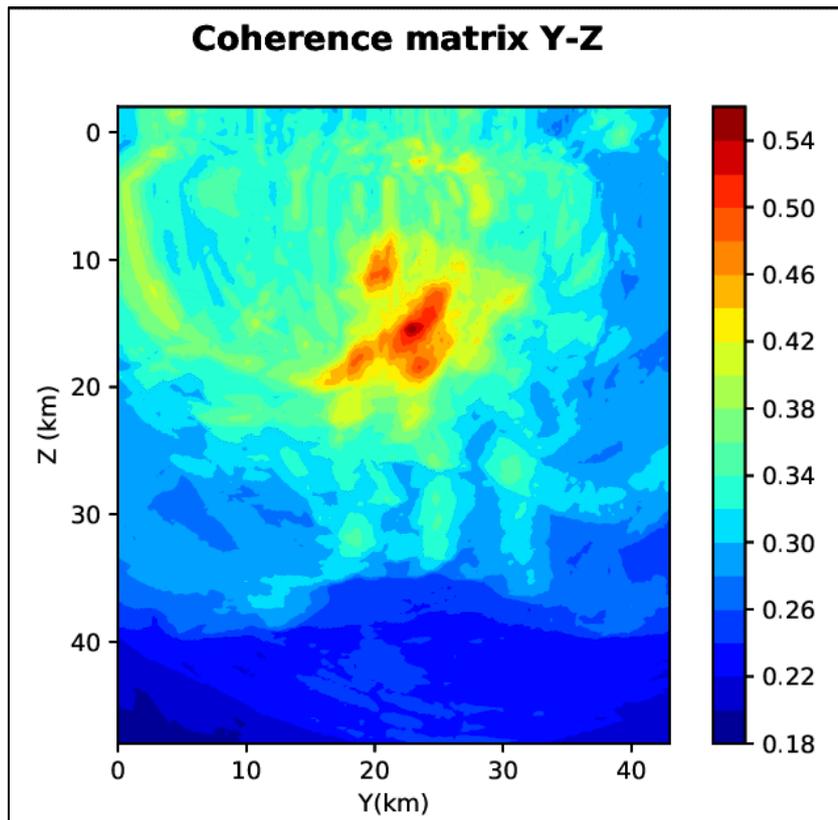


Figura 41: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.10. Evento 10: 19/05/2019 11:23:17 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _L
10	19/05/2019 11:23:17	40.46	16.21	11.84	0.40	0.9 ± 0.3

In Figura 42 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

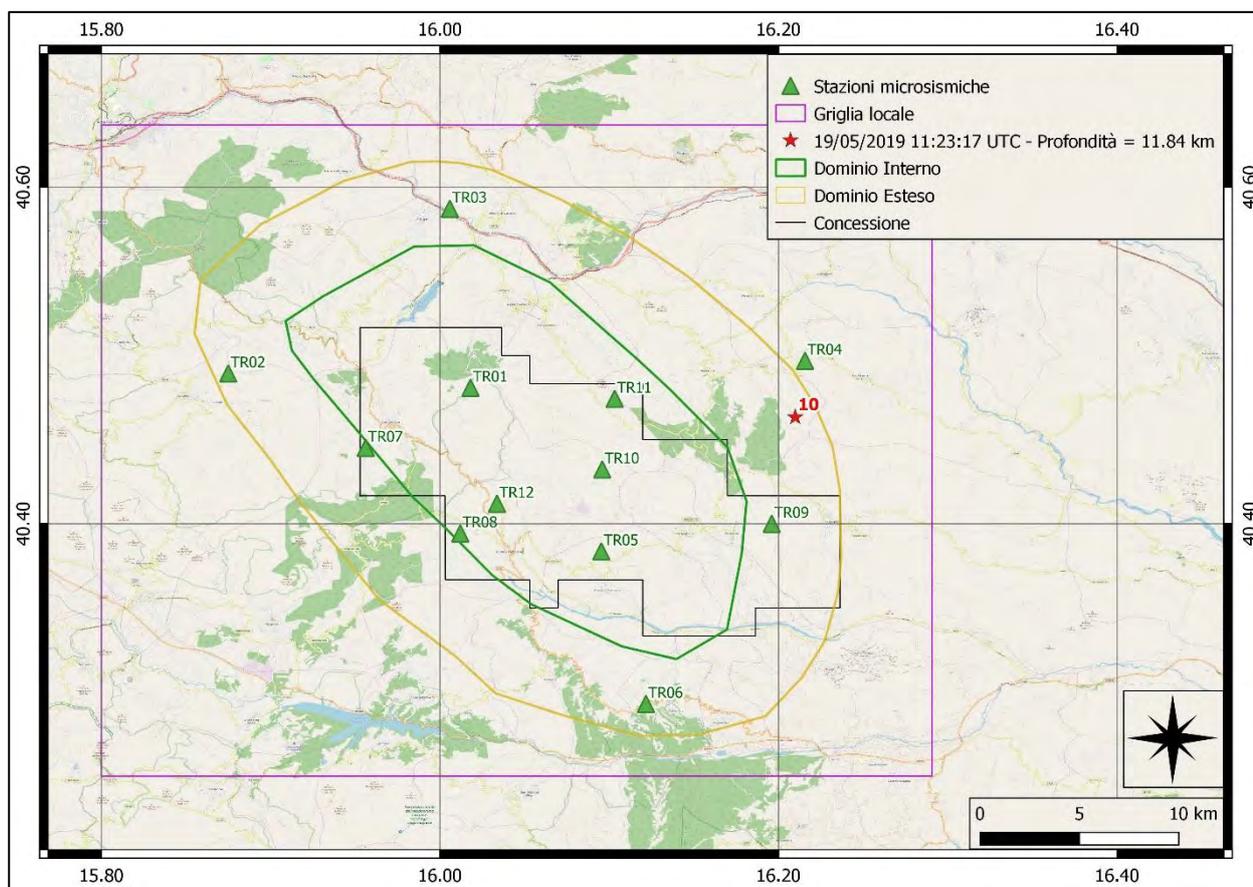


Figura 42: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 19/05/2019 11:23:17 UTC verificatosi a profondità 11.84 km

In Figura 43 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 10: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

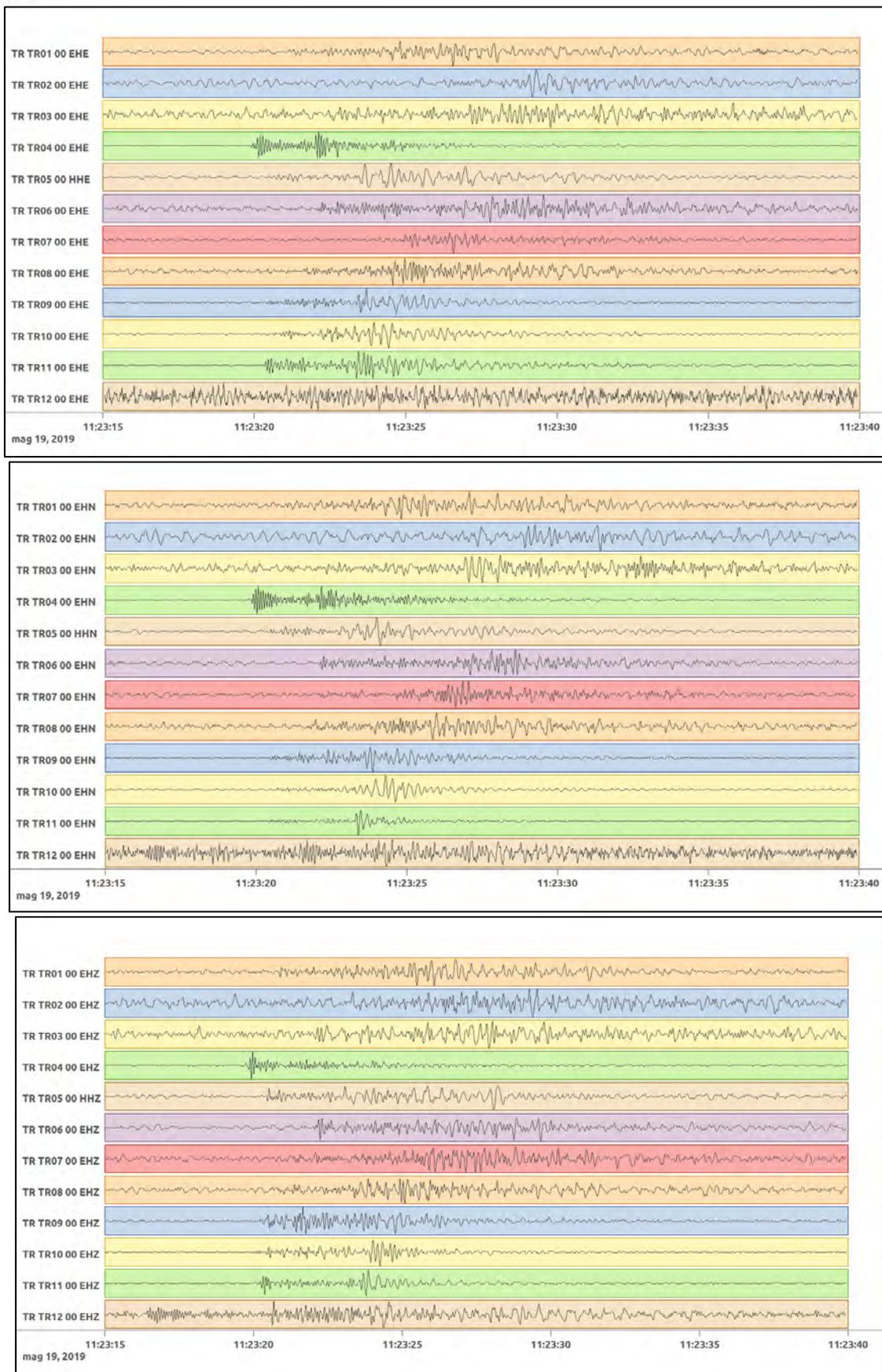


Figura 43: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 10, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

6.11. Evento 11: 23/05/2019 13:14:51 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _l
11	23/05/2019 13:14:51	40.62	12.27	28.29	2.37	1.5 ± 0.2

In Figura 44 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

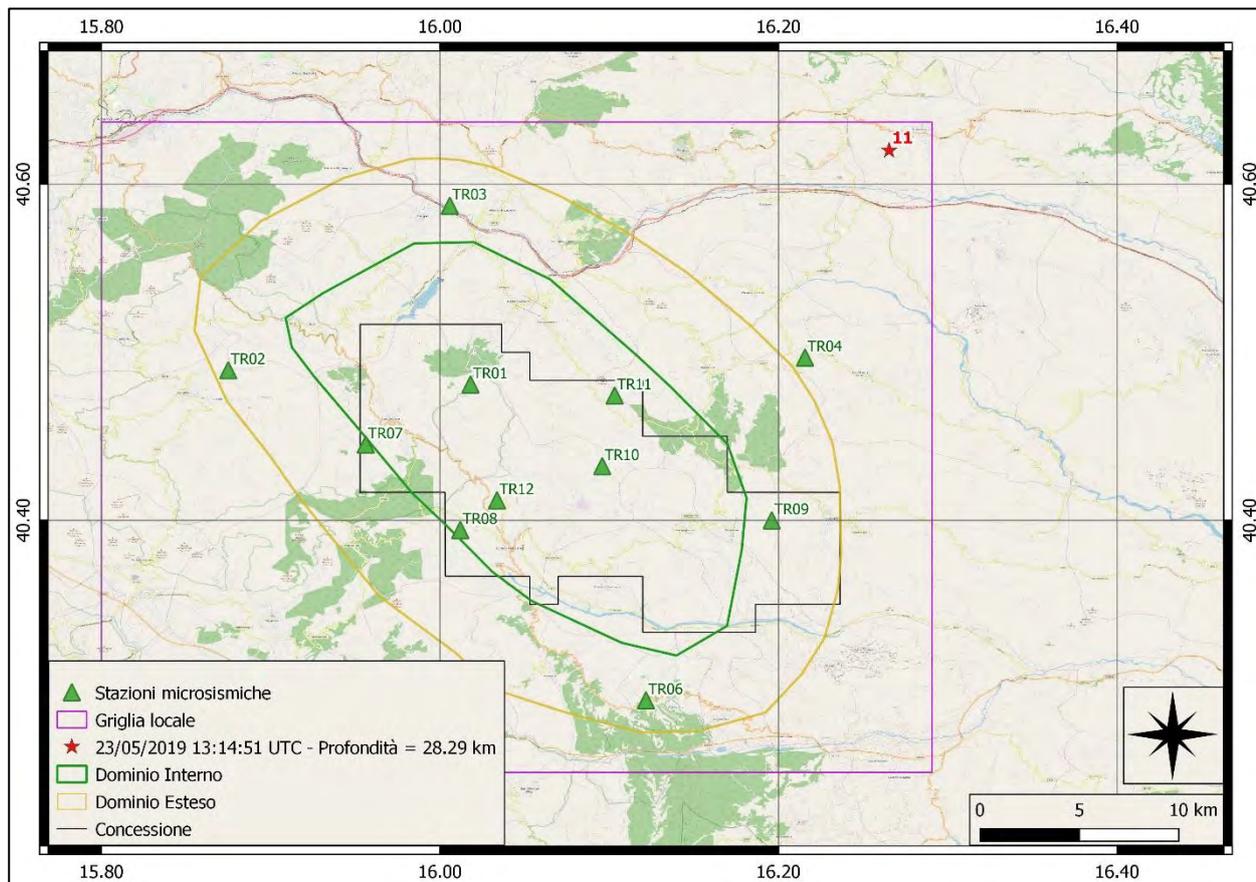


Figura 44: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 23/05/2019 13:14:51 UTC verificatosi a profondità 28.29 km

In Figura 45 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 11: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

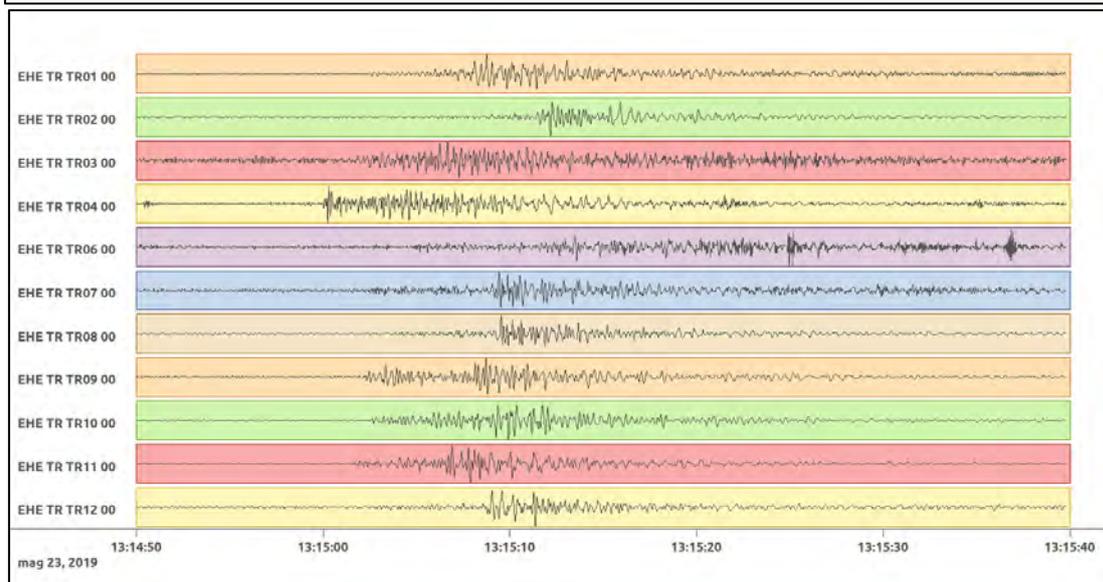
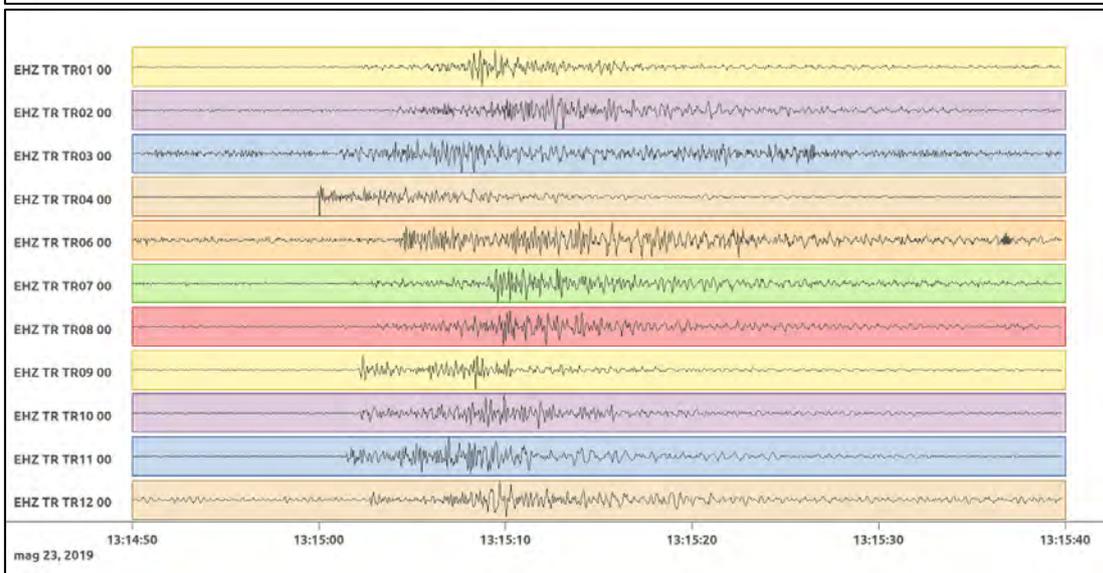
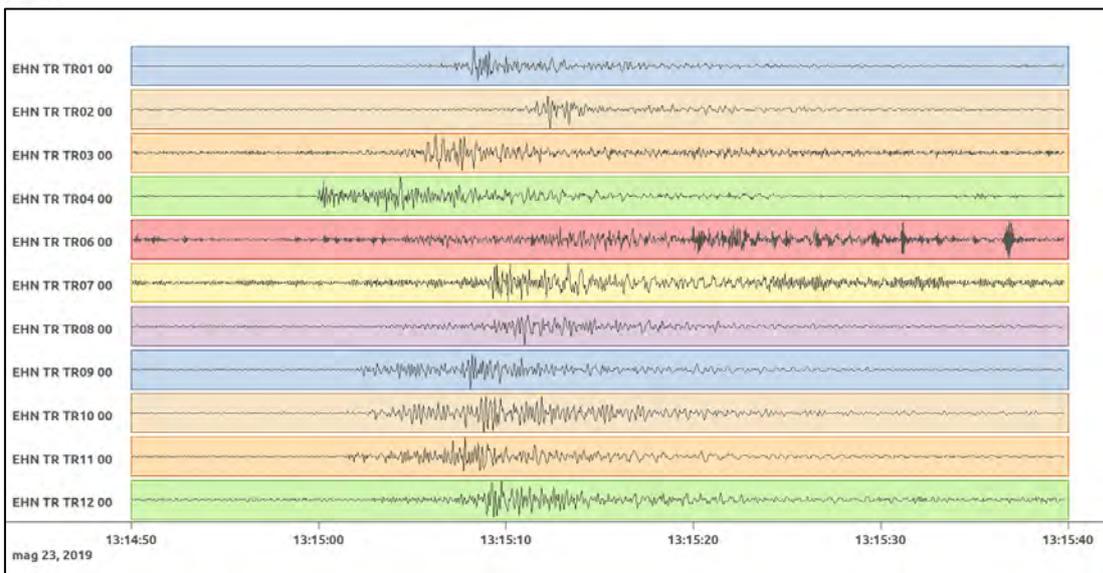


Figura 45: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 11, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

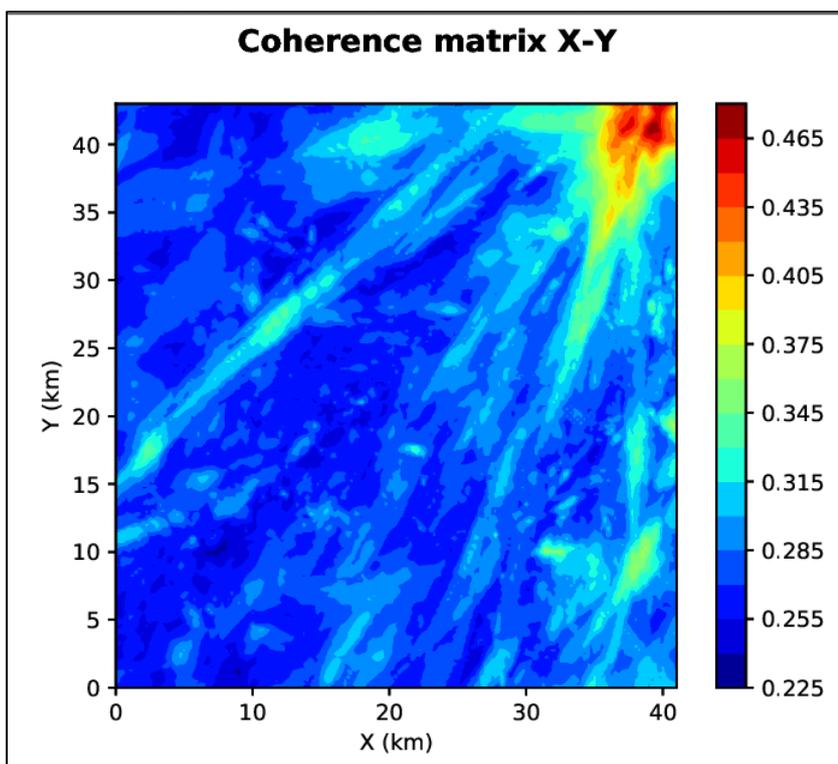


Figura 46: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.

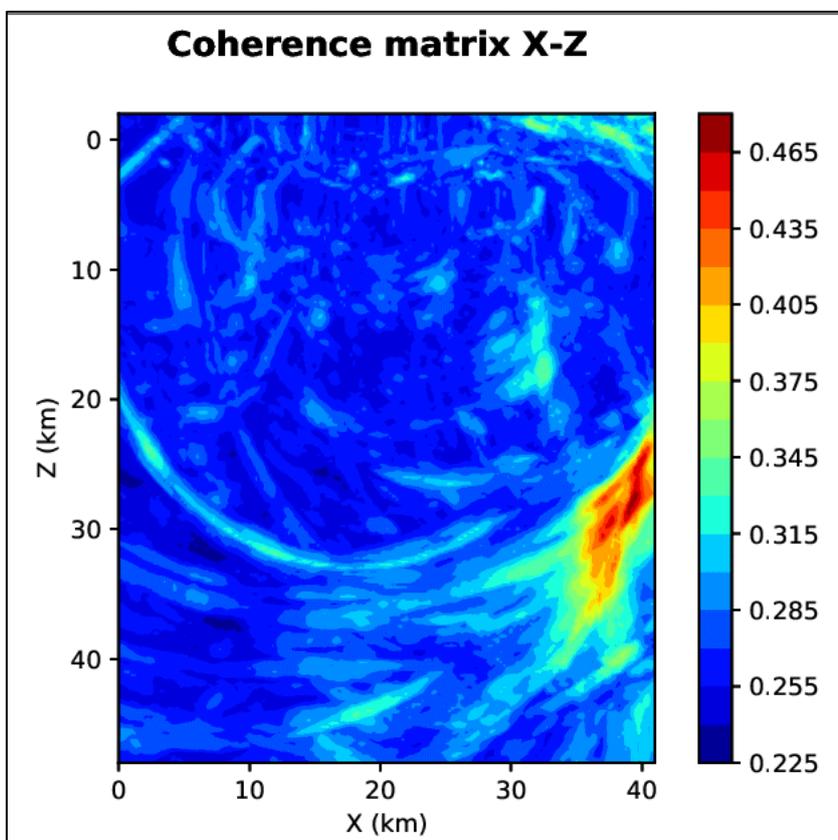


Figura 47: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

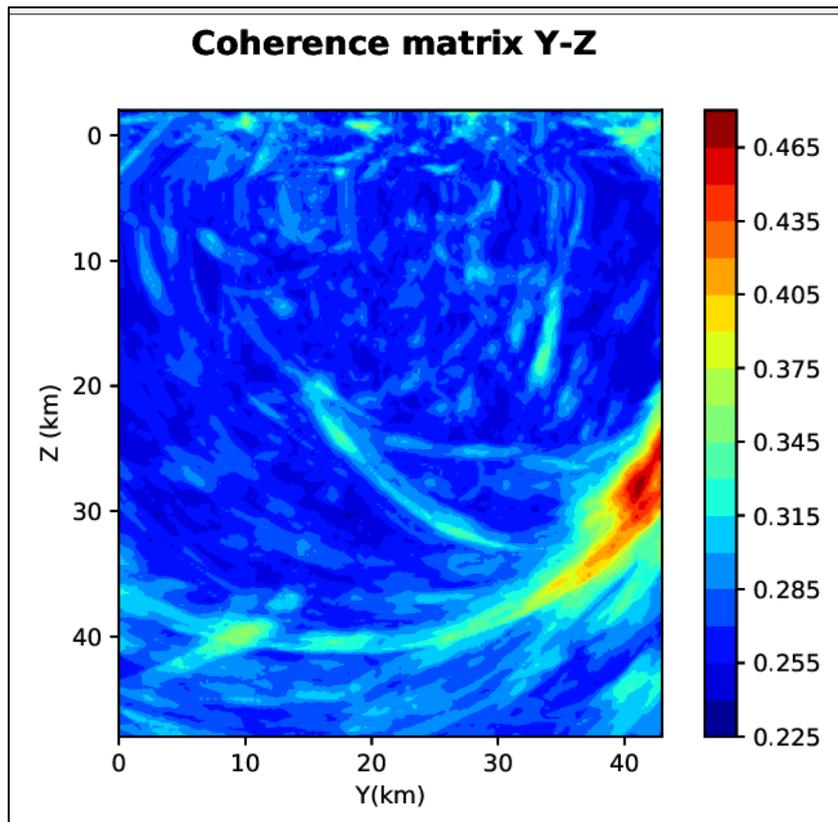


Figura 48: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.12. Evento 12: 25/05/2019 09:16:32 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _l
12	25/05/2019 09:16:32	40.52	15.80	21.52	0.60	0.6 ± 0.1

In Figura 49 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

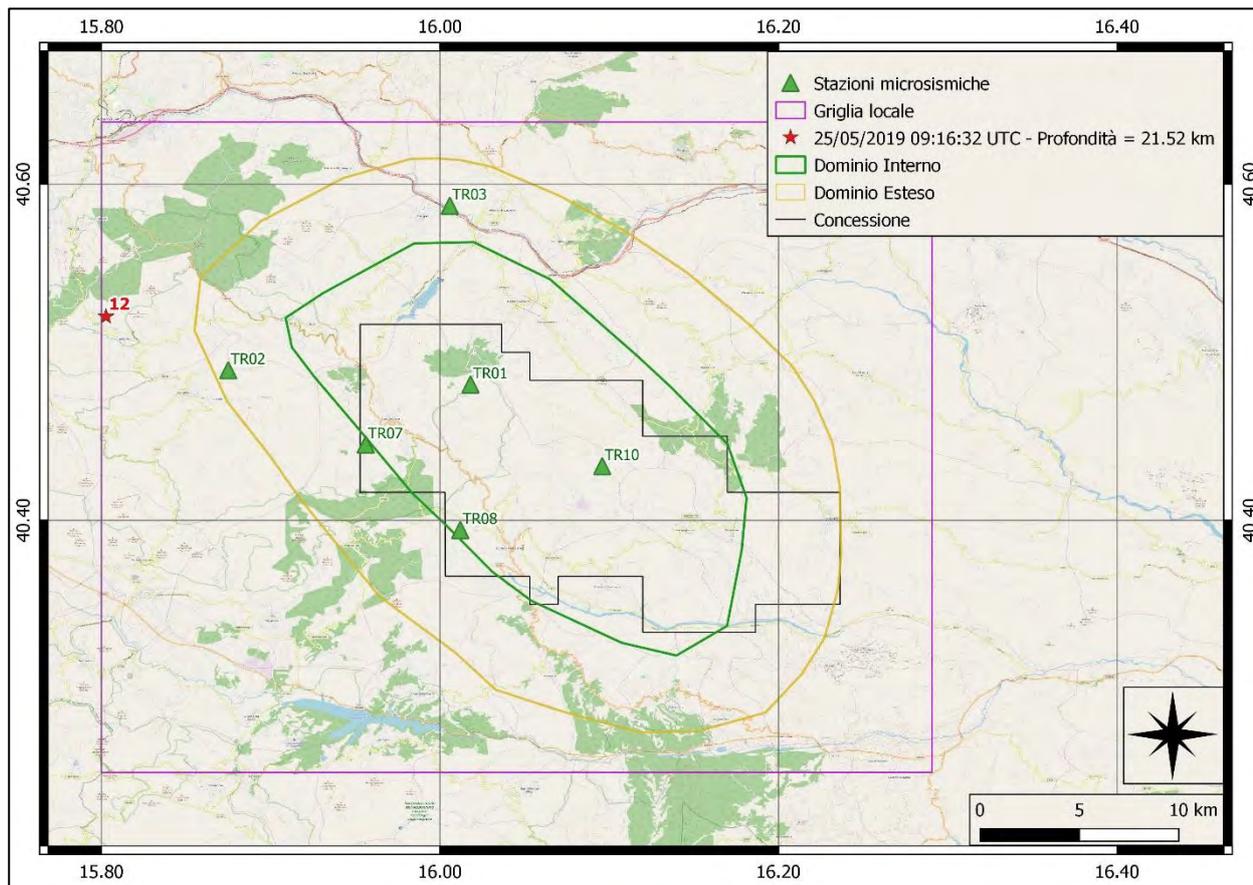


Figura 49: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 25/05/2019 09:16:32 UTC verificatosi a profondità 21.52 km

In Figura 50 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 12: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

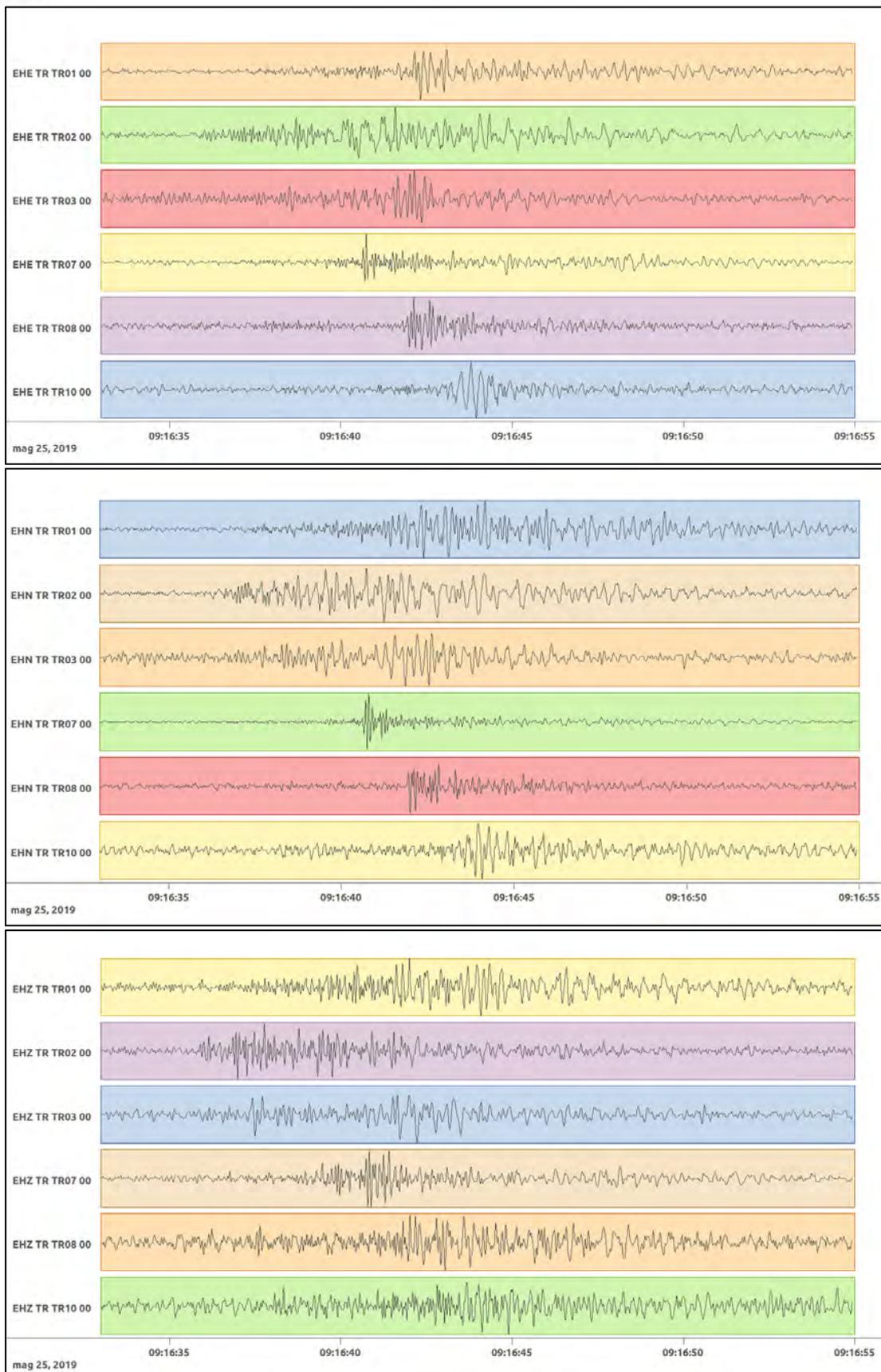


Figura 50: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 12, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

6.13. Evento 13: 25/05/2019 16:59:11 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _l
13	25/05/2019 16:59:11	40.53	15.83	18.07	2.41	1.3 ± 0.2

In Figura 51 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

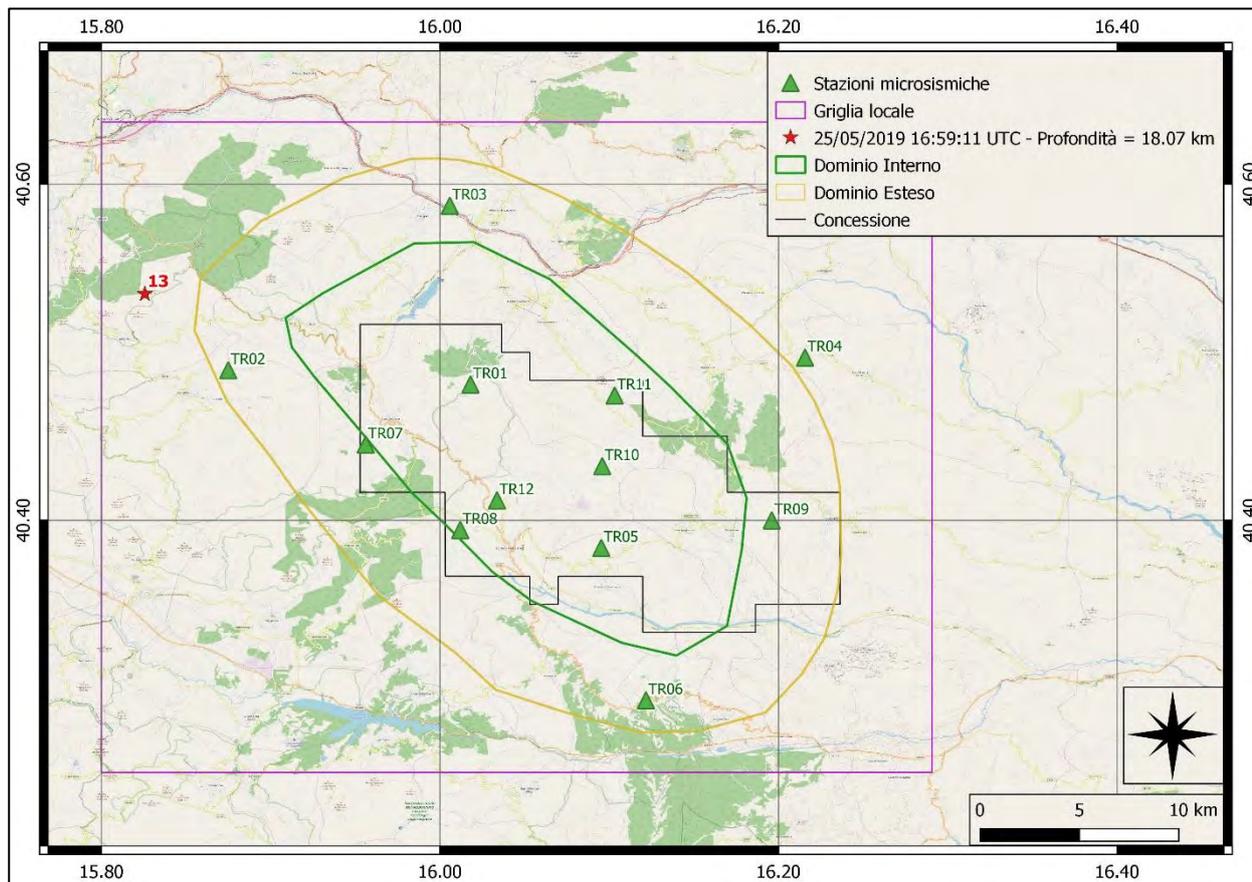


Figura 51: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 25/05/2019 16:59:11 UTC verificatosi a profondità 18.07 km

In Figura 52 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 13: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

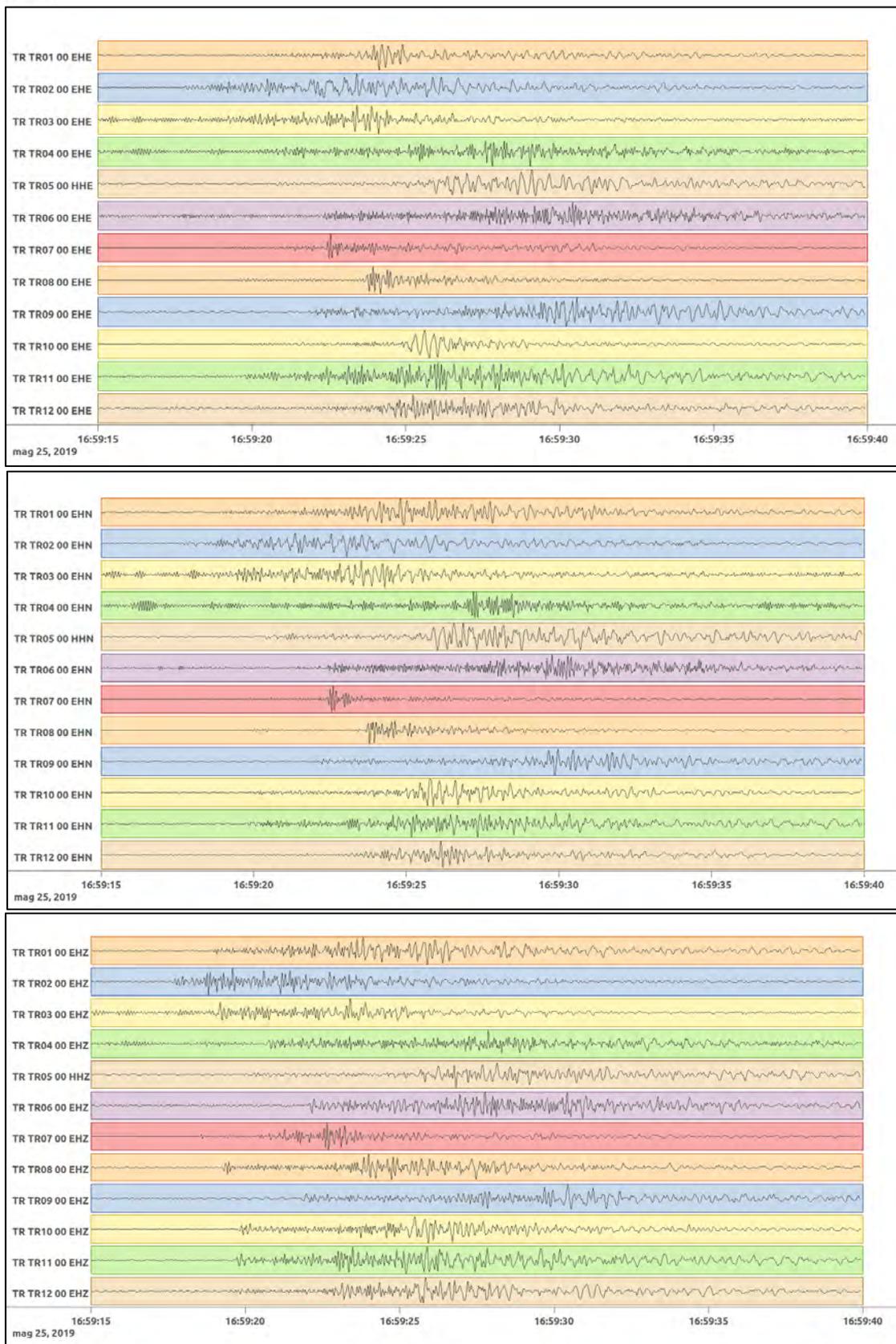


Figura 52: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 13, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

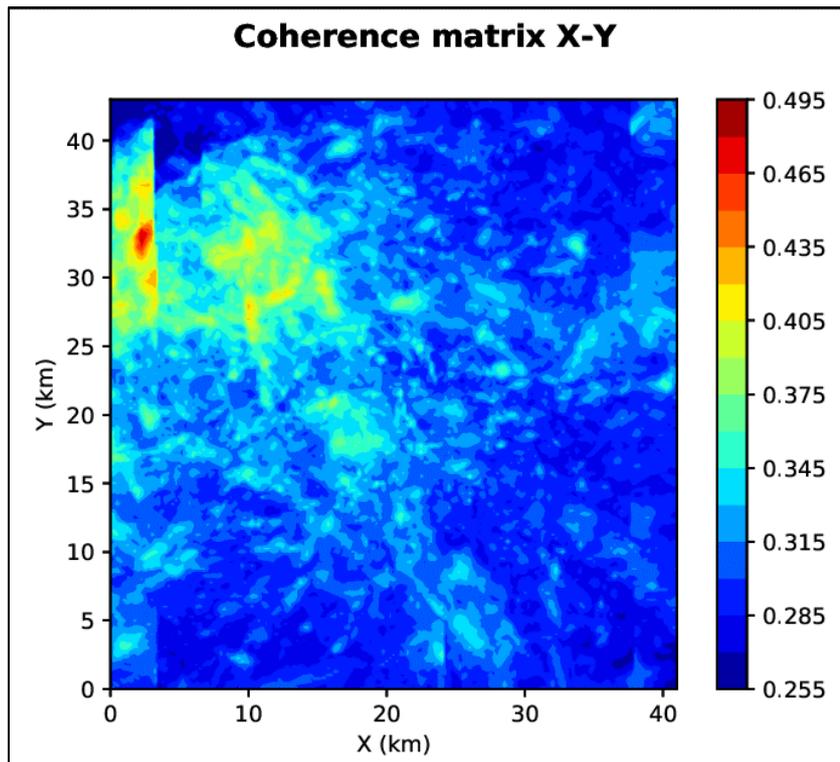


Figura 53: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.

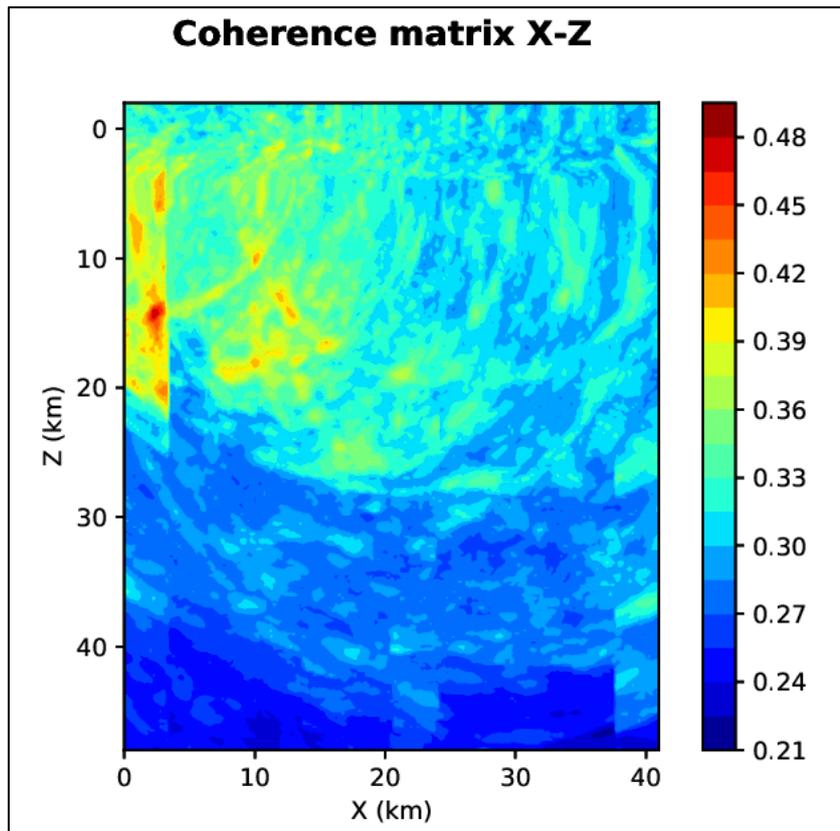


Figura 54: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

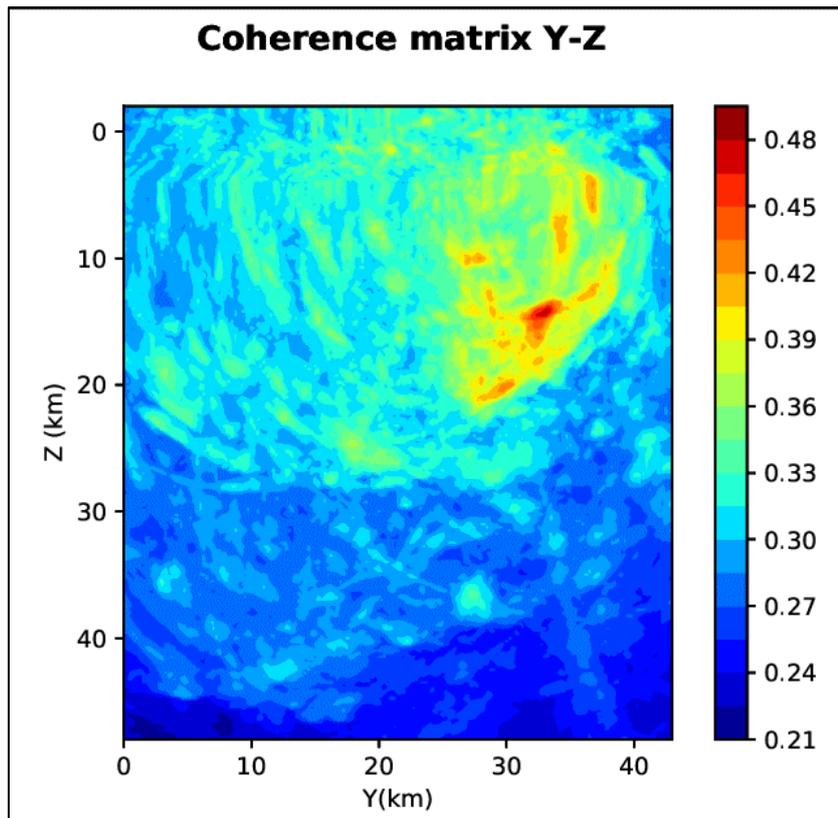


Figura 55: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.14. Evento 14: 30/05/2019 09:44:33 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _l
14	30/05/2019 09:44:33	40.52	15.81	19.51	2.42	0.9 ± 0.1

In Figura 56 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

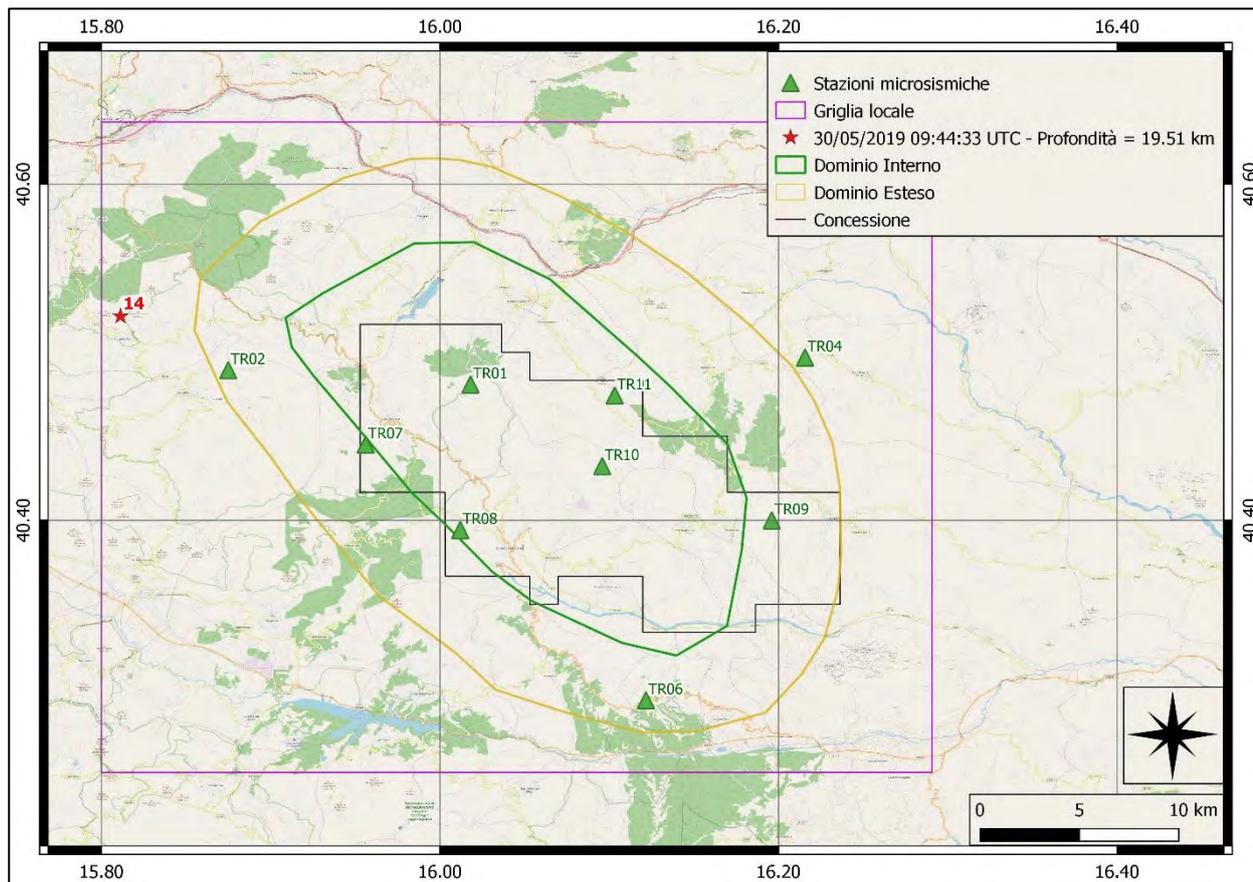


Figura 56: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 30/05/2019 09:44:33 UTC verificatosi a profondità 19.51 km

In Figura 57 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 14: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

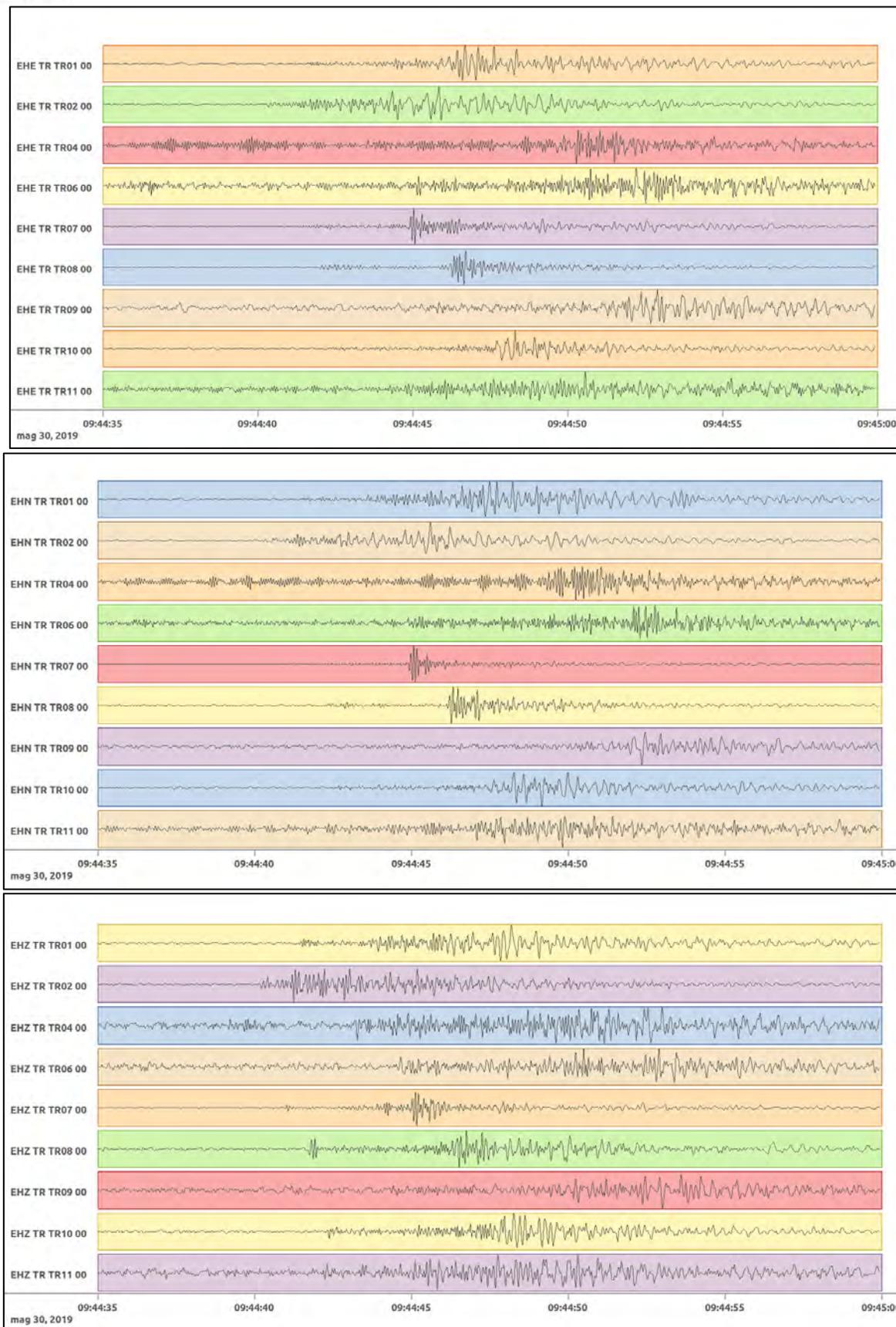


Figura 57: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 14, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

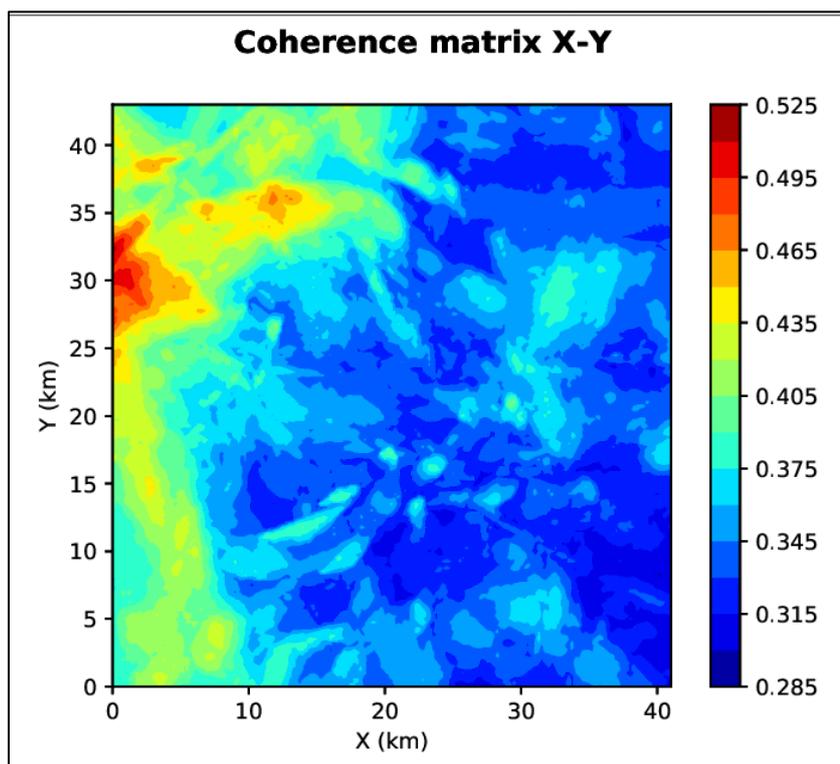


Figura 58: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.

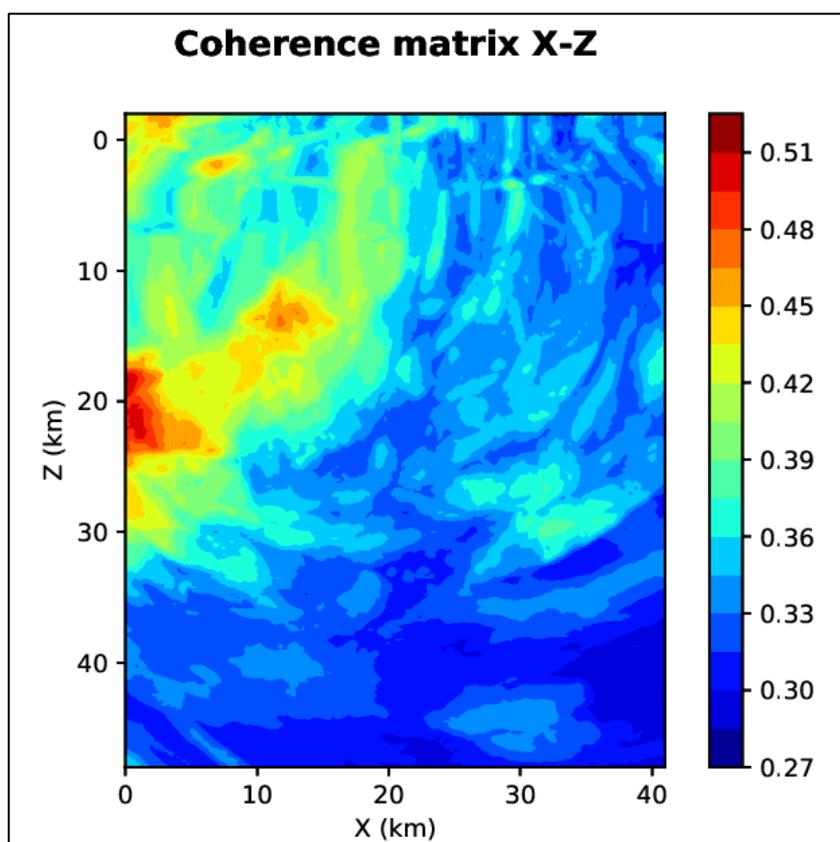


Figura 59: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

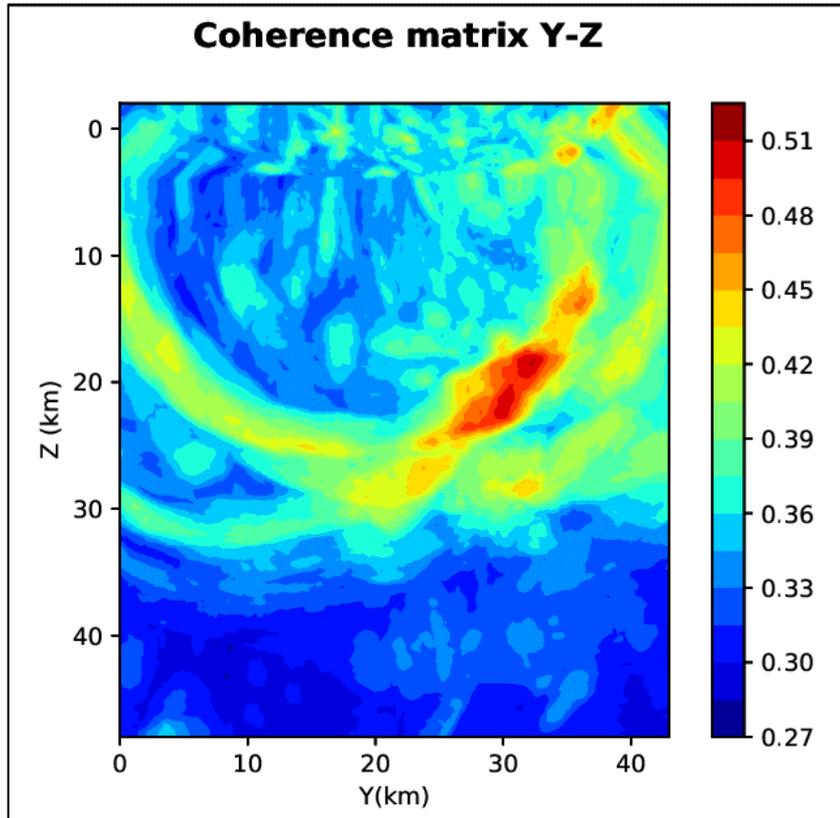


Figura 60: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.15. Evento 15: 05/06/2019 21:03:25 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _l
15	05/06/2019 21:03:25	40.52	15.81	19.13	1.84	0.7 ± 0.2

In Figura 61 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

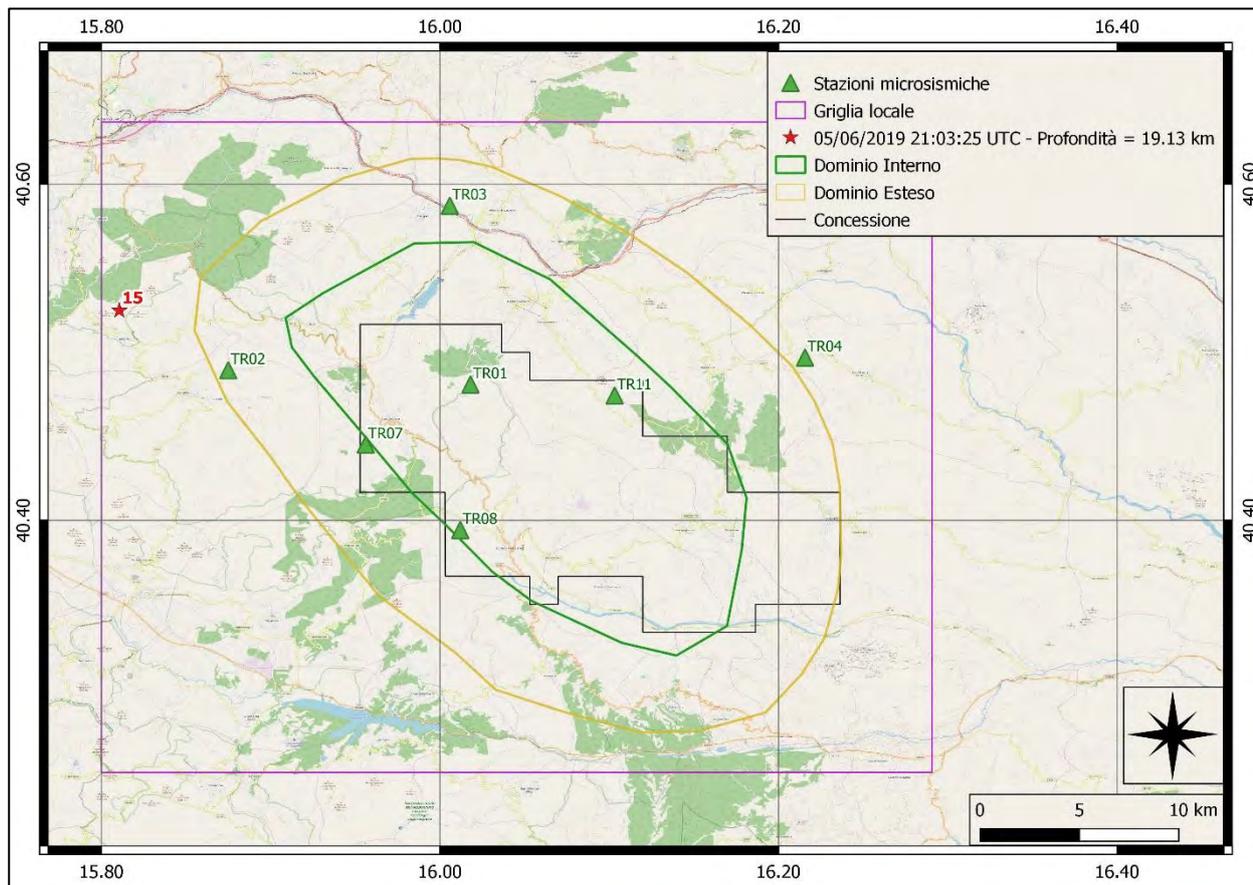


Figura 61: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 05/06/2019 21:03:25 UTC verificatosi a profondità 19.13 km

In Figura 62 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 15: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

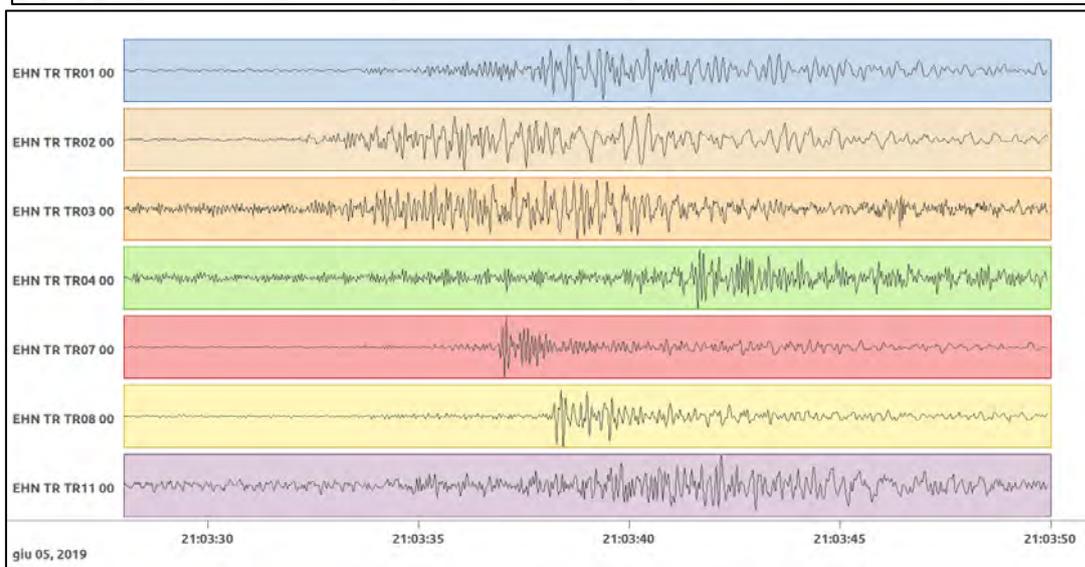
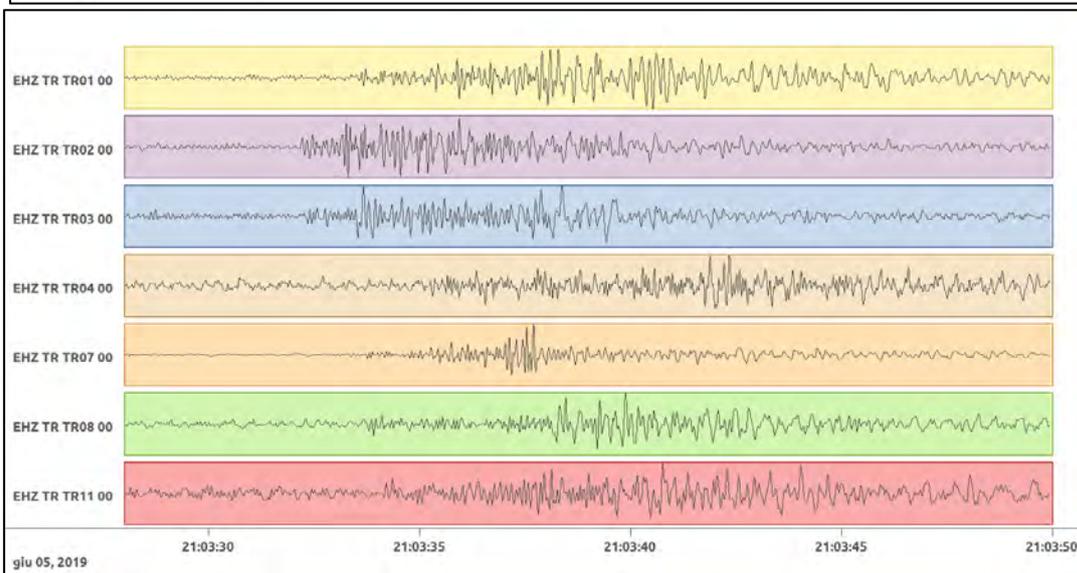
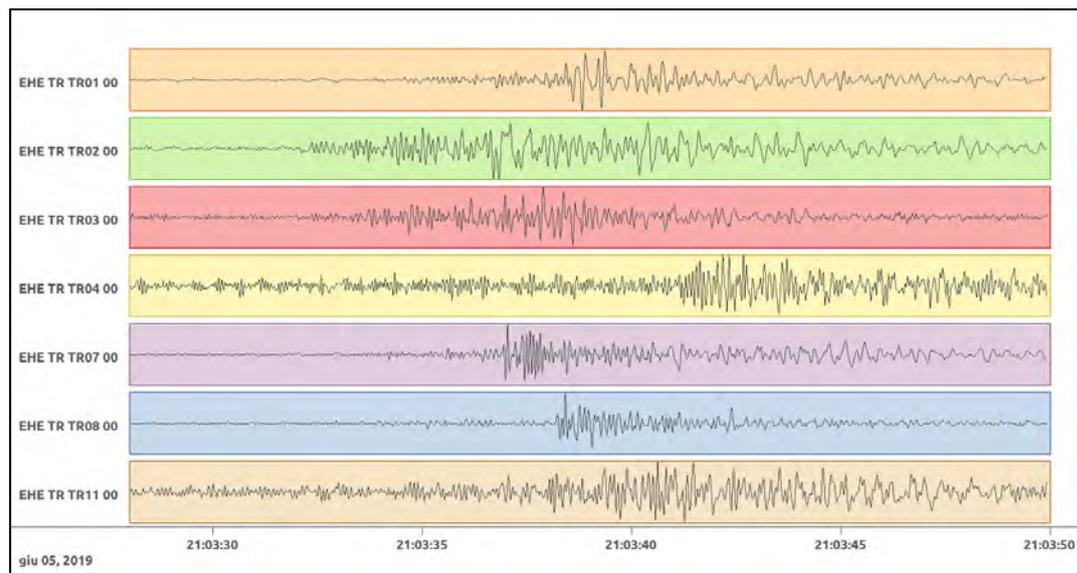


Figura 62: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 15, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

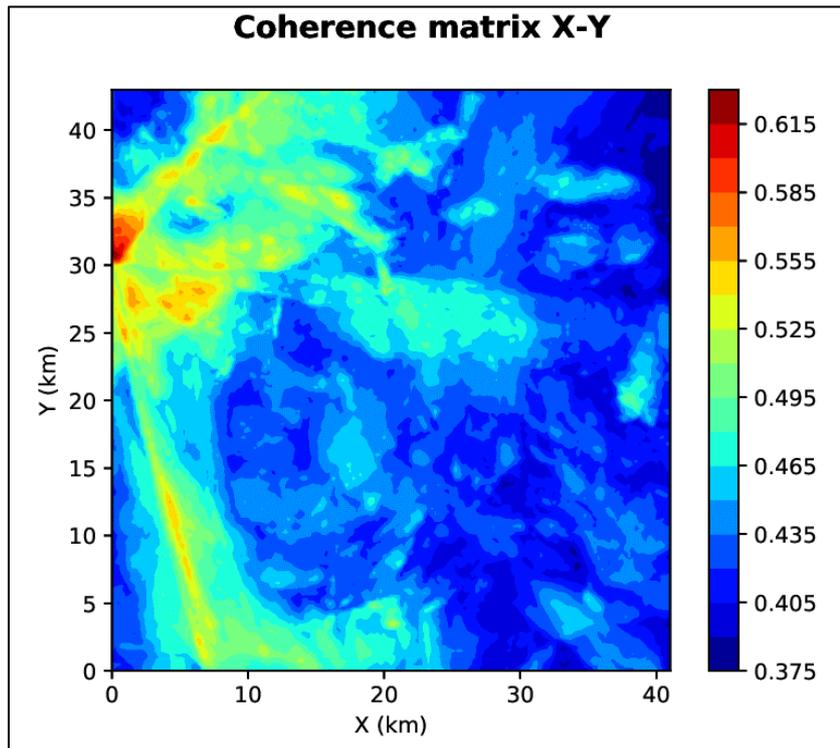


Figura 63: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia.

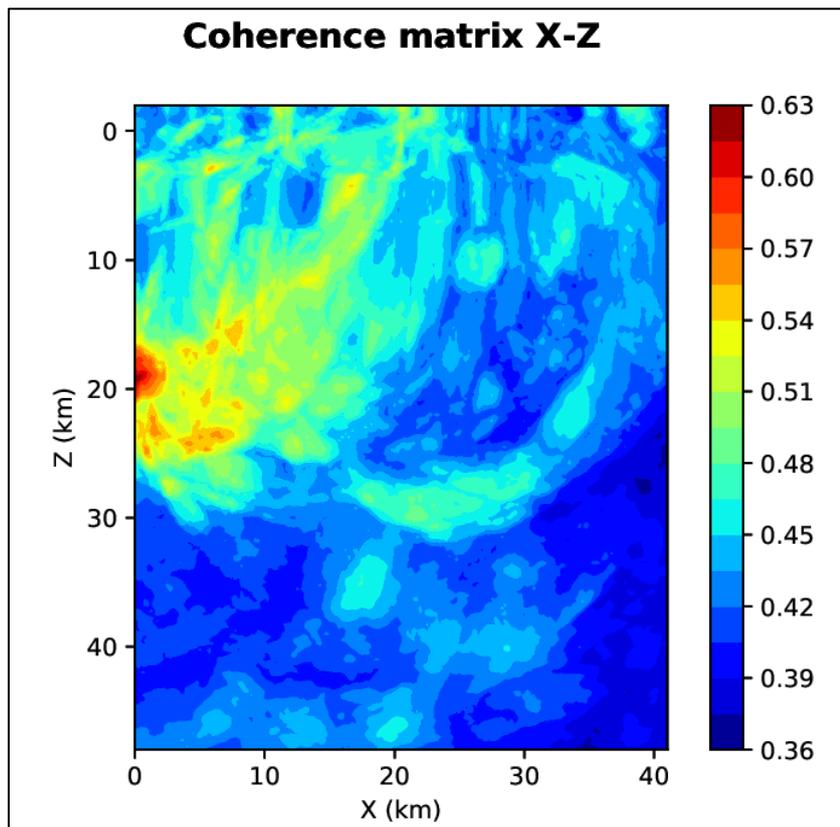


Figura 64: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

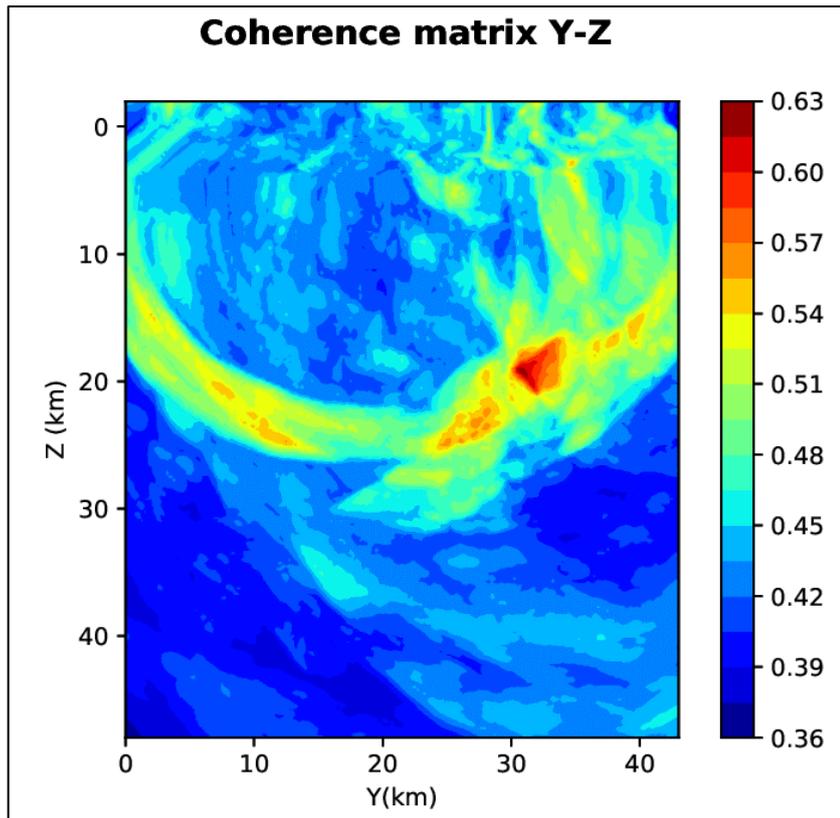


Figura 65: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.16. Evento 16: 30/06/2019 05:58:52 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _l
16	30/06/2019 05:58:52	40.39	15.92	1.97	0.30	0.3 ± 0.3

In Figura 66 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

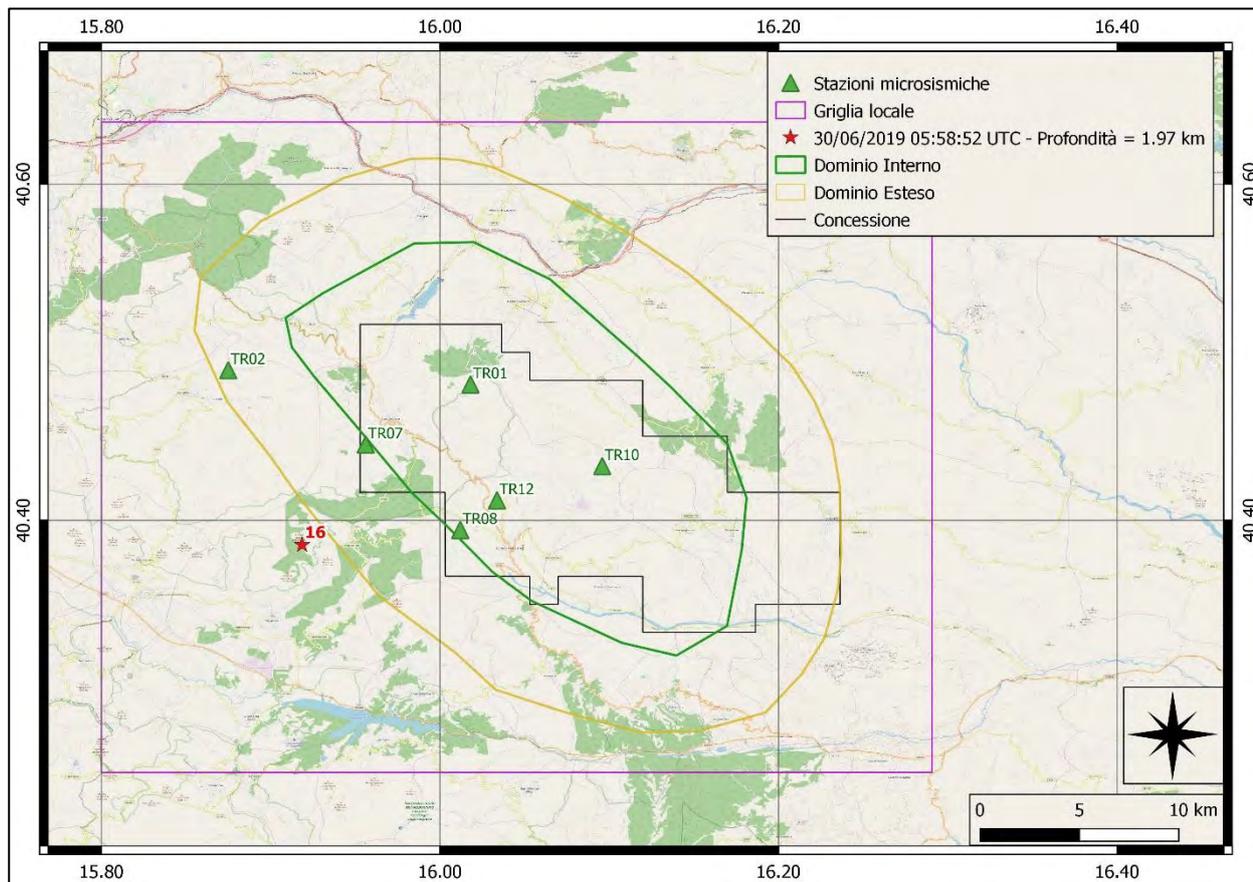


Figura 66: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 30/06/2019 05:58:52 UTC verificatosi a profondità 1.97 km

In Figura 67 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 16: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.

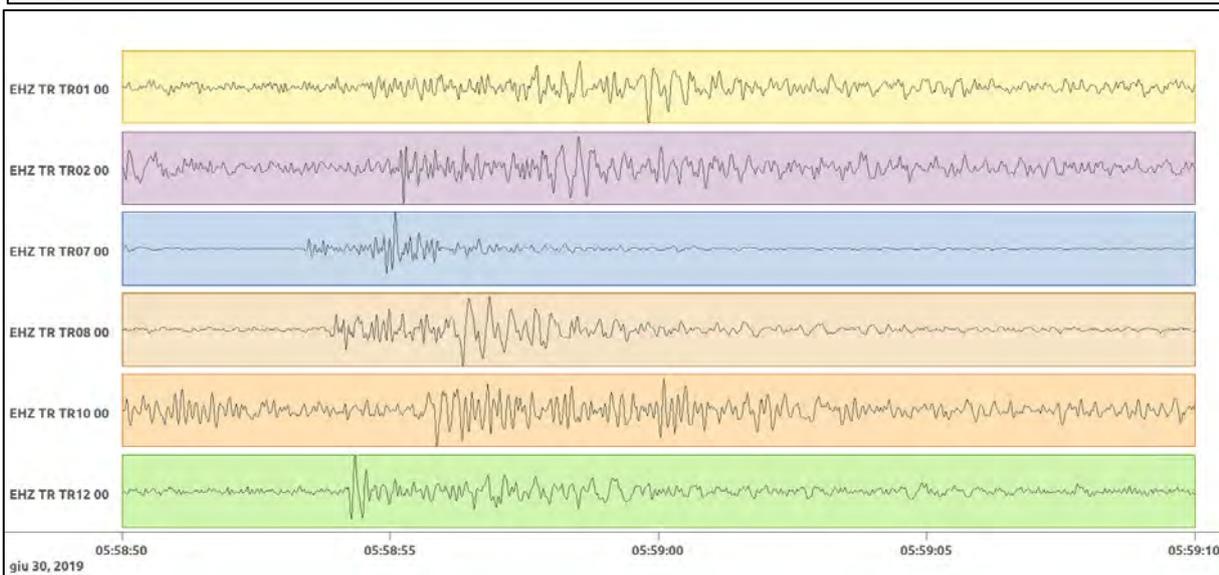
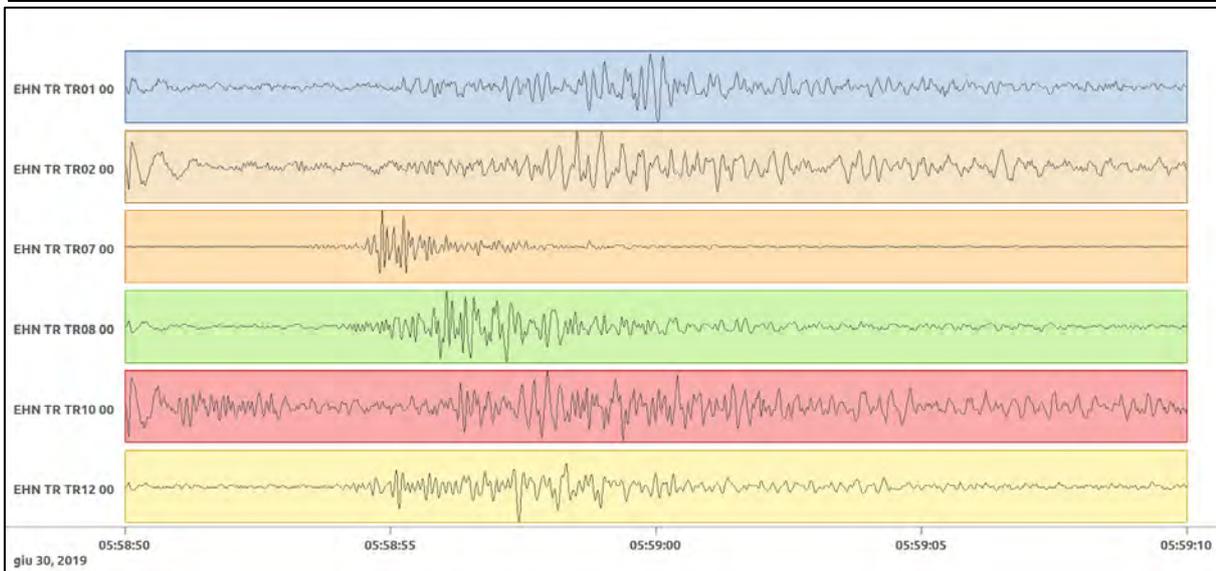
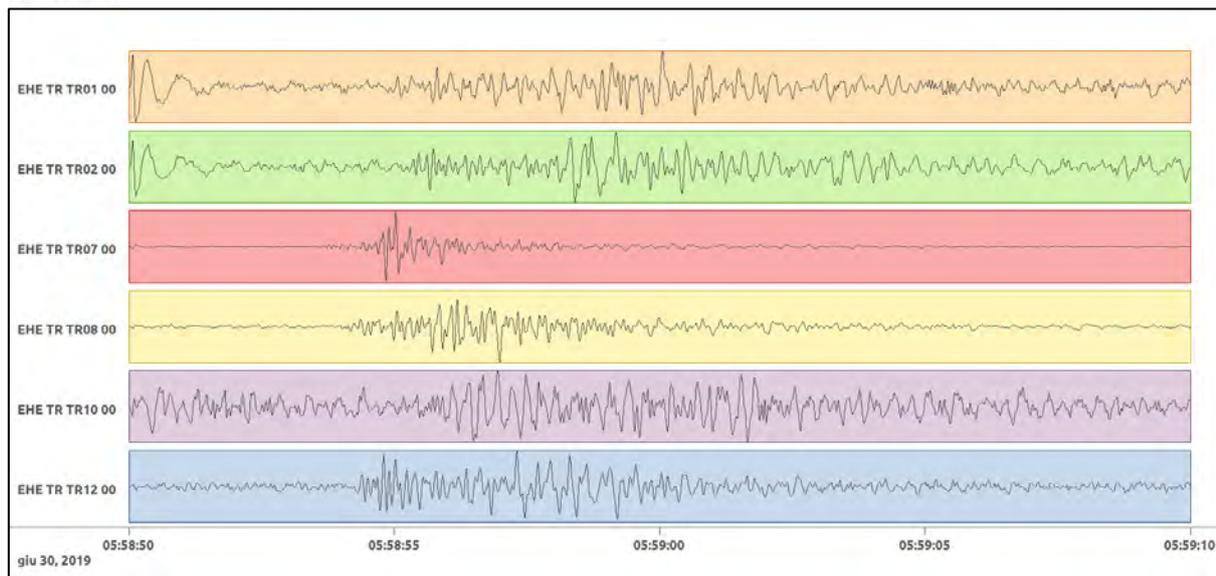


Figura 67: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 16, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

Opere citate

- Bakun, W. H., & Joyner, W. B. (1984). The MI scale in Central California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 74(5), 1827-1843.
- Cesca, S., & Grigoli, F. (2015). Full Waveform Seismological Advances for Microseismic Monitoring. In *Advances in Geophysics* (Vol. 56, p. 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.
- 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* (Vol. Open File Report 99-23). United States Geological Survey. Tratto da <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* (Vol. Open File Report 75-311). United States Geological Survey.
- 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*.
- 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