

TOTAL E&P ITALIA S.P.A.

*Rete di monitoraggio microsismico installata presso la
concessione Gorgoglione*

Rapporto periodico di monitoraggio ottobre – dicembre 2019

Oggetto: Rete microsismica Tempa Rossa - Report ottobre – dicembre 2019

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

ref

S18MN04-1

Autore

Date

Chiara Cocorullo

11 February 2020

Checked By

date

Filippo Di Fronzo – Stefano Limonta

11 February 2020

Cod.

Version

S18MN04-1

Rev. 1 - 11 February 2020

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 2020	1 ^a Emissione
Rev. 01 – Febbraio 2020	1 ^a Emissione

Indice

1. Introduzione	7
2. Descrizione della rete	7
3. Operatività della rete di monitoraggio – interventi e/o sostituzioni	9
3.1. Copertura dei dati.....	9
3.2. Sostituzioni	11
4. Procedura di elaborazione dati	12
4.1. Modello di velocità	13
5. Metodo di localizzazione degli eventi sismici.....	14
6. Eventi sismici	17
6.1. Evento 1: 05/10/2019 03:42:56 UTC.....	24
6.2. Evento 2: 14/10/2019 16:39:14 UTC.....	30
6.3. Evento 3: 14/10/2019 17:01:42 UTC.....	36
6.4. Evento 4: 14/10/2019 17:37:57 UTC.....	42
6.5. Evento 5: 14/10/2019 18:58:16 UTC.....	48
6.6. Evento 6: 14/10/2019 18:58:58 UTC.....	54
6.7. Evento 7: 14/10/2019 19:57:53 UTC.....	60
6.8. Evento 8: 15/10/2019 10:08:27 UTC.....	66
6.9. Evento 9: 15/10/2019 16:49:24 UTC.....	72
6.10. Evento 10: 25/10/2019 21:48:24 UTC.....	78
6.11. Evento 11: 20/11/2019 01:10:49 UTC.....	84
6.12. Evento 12: 01/12/2019 19:12:13 UTC.....	88
6.13. Evento 13: 09/12/2019 03:15:15 UTC.....	94
6.14. Evento 14: 09/12/2019 22:23:27 UTC.....	100
6.15. Evento 15: 11/12/2019 23:15:03 UTC.....	106
6.16. Evento 16: 29/12/2019 19:19:49 UTC.....	112
6.17. Evento 17: 30/12/2019 07:27:35 UTC.....	118
6.18. Evento 18: 31/12/2019 22:31:39 UTC.....	124
Opere citate.....	130
Tabella 1: coordinate delle stazioni microsismiche (WGS84) e strumentazione installata.....	8
Tabella 2: percentuale di funzionamento delle stazioni nel periodo ottobre-dicembre 2019	9
Tabella 3: interventi di manutenzione e/o riparazione nel periodo ottobre-dicembre 2019	11
Tabella 4: parametri del trigger STA/LTA	12
Tabella 5: modello 1D ottenuto dal modello 3D fornito da INGV	13
Tabella 6: stazioni INGV presenti nell'area racchiusa dalle griglie. Su sfondo lilla le uniche due stazioni INGV presenti nella griglia locale, utilizzata nella maggior parte dei casi.	15
Tabella 7: numero di eventi localizzati e distribuzione spaziale	17
Tabella 8: eventi sismici localizzati nella zona compresa nella griglia locale.	19
Figura 1: rete microsismica. Proiezioni in superficie dei Domini di rilevazione e, in nero, i limiti della Concessione. .	8
Figura 2: percentuale di funzionamento per singola stazione nei mesi oggetto del report.	10
Figura 3: percentuale di funzionamento della rete nel periodo ottobre - dicembre 2019.....	11
Figura 4: vista generale del pannello fotovoltaico aggiunto alla stazione TR07	11
Figura 5: modello di velocità.....	14
Figura 8: griglia locale utilizzata per la localizzazione e stazioni (INGV e TOTAL) al suo interno.....	16

Figura 9: estensione della griglia più grande, utilizzata solo per due eventi (ID 1 e 8), che comprende più stazioni INGV.....	16
Figura 10: eventi sismici localizzati nella griglia locale; in basso a destra veduta della griglia larga utilizzata per le localizzazioni (in rosa l'area visualizzata nella mappa principale).....	21
Figura 11: numero di eventi per magnitudo locale nel periodo ottobre-dicembre 2019.....	22
Figura 12: distribuzione di magnitudo locale nel periodo ottobre-dicembre 2019, degli eventi sismici localizzati nella griglia: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.....	22
Figura 13: distribuzione delle profondità degli eventi sismici localizzati nella griglia: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.	23
Figura 14: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 5/10/2019 03:42:56 UTC localizzato in superficie.	24
Figura 15: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 1, 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 grande.....	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 14/10/2019 16:39:14 UTC verificatosi a profondità 18.31 km	30
Figura 20: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 2, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	33
Figura 21: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.....	34
Figura 22: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	34
Figura 23: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	35
Figura 24: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 14/10/2019 17:01:42 UTC verificatosi a profondità 20.40 km	36
Figura 25: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 3, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	39
Figura 26: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.....	40
Figura 27: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	40
Figura 28: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	41
Figura 29: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 14/10/2019 17:37:57 UTC verificatosi a profondità 12.17 km	42
Figura 30: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 4, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	45
Figura 31: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.....	46
Figura 32: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	46
Figura 33: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	47
Figura 34: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 14/10/2019 18:58:16 UTC verificatosi a profondità 21.51 km	48
Figura 35: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 5, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	51
Figura 36: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.....	52
Figura 37: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	52
Figura 38: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	53
Figura 39: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 14/10/2019 18:58:58 UTC verificatosi a profondità 16.31 km.	54
Figura 40: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 6, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	57
Figura 41: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.....	58
Figura 42: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	58
Figura 43: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	59
Figura 44: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 14/10/2019 19:57:53 UTC verificatosi a profondità 20.58 km	60
Figura 45: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 7, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	63
Figura 46: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.....	64

Figura 47: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	64
Figura 48: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	65
Figura 49: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 15/10/2019 10:08:27 UTC verificatosi a profondità 19.61 km	66
Figura 50: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 8, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	69
Figura 51: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.....	70
Figura 52: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	70
Figura 53: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	71
Figura 54: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 15/10/2019 16:49:24 UTC verificatosi a profondità 24.42 km	72
Figura 55: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 9, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	75
Figura 56: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande grande. ...	76
Figura 57: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	76
Figura 58: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	77
Figura 59: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 25/10/2019 21:48:24 UTC verificatosi a profondità 26.01 km	78
Figura 60: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 10, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	81
Figura 61: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.....	82
Figura 62: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	82
Figura 63: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	83
Figura 64: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 20/11/2019 01:10:49 UTC verificatosi a profondità 18.11 km	84
Figura 65: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 11, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	87
Figura 66: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 01/12/2019 19:12:13 UTC verificatosi a profondità 18.65 km	88
Figura 67: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 12, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	91
Figura 68: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.....	92
Figura 69: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	92
Figura 70: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	93
Figura 71: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 09/12/2019 03:15:15 UTC verificatosi a profondità 18.03 km	94
Figura 72: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 13, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	97
Figura 73: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.....	98
Figura 74: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	98
Figura 75: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	99
Figura 76: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 09/12/2019 22:23:27 UTC verificatosi a profondità 18.92 km	100
Figura 77: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 14, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	103
Figura 78: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.....	104
Figura 79: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	104
Figura 80: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	105
Figura 81: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 11/12/2019 23:15:03 UTC verificatosi in superficie.	106
Figura 82: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 15, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	109
Figura 83: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.....	110
Figura 84: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	110
Figura 85: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	111

Figura 86: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 29/12/2019 19:19:49 UTC verificatosi a profondità 22.69 km.....	112
Figura 87: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 16, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	115
Figura 88: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.....	116
Figura 89: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	116
Figura 90: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	117
Figura 91: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 30/12/2019 07:27:35 UTC verificatosi a profondità 16.06 km	118
Figura 92: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 17, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	121
Figura 93: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.....	122
Figura 94: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	122
Figura 95: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	123
Figura 96: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 31/12/2019 22:31:39 UTC verificatosi a profondità 3.87 km	124
Figura 97: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 18, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.....	127
Figura 98: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.....	128
Figura 99: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	128
Figura 100: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.	129

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 ottobre-dicembre 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.

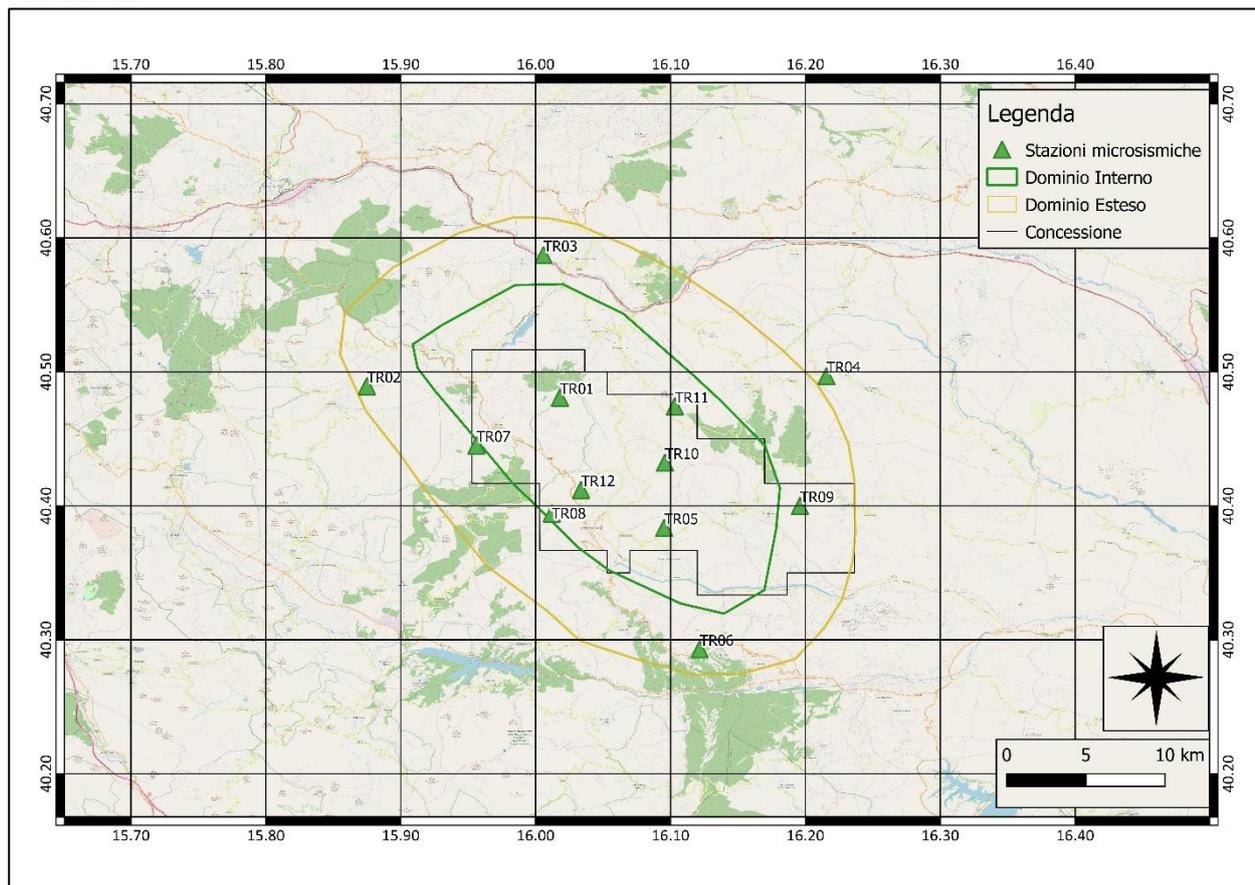


Figura 1: rete microsismica. Proiezioni in superficie dei Domini di rilevazione e, in nero, i limiti della Concessione.

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 (01/10/2019 – 31/12/2019), la rete nel suo complesso ha garantito una copertura dei dati pari a 99.3%.

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.

Stazione	Percentuale di funzionamento		
	Ottobre	Novembre	Dicembre
TR01	100.00	100.00	99.99
TR02	100.00	100.00	100.00
TR03	100.00	79.98	95.46
TR04	100.00	100.00	99.99
TR05	100.00	100.00	99.99
TR06	100.00	100.00	100.00
TR07	100.00	100.00	99.99
TR08	100.00	100.00	100.00
TR09	100.00	100.00	100.00
TR10	100.00	100.00	100.00
TR11	100.00	100.00	100.00
TR12	100.00	100.00	99.99
Rete	100.00	98.33	99.62

Tabella 2: percentuale di funzionamento delle stazioni nel periodo ottobre-dicembre 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.

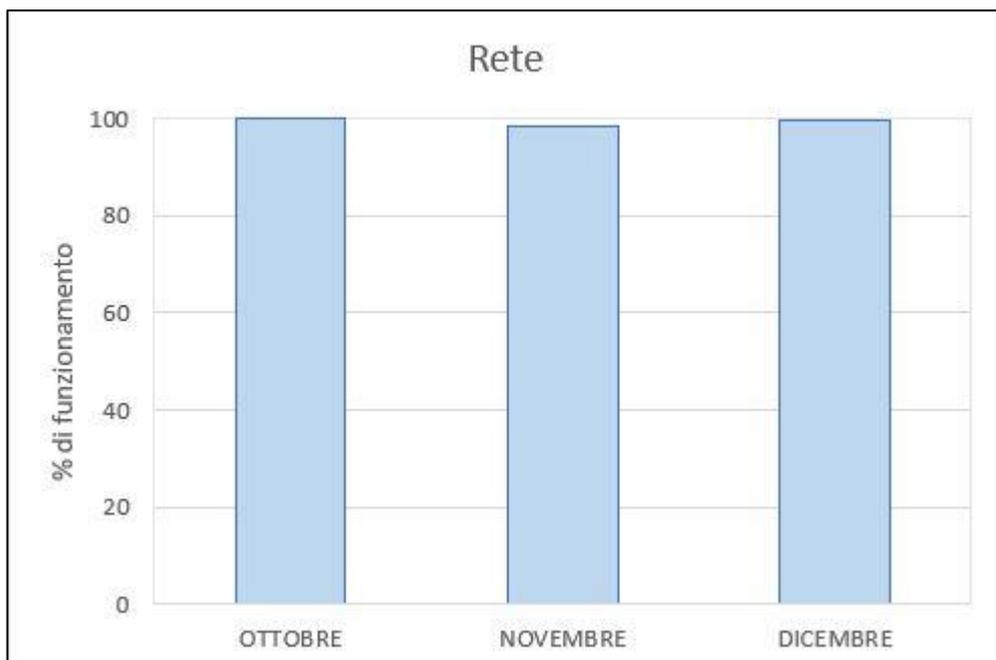


Figura 3: percentuale di funzionamento della rete nel periodo ottobre - dicembre 2019

3.2.Sostituzioni

In Tabella 3 sono elencati gli interventi di manutenzione eseguiti nel periodo ottobre-dicembre 2019. A ottobre è stato aggiunto un pannello fotovoltaico da 100 W a supporto della stazione geodetica.

Stazione	Data	Intervento
TR07	28/10/2019	Aggiunto pannello fotovoltaico da 100 W

Tabella 3: interventi di manutenzione e/o riparazione nel periodo ottobre-dicembre 2019



Figura 4: vista generale del pannello fotovoltaico aggiunto alla stazione TR07

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 sui segnali acquisiti dai velocimetri, 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 un metodo di localizzazione basato 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). Si sono utilizzati i dati delle vicine stazioni INGV. In un solo caso 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.

4.1. Modello di velocità

Il modello crostale utilizzato è descritto in Tabella 5 e mostrato in Figura 5.

È stato ricavato dal modello 3D ottenuto da INGV (descritto nel Rapporto di Monitoraggio Sismico di Baseline (Piccinini, et al., 2016), e gentilmente fornitoci da INGV dopo richiesta da parte di TOTAL E&P Italia). Nel report relativo al periodo di monitoraggio aprile-giugno 2019 sono indicate le motivazioni per le quali si è scelto di utilizzare un modello 1D.

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

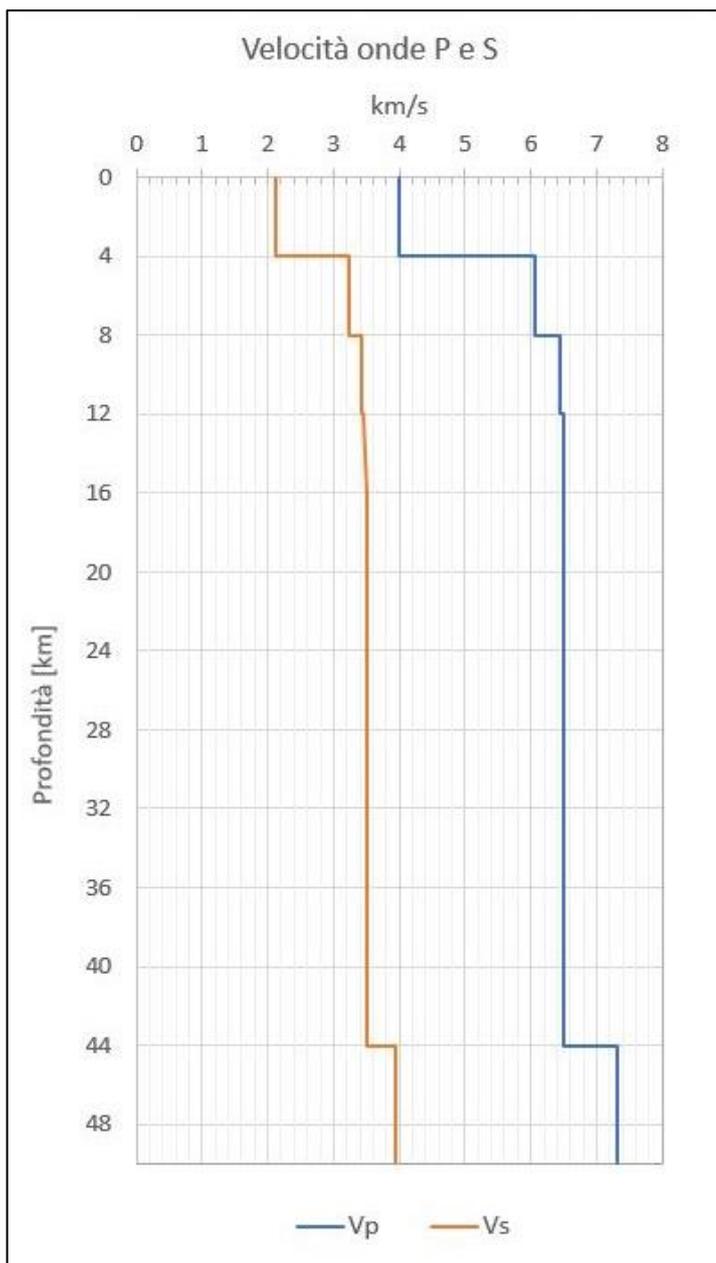


Figura 5: modello di velocità

5. Metodo di localizzazione degli eventi sismici

Il metodo utilizzato per localizzare la maggior parte degli eventi sismici è descritto nei report precedenti.

Si riportano solo gli eventi che vengono localizzati 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 stato precedentemente indicato come *Griglia locale*.

Tale griglia 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. Sebbene si elenchino solo gli eventi sismici localizzati in questa zona, per tutti gli eventi (tranne per quello localizzato con la tecnica classica del picking, indicato con ID 11 in Tabella 8), si è utilizzata una griglia più ampia (discretizzata con passo 500 m), così da considerare anche altre stazioni INGV, e ottenere una localizzazione migliore.

In Tabella 6 le informazioni sulle stazioni INGV.

Per ogni evento viene indicato se, e quali, stazioni della Rete Sismica Nazionale sono state utilizzate.

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 dalle griglie. Su sfondo lilla le uniche due stazioni INGV presenti nella griglia locale, utilizzata nella maggior parte dei casi. 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 6 la griglia locale, i limiti dei Domini di rilevazione e le stazioni in essa contenute. In Figura 7 sono mostrate entrambe le griglie, i limiti dei Domini di rilevazione 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

SOLGEO - Report Gorgoglione ottobre - dicembre 2019

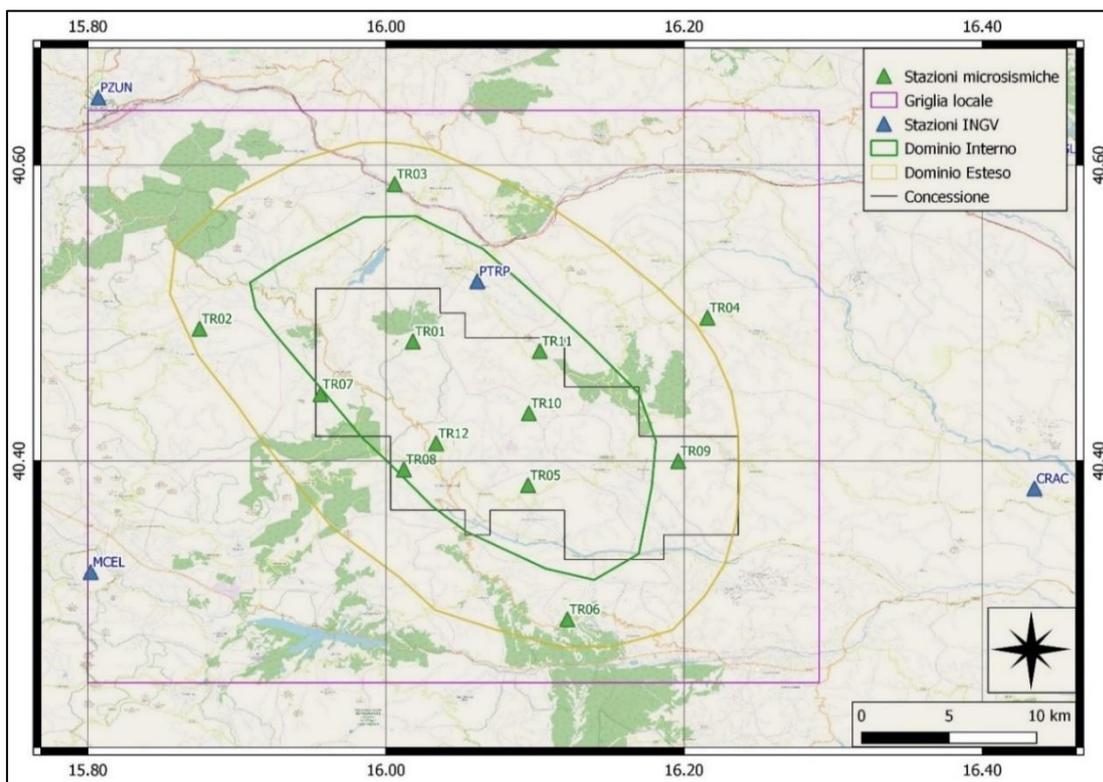


Figura 6: griglia locale utilizzata per la localizzazione e stazioni (INGV e TOTAL) al suo interno.

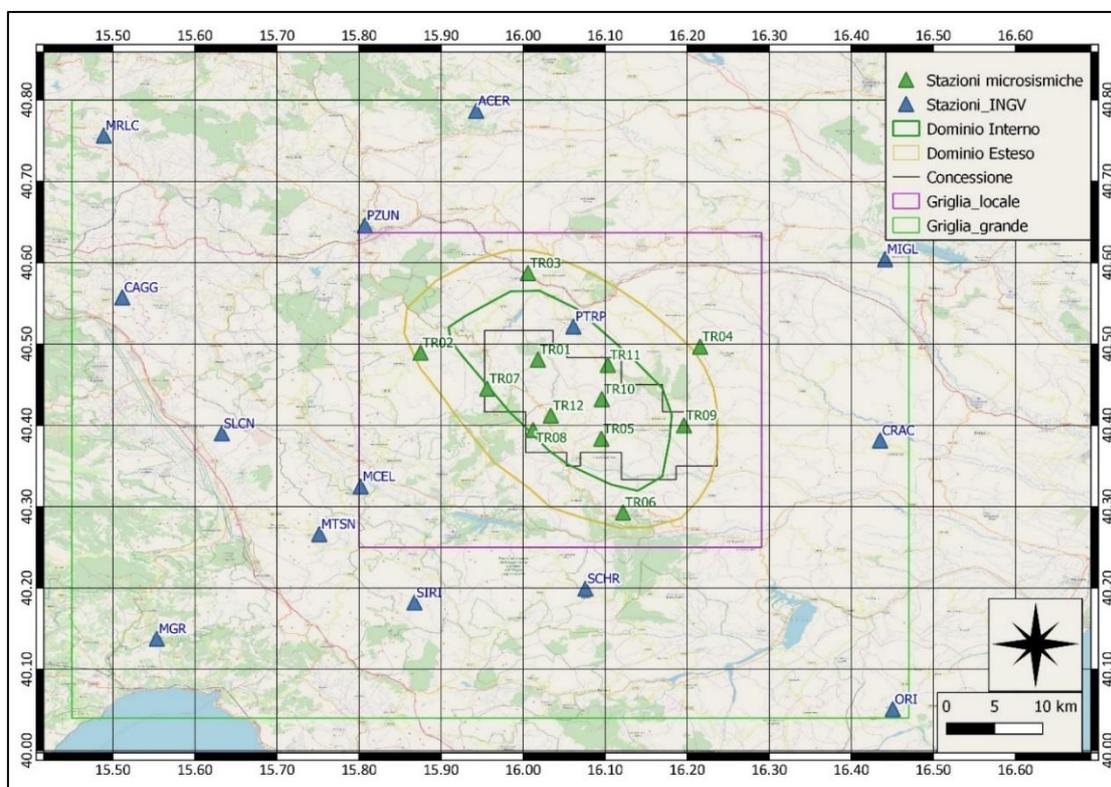


Figura 7: estensione della griglia più grande, utilizzata solo per due eventi (ID 1 e 8), che comprende più stazioni INGV.

6. Eventi sismici

Nel periodo 01/10/2019 – 31/12/2019 sono stati localizzati 18 eventi sismici con epicentro nella griglia locale²: di questi, 11 hanno l'epicentro nei Domini di Rilevazione (4 nel Dominio Interno, a profondità maggiori di 16 km).

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

Eventi con epicentro nella griglia locale:	18	
Eventi con epicentro:		
nei Domini di Rilevazione	nel Dominio Interno	entro i limiti della Concessione
11	4	3

Tabella 7: numero di eventi localizzati e distribuzione spaziale

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

² Dal 28 dicembre è in atto una sequenza sismica in località Pignola: sono stati localizzati 39 eventi sismici riconducibili alla sequenza, di cui solamente 2 hanno epicentro nella griglia locale (eventi identificati con ID 16 e 17), e vengono riportati nel presente report.

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione ³ [km]	M _i	Dist. epicentrale dalla stazione (utilizzata) più vicina [km]	Localizzatore	Stazioni INGV usate
1	05/10/2019 03:42:56	40.32	15.86	0	0.50	1.0 ± 0.2	5.22	LOKI	MCEL MGR SIRI SLCN
2	14/10/2019 16:39:14	40.54	15.80	18.31	0.94	1.4 ± 0.2	8.80	LOKI	ACER MCEL MGR MIGL MRLC PTRP PZUN SIRI SLN
3	14/10/2019 17:01:42	40.51	15.87	20.40	0.50	0.7 ± 0.1	1.80	LOKI	ACER MCEL SIRI
4	14/10/2019 17:37:57	40.52	15.90	12.17	0.79	2.6 ± 0.2	4.07	LOKI	ACER MCEL MGR MIGL MRLC PTRP PZUN SIRI SLCN
5	14/10/2019 18:58:16	40.52	15.87	21.51	0.50	1.0 ± 0.1	3.54	LOKI	ACER MCEL MIGL MRLC PTRP PZUN SIRI SLCN
6	14/10/2019 18:58:58	40.53	15.84	16.31	1.70	1.2 ± 0.2	5.75	LOKI	ACER MCEL MGR MIGL MRLC PTRP PZUN SIRI SLCN
7	14/10/2019 19:57:53	40.56	15.90	20.58	0.75	0.4 ± 0.1	8.63	LOKI	ACER MCEL SIRI SLCN
8	15/10/2019 10:08:27	40.52	15.86	19.61	0.53	0.9 ± 0.1	3.59	LOKI	ACER MCEL PTRP SIRI SLCN
9	15/10/2019 16:49:24	40.48	16.21	24.42	0.82	2.3 ± 0.4	1.69	LOKI	ACER MCEL MGR MIGL MRLC PTRP SIRI SLCN
10	25/10/2019 21:48:24	40.62	15.94	26.01	0.62	1.2 ± 0.2	6.49	LOKI	ACER MCEL MGR MIGL PTRP PZUN SIRI SLCN
11	20/11/2019 01:10:49	40.58	15.82	18.11	0.50	1.5 ± 0.1	11.48	DESK - HypoEllipse	-
12	01/12/2019 19:12:13	40.40	16.19	18.65	1.70	0.8 ± 0.1	0.45	LOKI	ACER CRAC MCEL MIGL SCHR SIRI SLCN

³ Raggio della sfera centrata sull'ipocentro
SOLGEO - Report Gorgoglione ottobre - dicembre 2019

13	09/12/2019 03:15:15	40.49	16.01	18.03	0.70	0.7 ± 0.2	0.88	LOKI	MCEL MIGL PTRP SCHR SIRI
14	09/12/2019 22:23:27	40.49	16.02	18.92	0.93	0.6 ± 0.2	1.17	LOKI	MCEL SIRI
15	11/12/2019 23:15:03	40.35	15.85	0	0.50	0.6 ± 0.1	4.84	LOKI	ACER MCEL MGR SCHR SLCN
16	29/12/2019 19:19:49	40.54	15.95	22.69	0.53	1.4 ± 0.4	8.14	LOKI	ACER MCEL PTRP PZUN SIRI SLCN
17	30/12/2019 07:27:35	40.48	15.93	16.06	1.75	1.6 ± 0.1	4.40	LOKI	ACER MCEL MGR PTRP PZUN SLCN
18	31/12/2019 22:31:39	40.35	15.83	3.87	0.99	0.6 ± 0.1	3.63	LOKI	ACER MCEL MGR SIRI SLCN

Tabella 8: eventi sismici localizzati nella zona compresa nella griglia locale.

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); gli unici 3 eventi con epicentro nella Concessione sono indicati in Tabella 8 con i bordi rossi.

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.

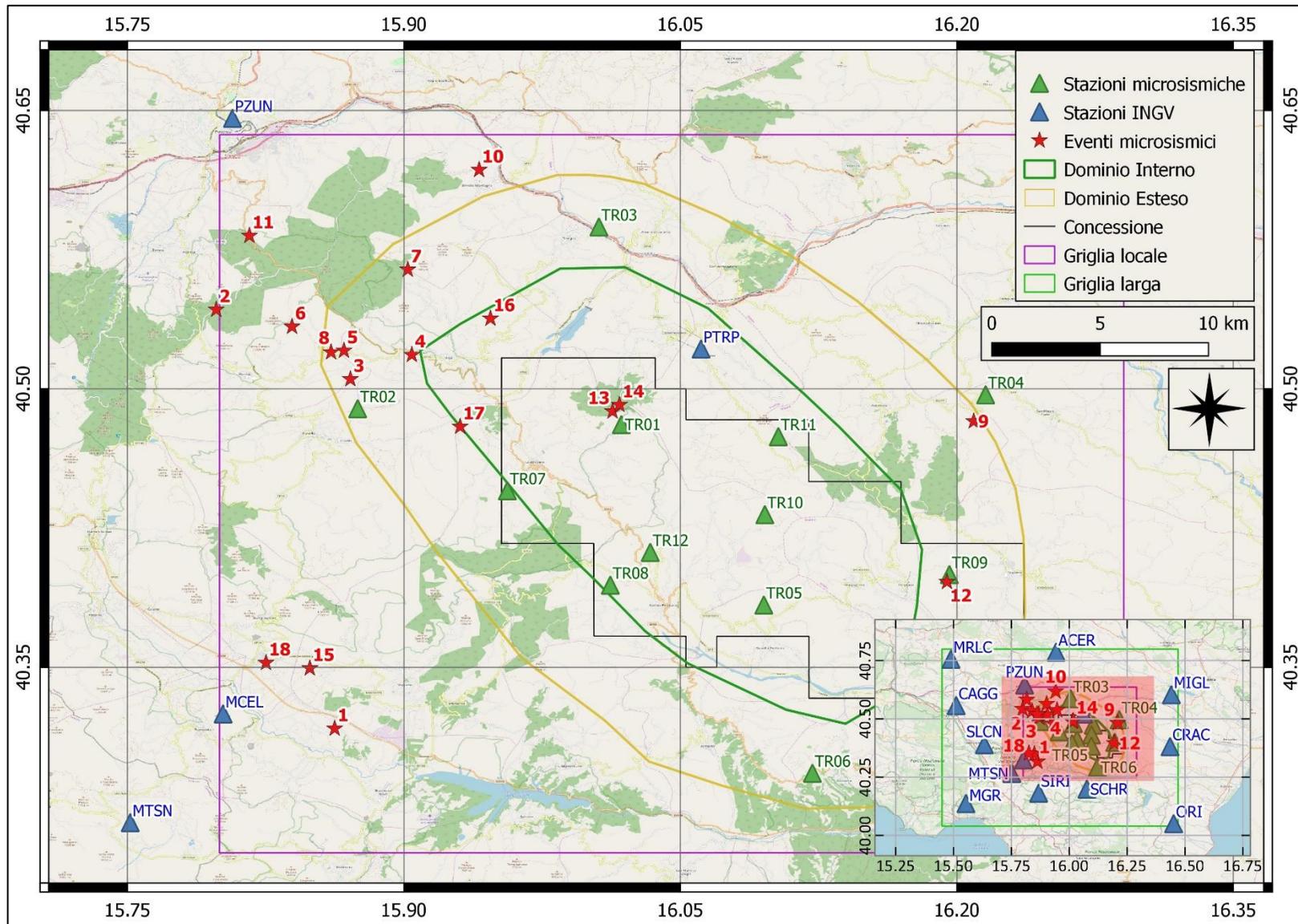


Figura 8: eventi sismici localizzati nella griglia locale; in basso a destra veduta della griglia larga utilizzata per le localizzazioni (in rosa l'area visualizzata nella mappa principale)

In Figura 9 il numero di eventi sismici raggruppati per magnitudo locale, localizzati nell'area.

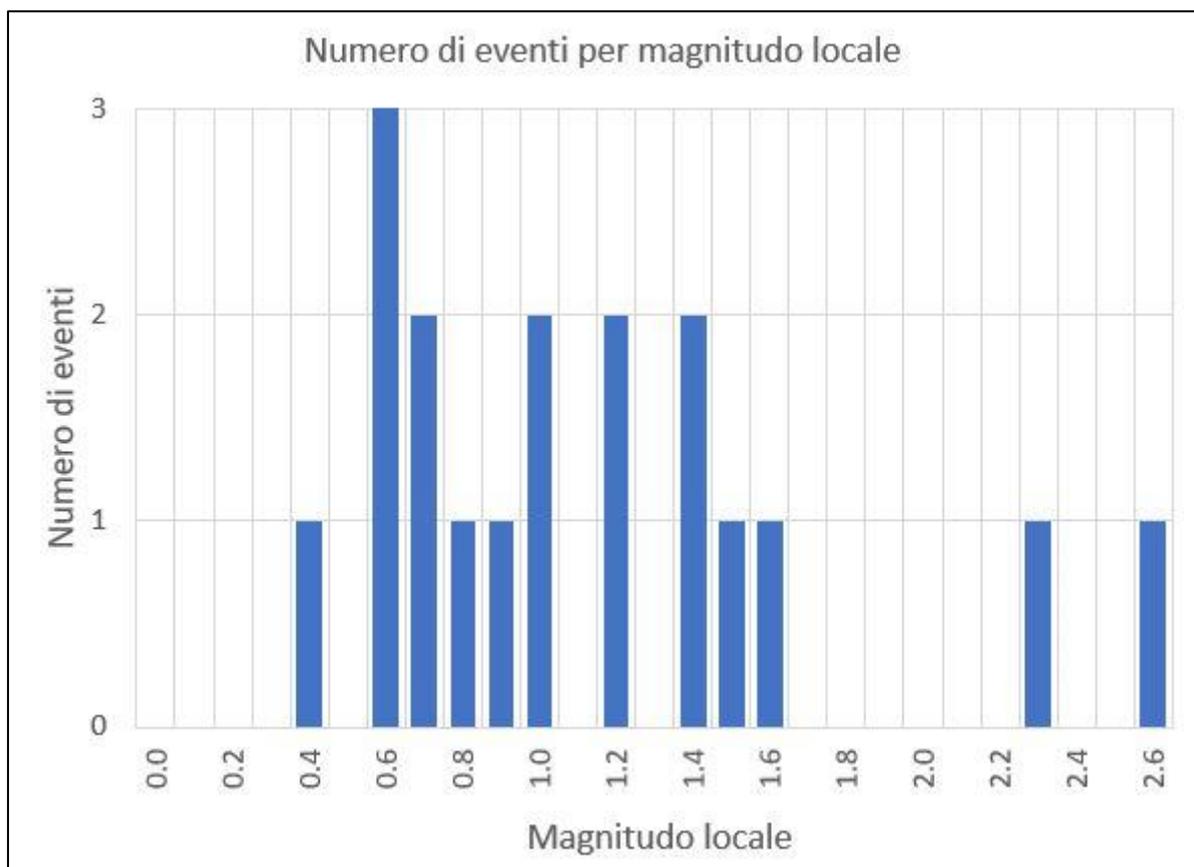


Figura 9: numero di eventi per magnitudo locale nel periodo ottobre-dicembre 2019.

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

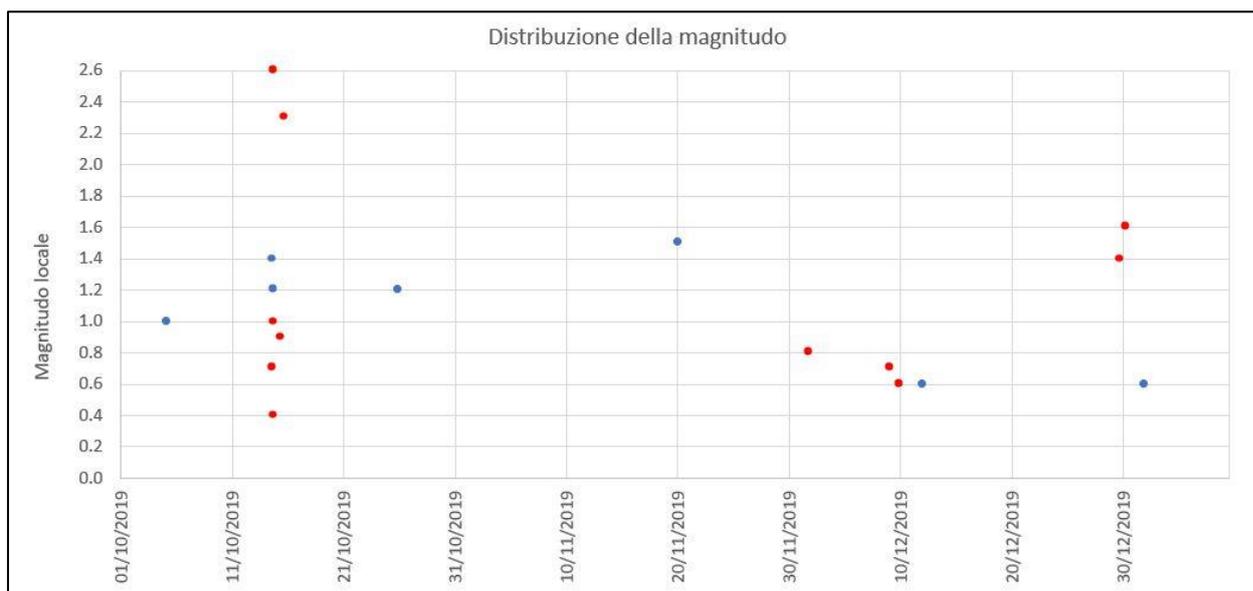


Figura 10: distribuzione di magnitudo locale nel periodo ottobre-dicembre 2019, degli eventi sismici localizzati nella griglia: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.

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

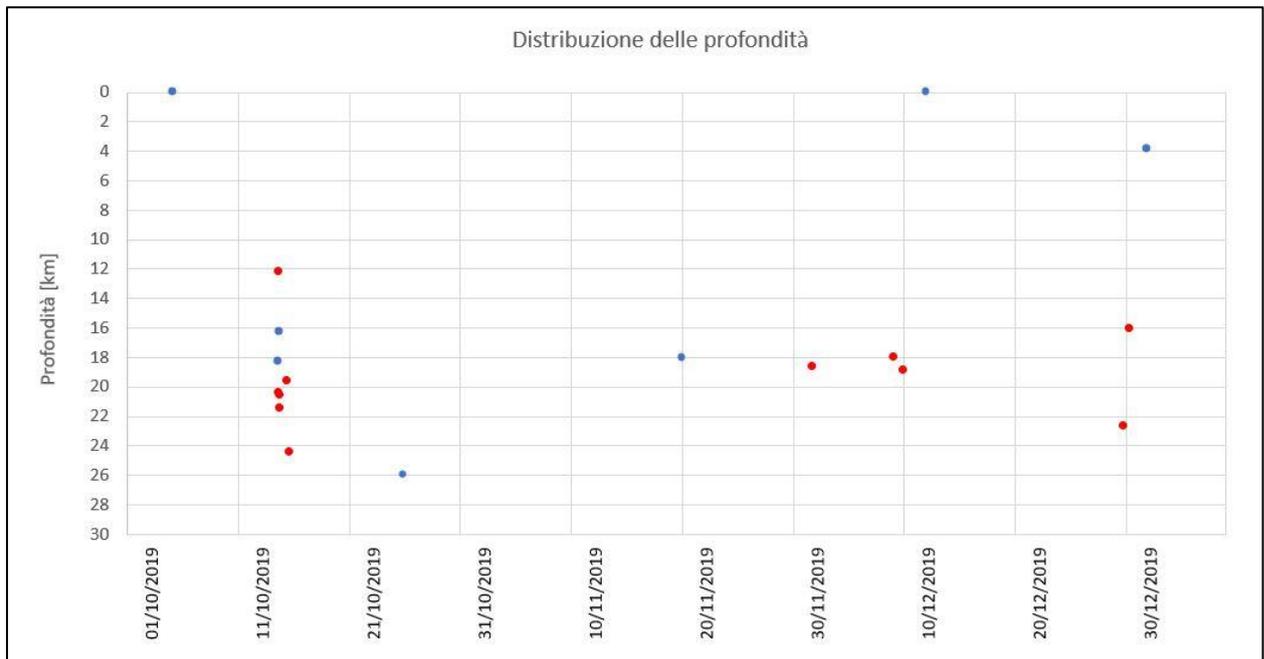


Figura 11: distribuzione delle profondità degli eventi sismici localizzati nella griglia: in rosso gli eventi il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione.

6.1. Evento 1: 05/10/2019 03:42:56 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
1	05/10/2019 03:42:56	40.32	15.86	0	0.50	1.0 ± 0.2	MCEL MGR SIRI SLCN

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.

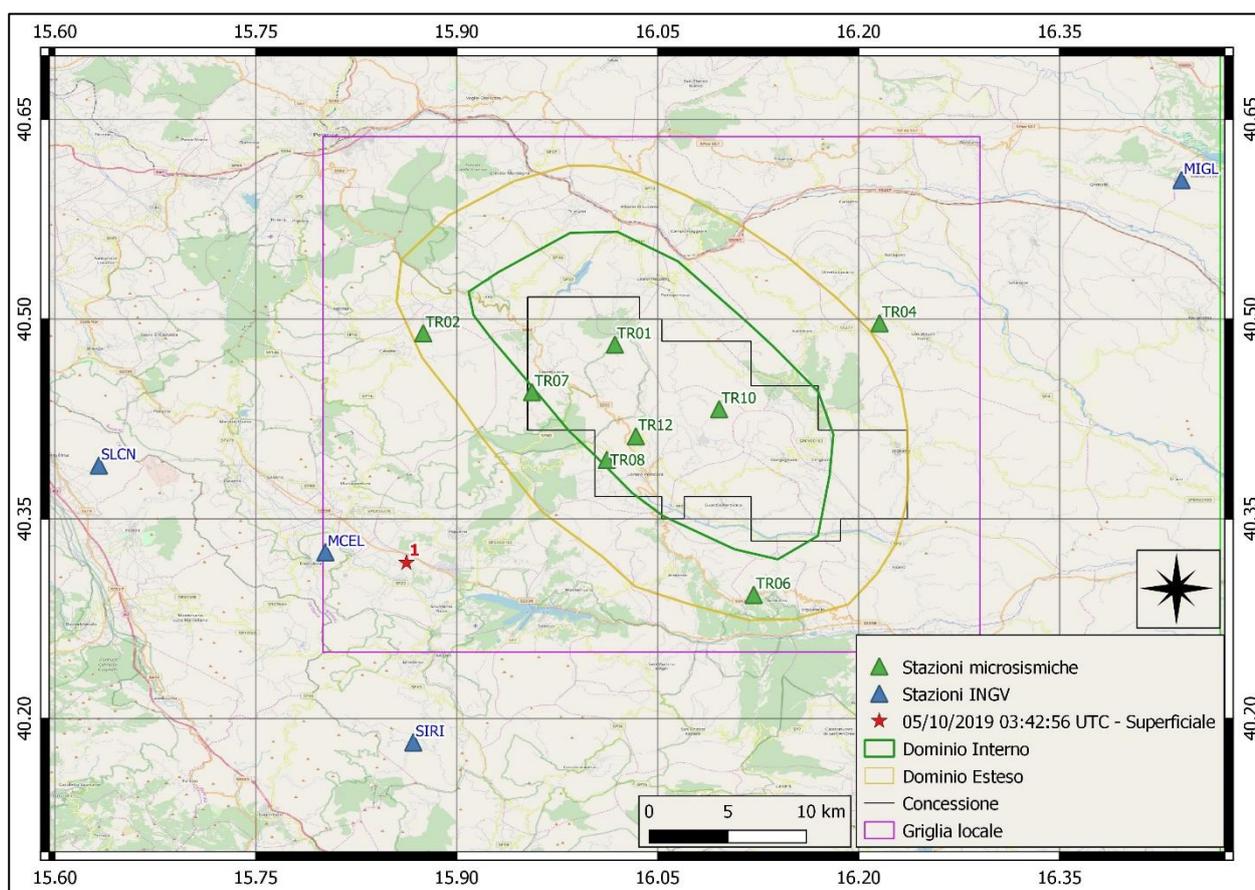
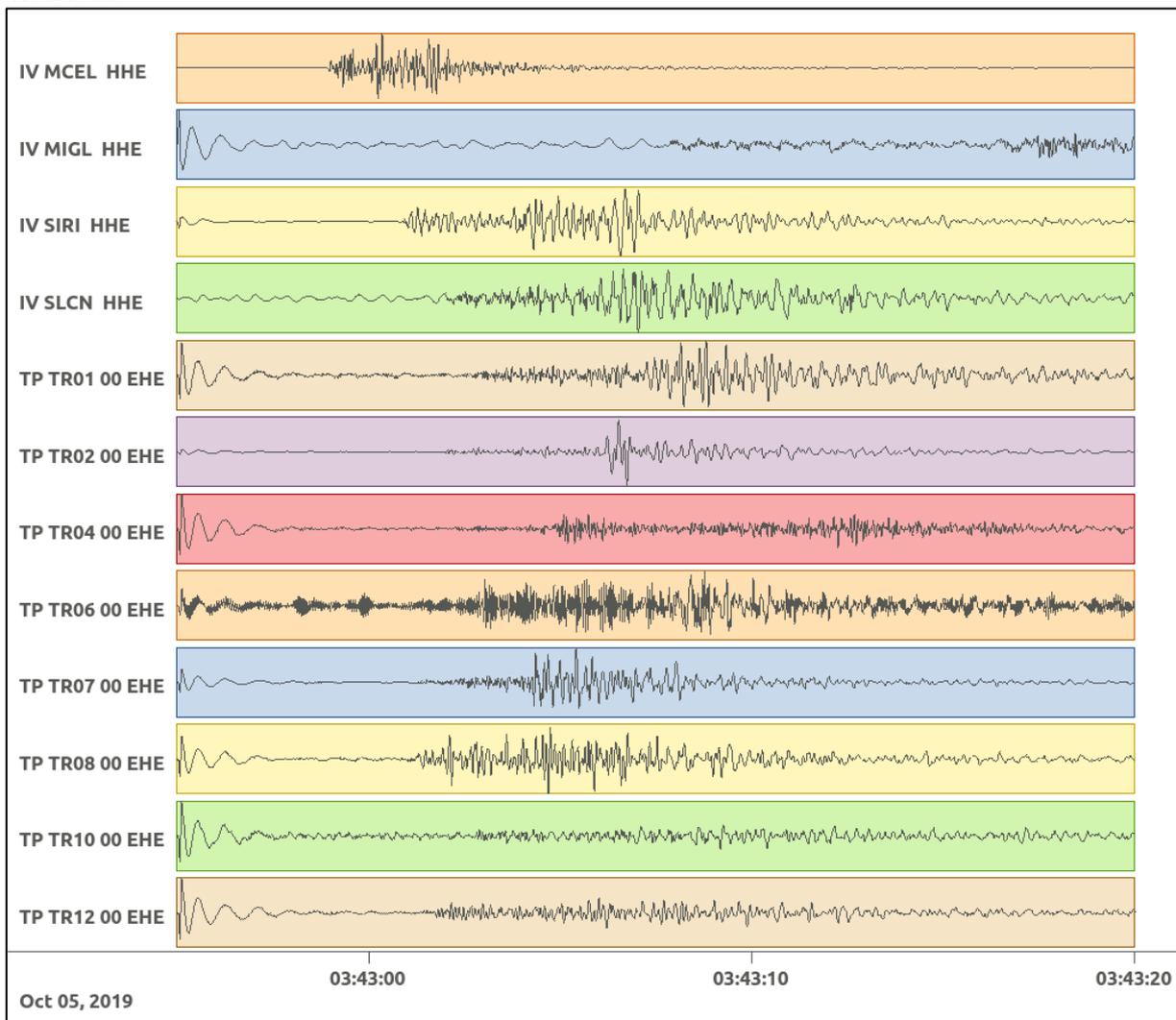
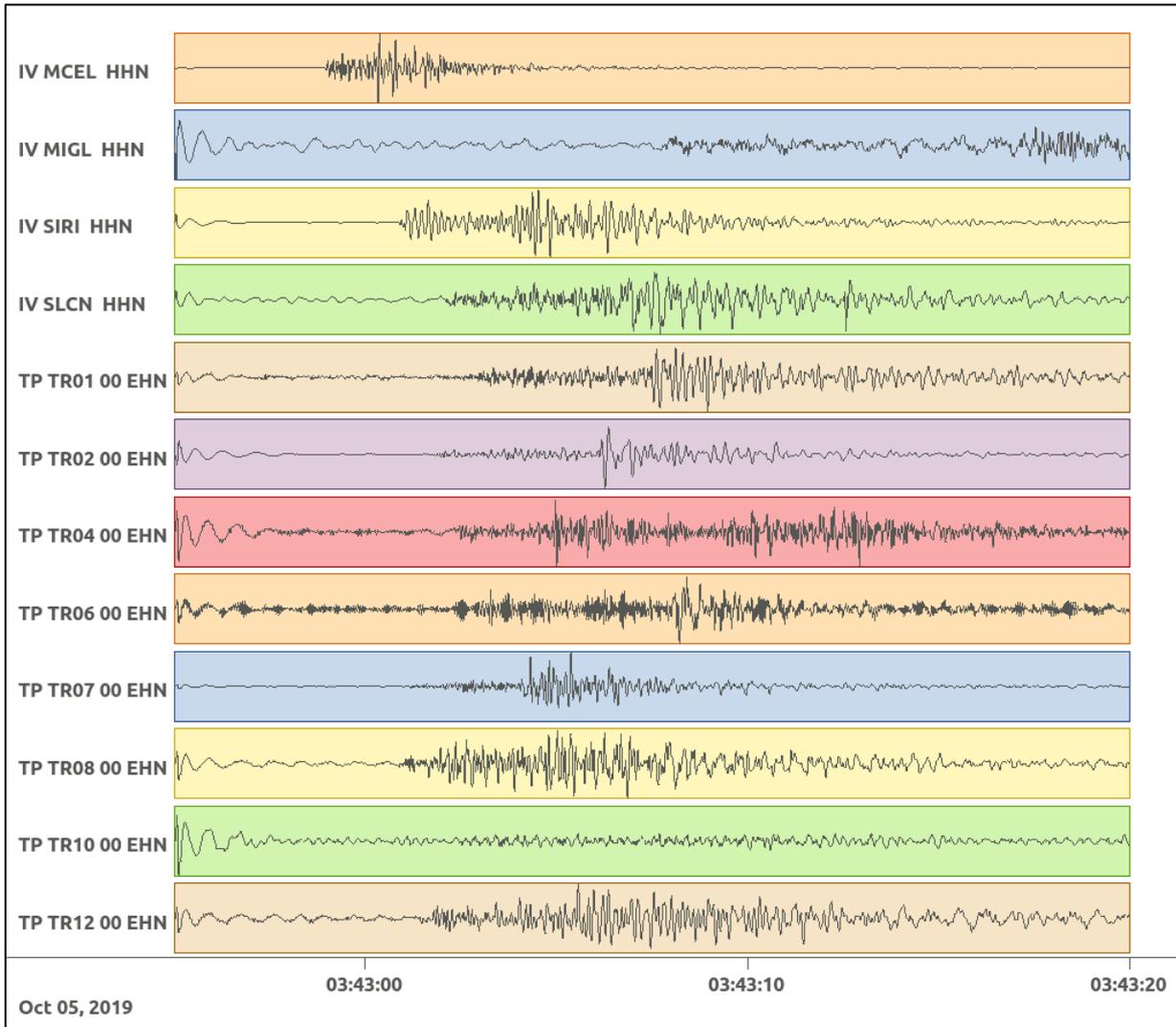


Figura 12: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 5/10/2019 03:42:56 UTC localizzato in superficie.

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.





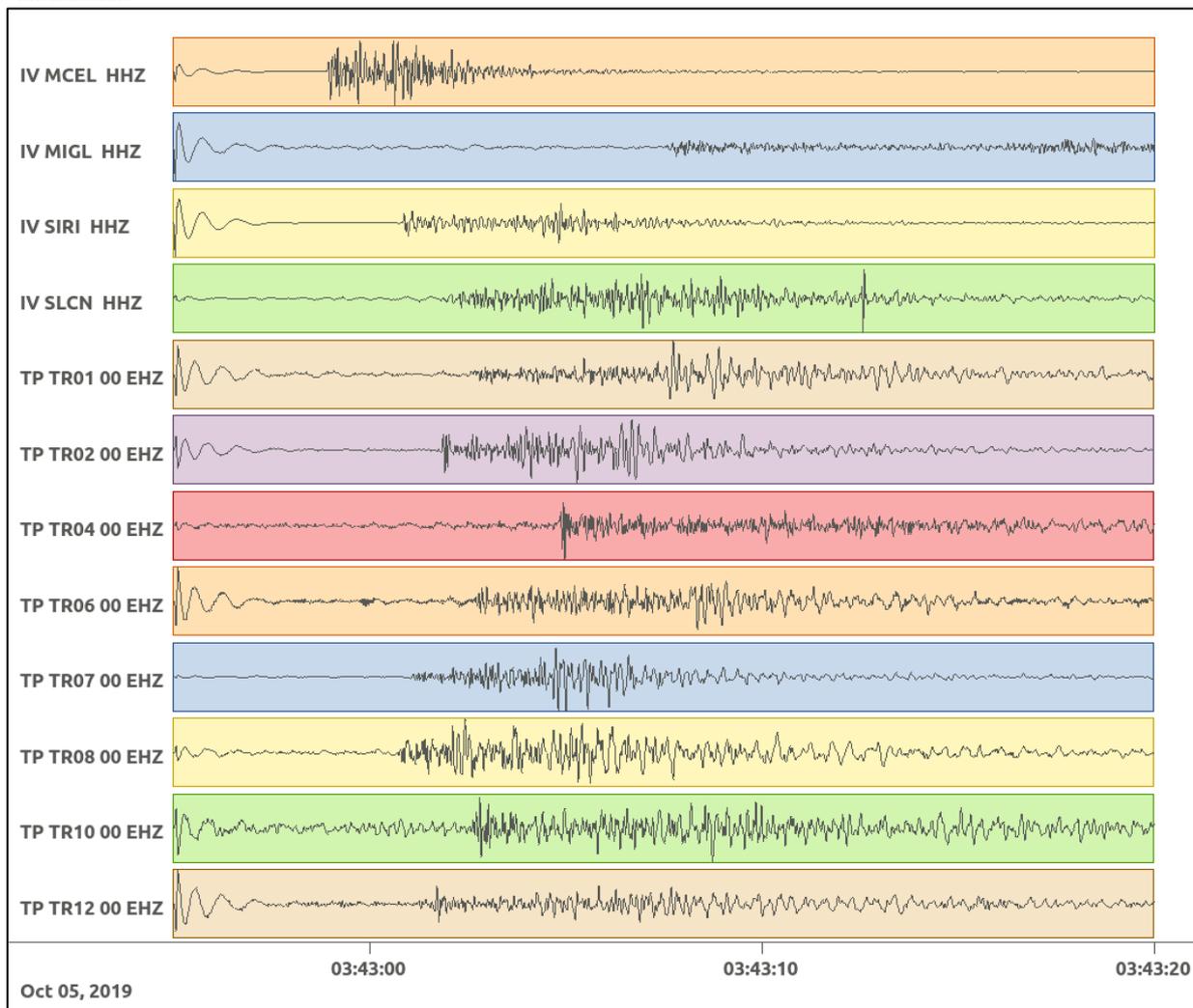


Figura 13: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 1, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

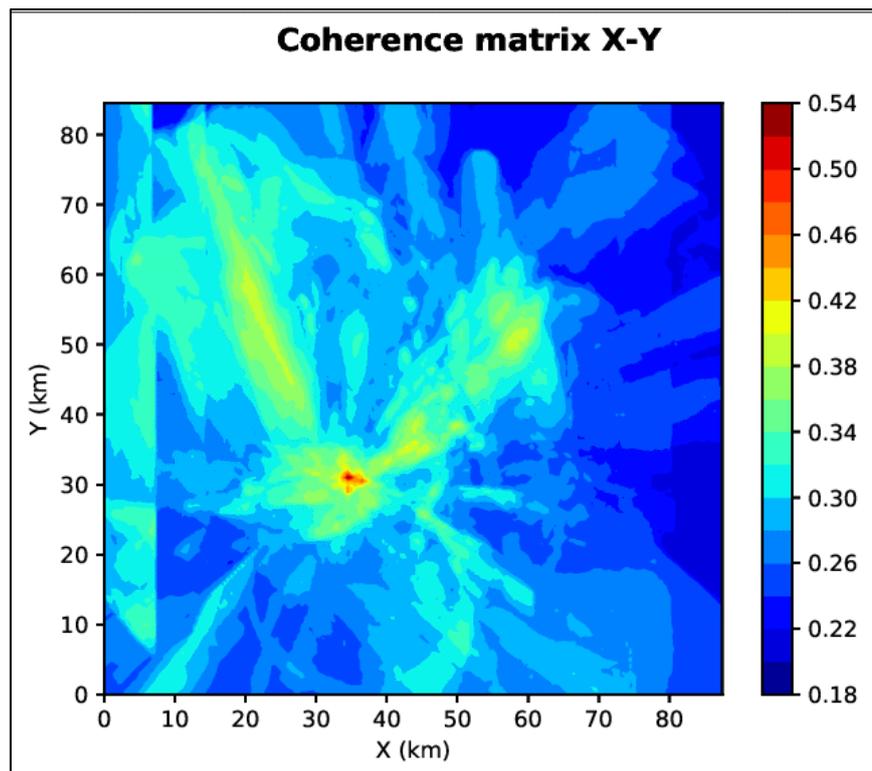


Figura 14: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

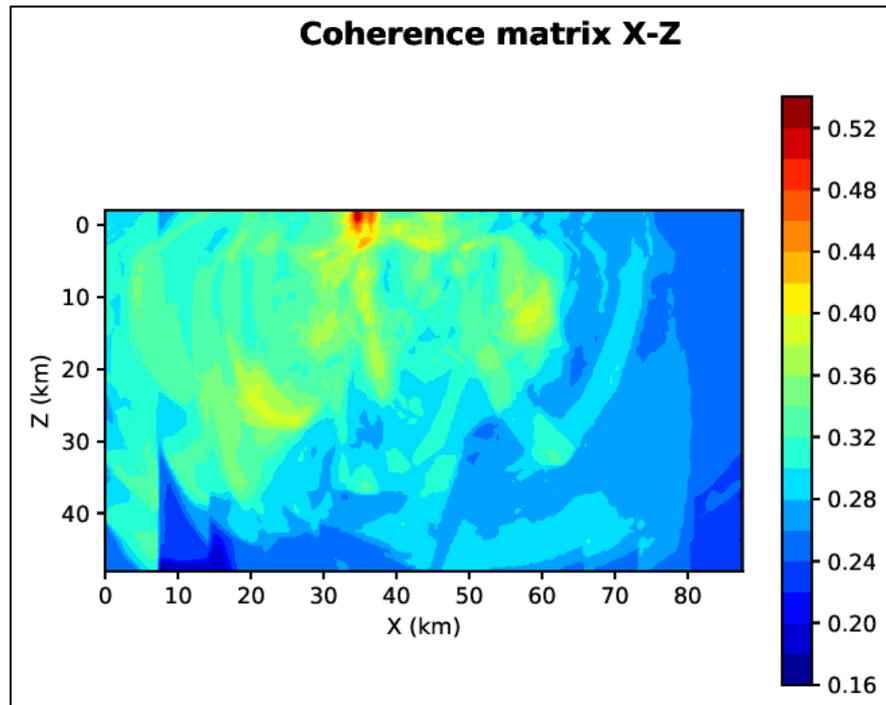


Figura 15: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

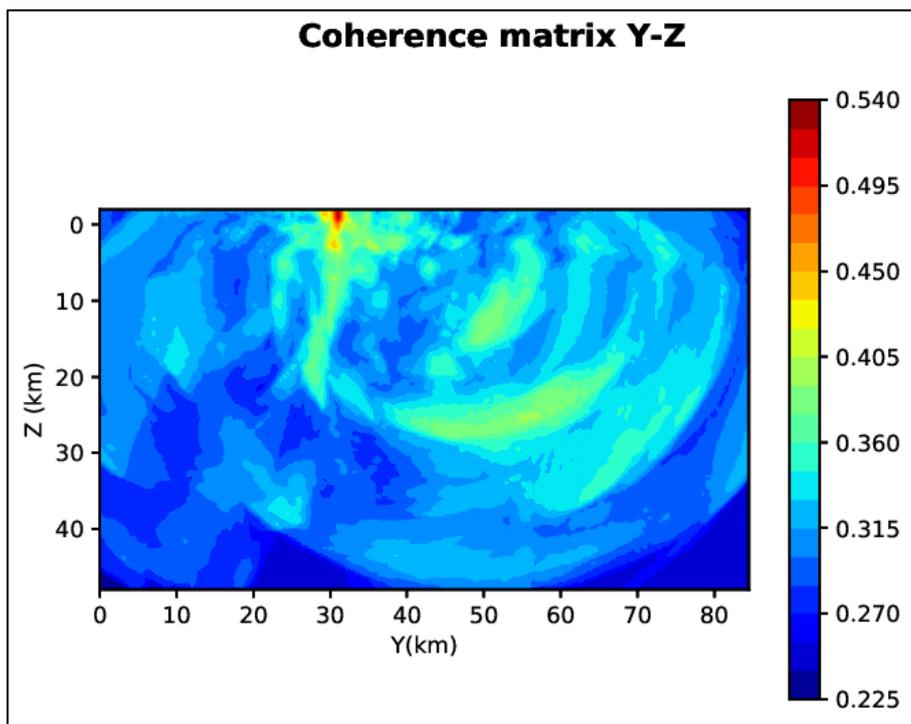


Figura 16: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.2. Evento 2: 14/10/2019 16:39:14 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
2	14/10/2019 16:39:14	40.54	15.80	18.31	0.94	1.4 ± 0.2	ACER MCEL MGR MIGL MRLC PTRP PZUN SIRI SLCN

In Figura 17 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

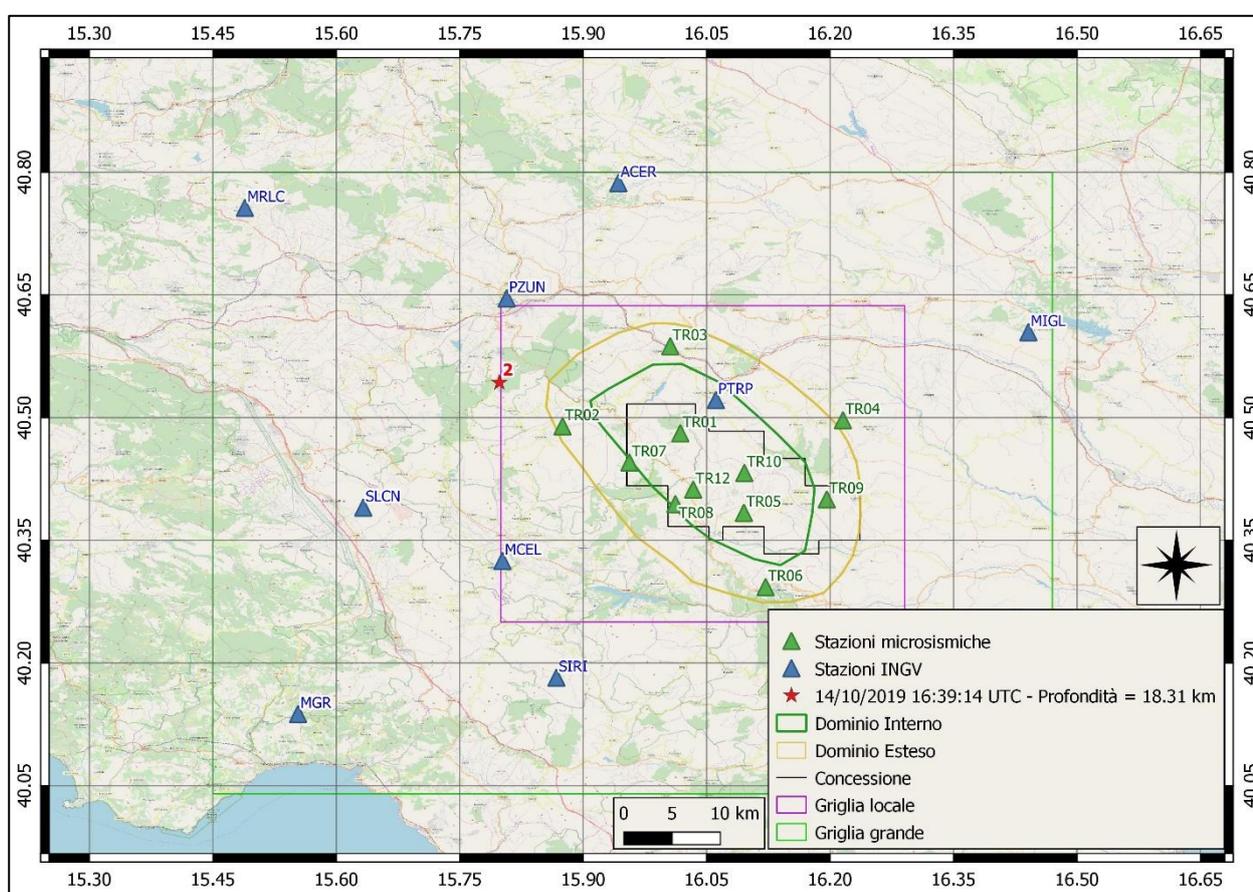
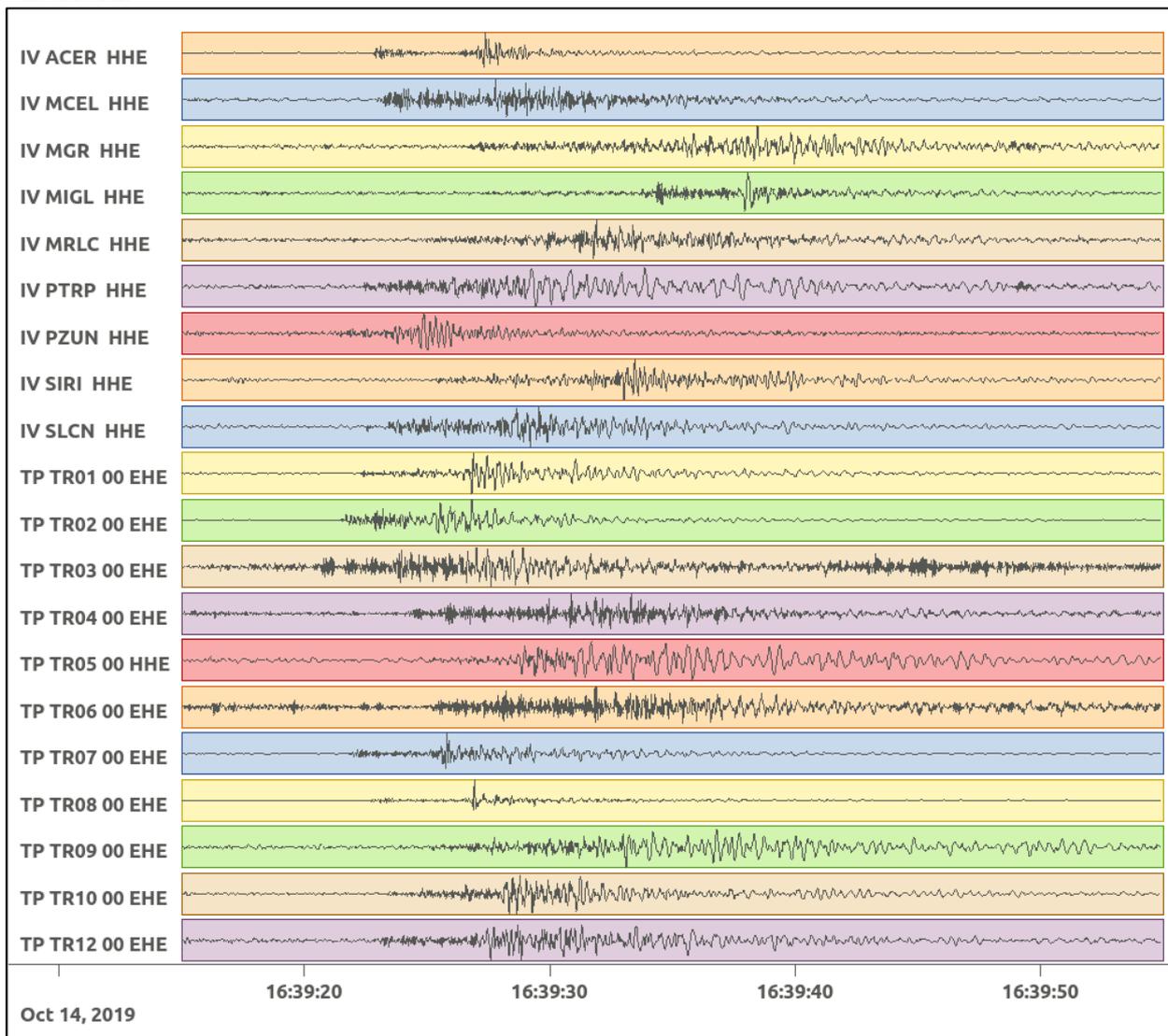
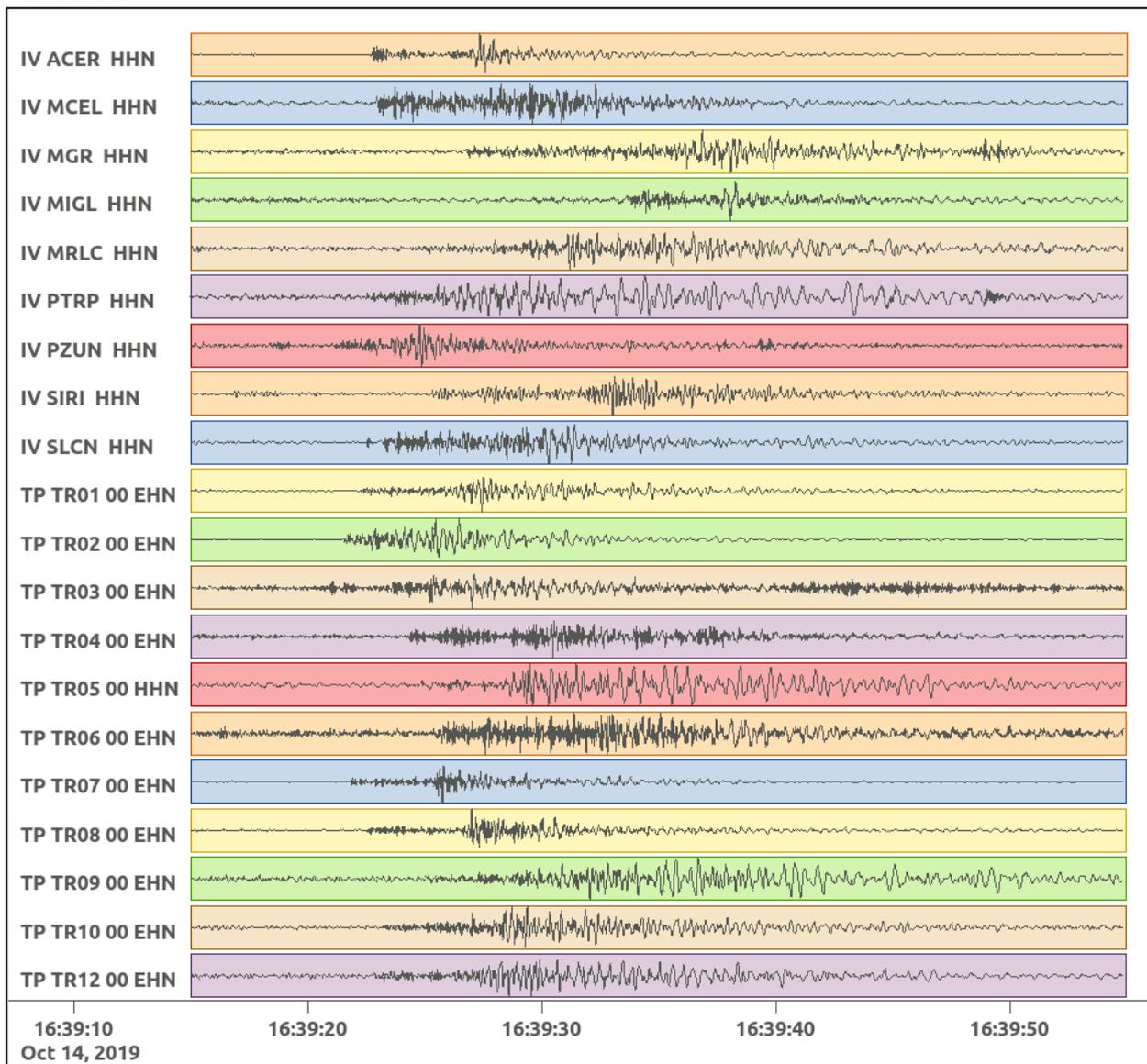


Figura 17: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 14/10/2019 16:39:14 UTC verificatosi a profondità 18.31 km

In Figura 18 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 2: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





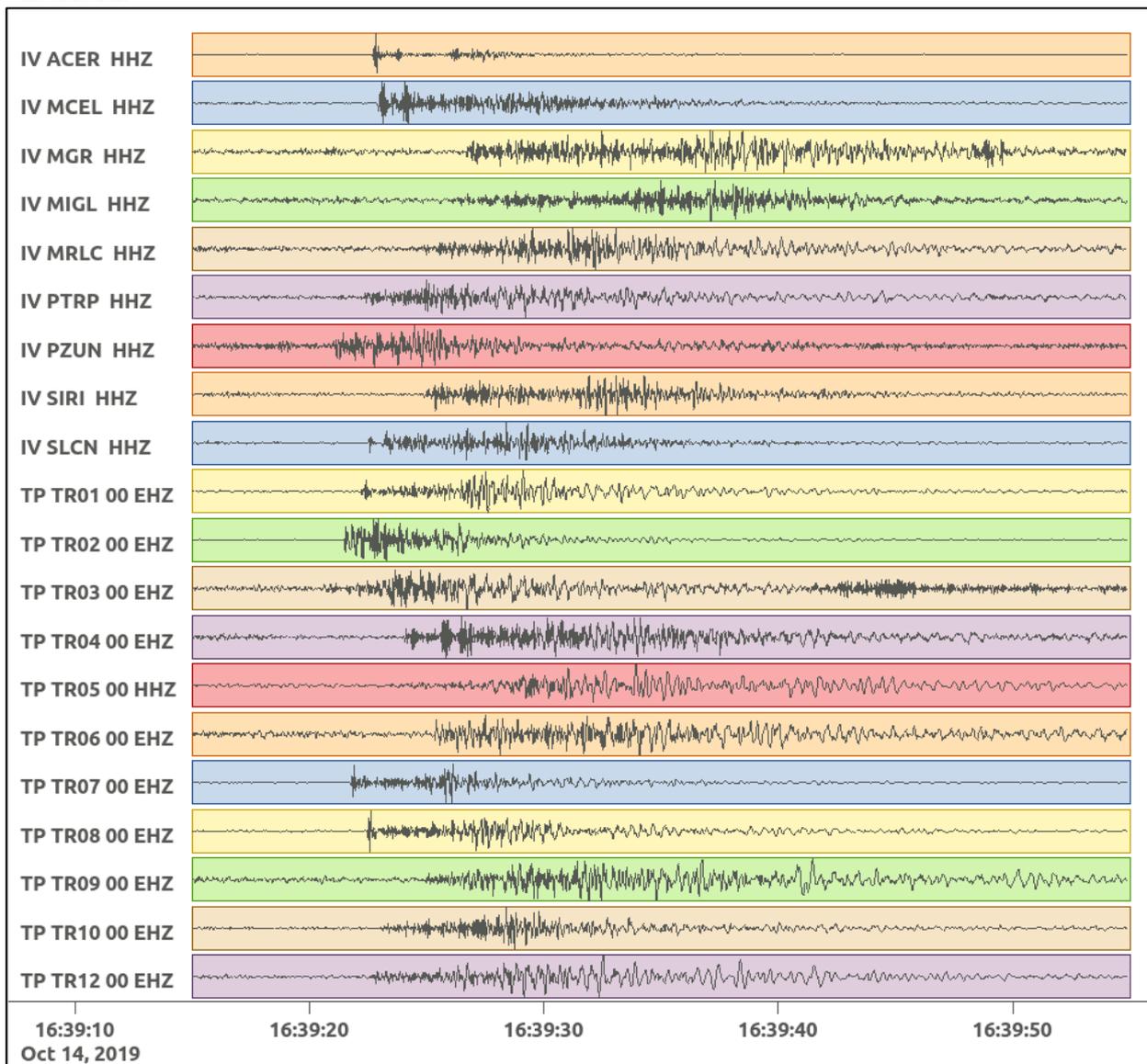


Figura 18: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 2, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

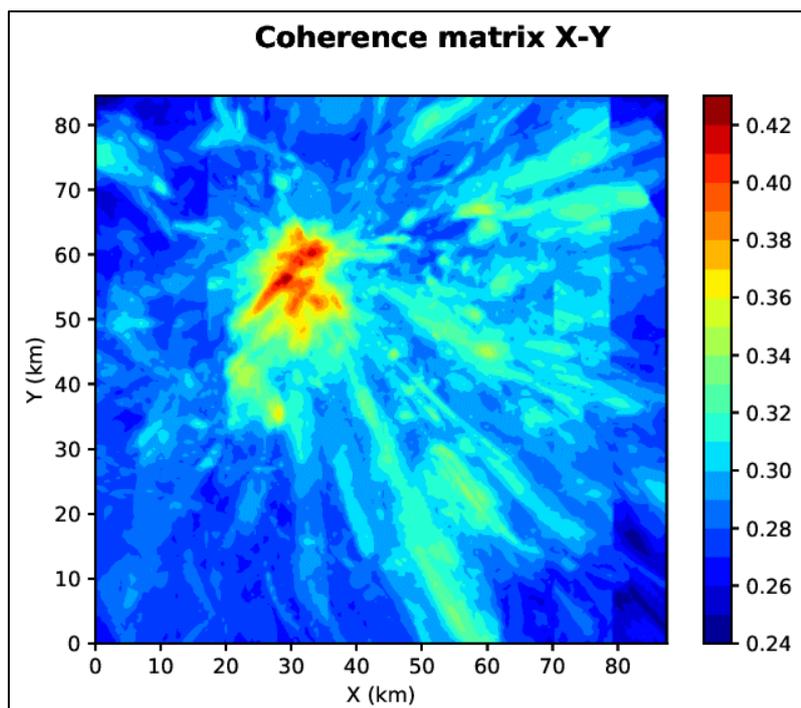


Figura 19: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

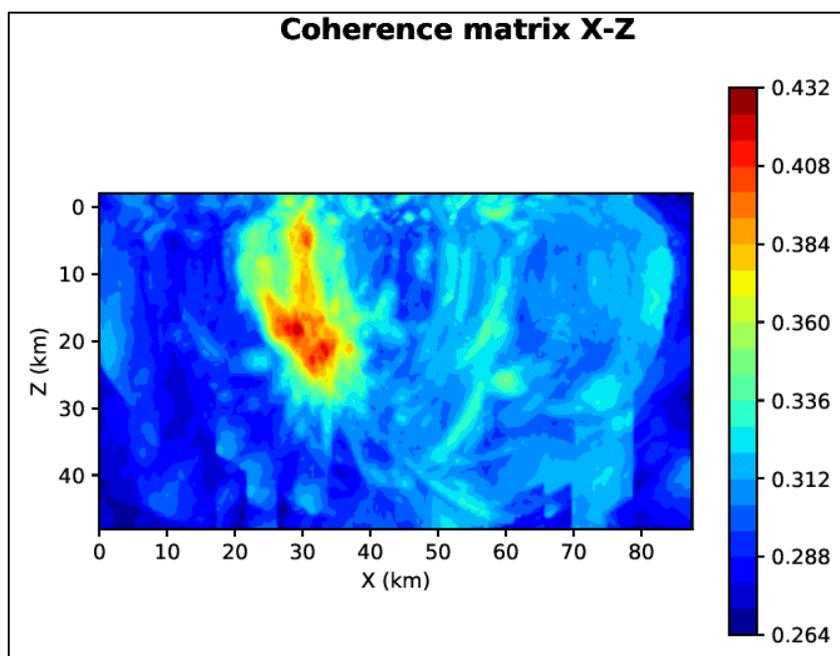


Figura 20: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

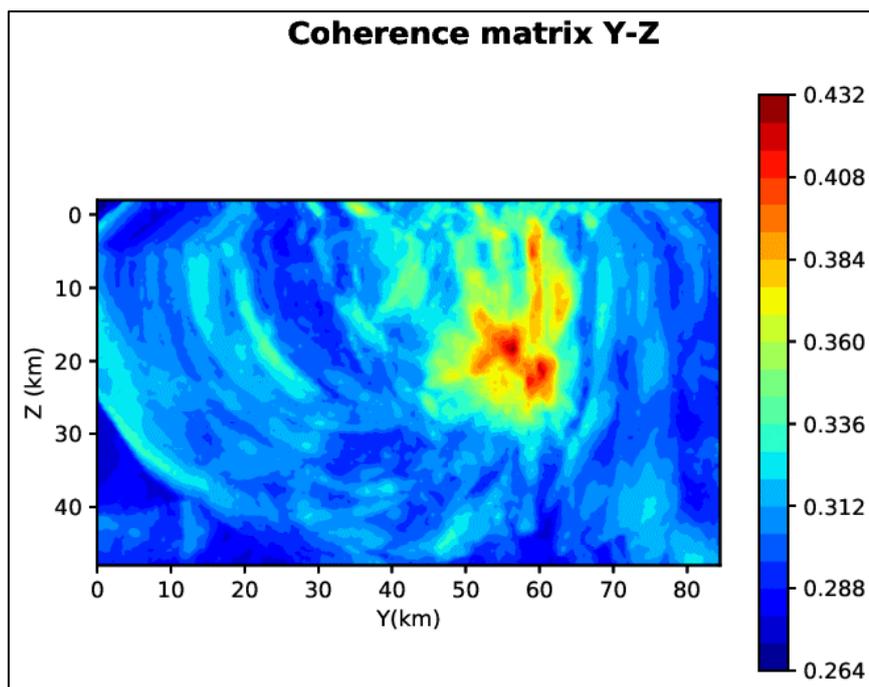


Figura 21: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.3. Evento 3: 14/10/2019 17:01:42 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
3	14/10/2019 17:01:42	40.51	15.87	20.40	0.50	0.7 ± 0.1	ACER MCEL SIRI

In Figura 22 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

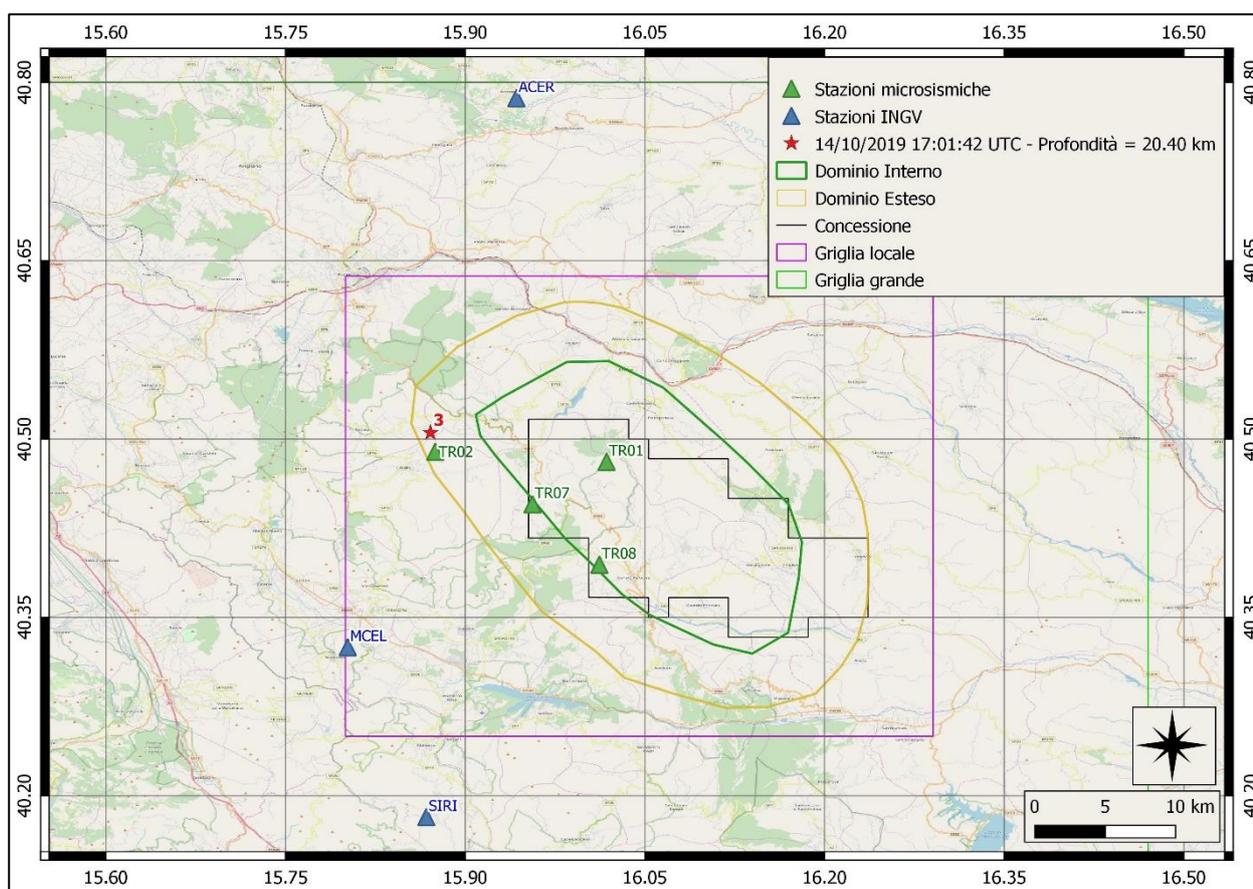
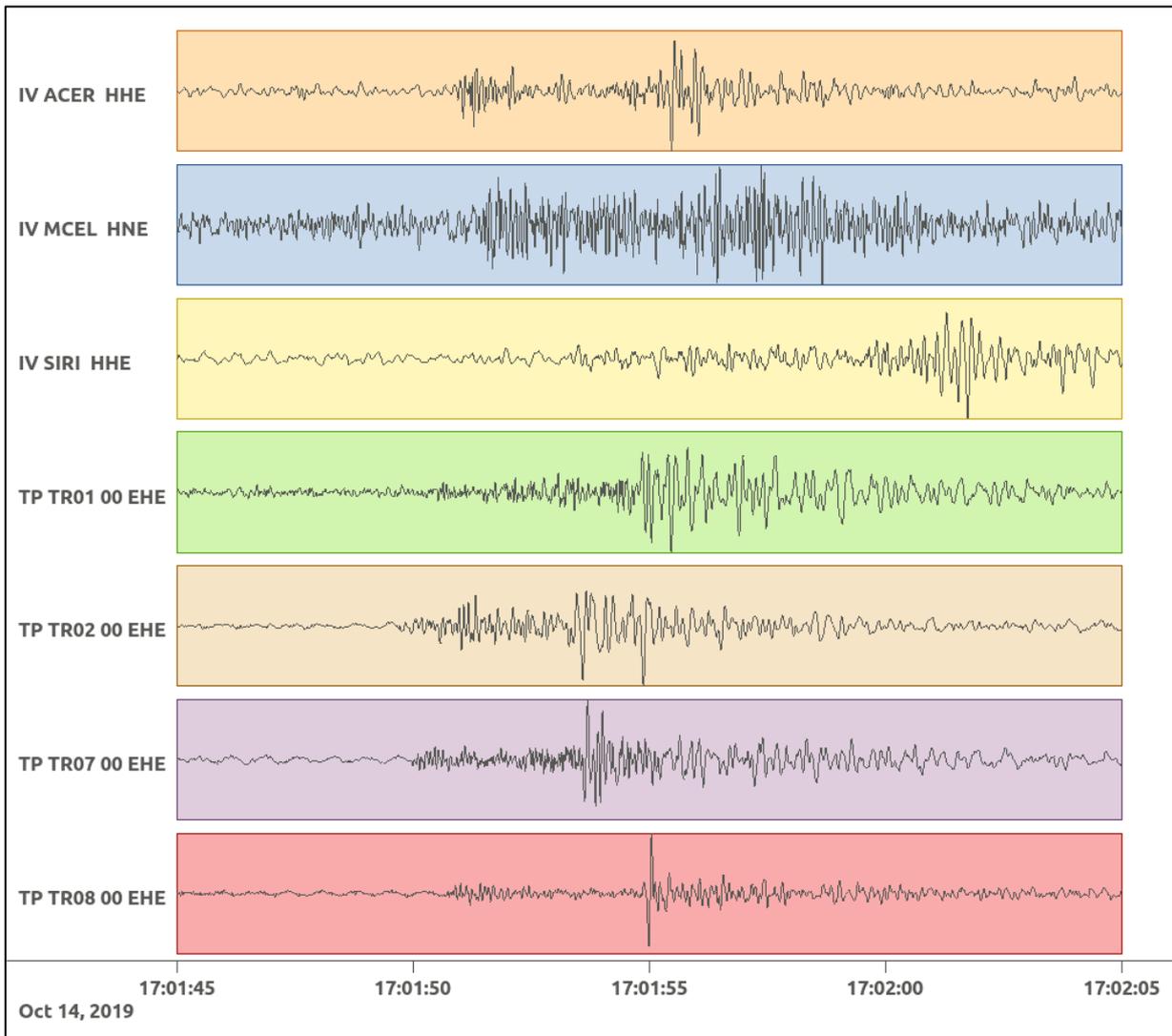
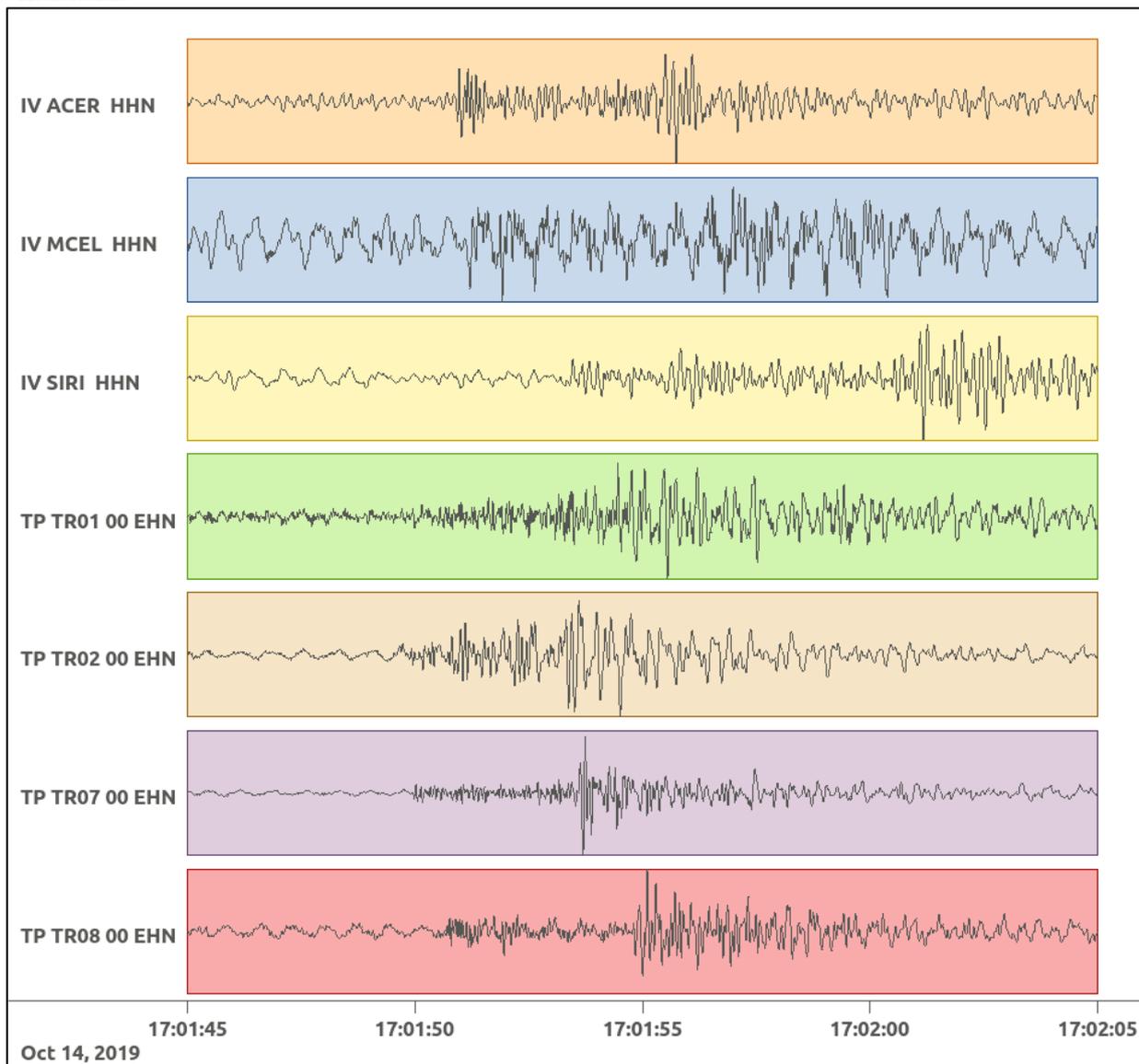


Figura 22: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 14/10/2019 17:01:42 UTC verificatosi a profondità 20.40 km

In Figura 23 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 3: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





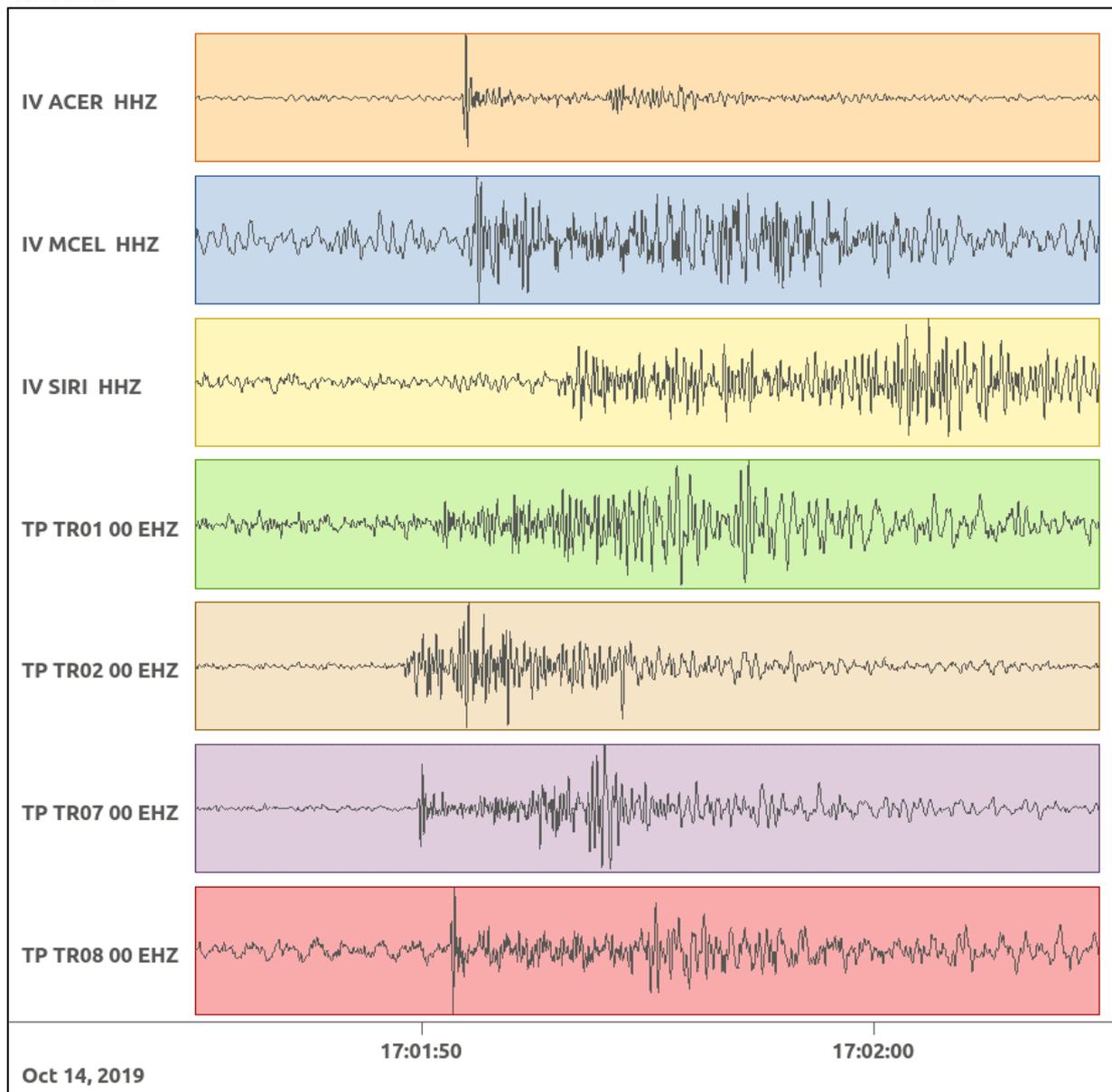


Figura 23: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 3, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

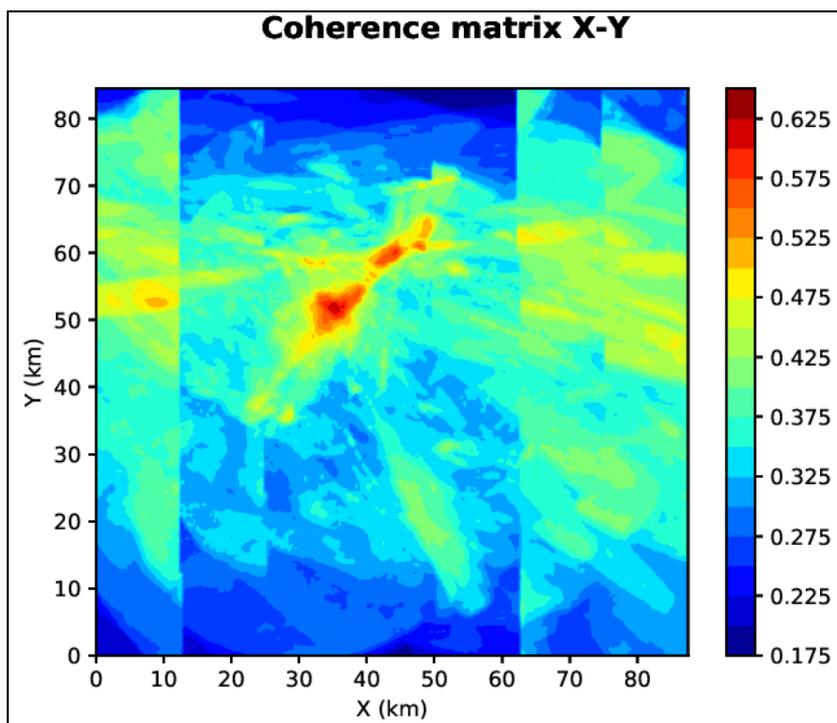


Figura 24: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

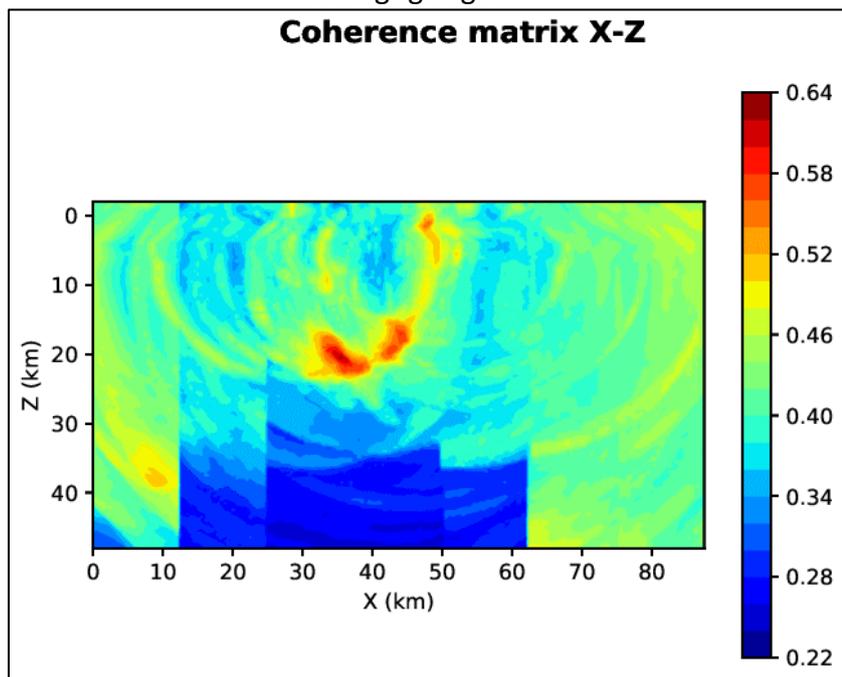


Figura 25: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

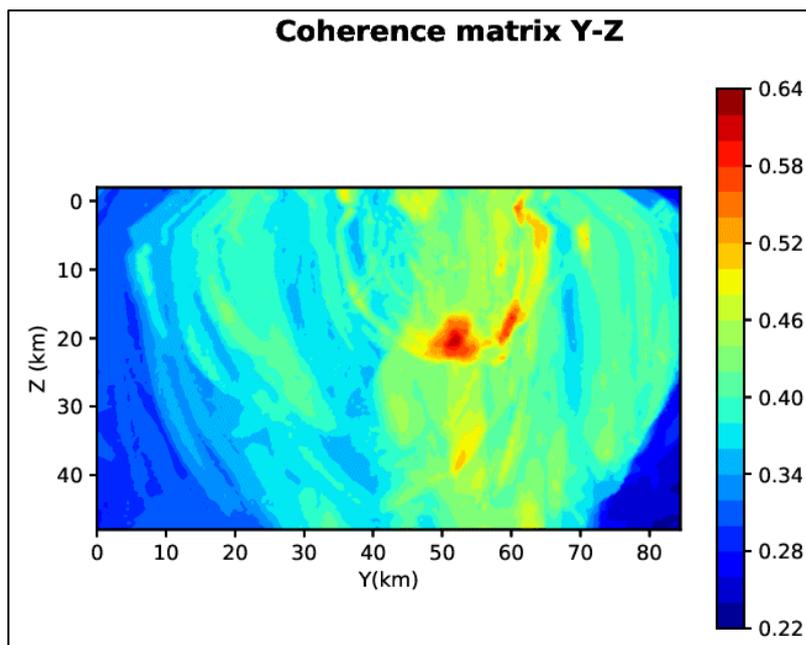


Figura 26: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.4. Evento 4: 14/10/2019 17:37:57 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
4	14/10/2019 17:37:57	40.52	15.90	12.17	0.79	2.6 ± 0.2	ACER MCEL MGR MIGL MRLC PTRP PZUN SIRI SLCN

In Figura 27 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

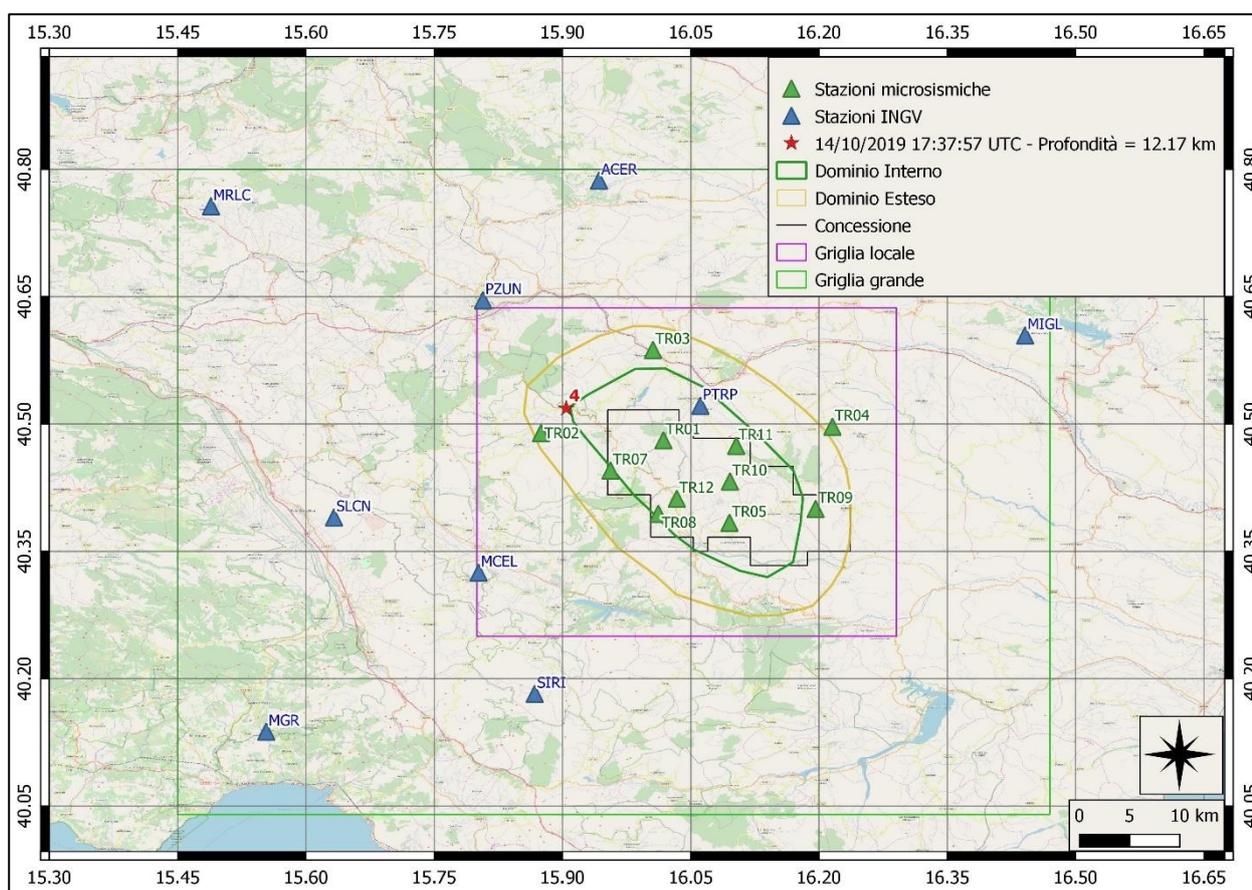
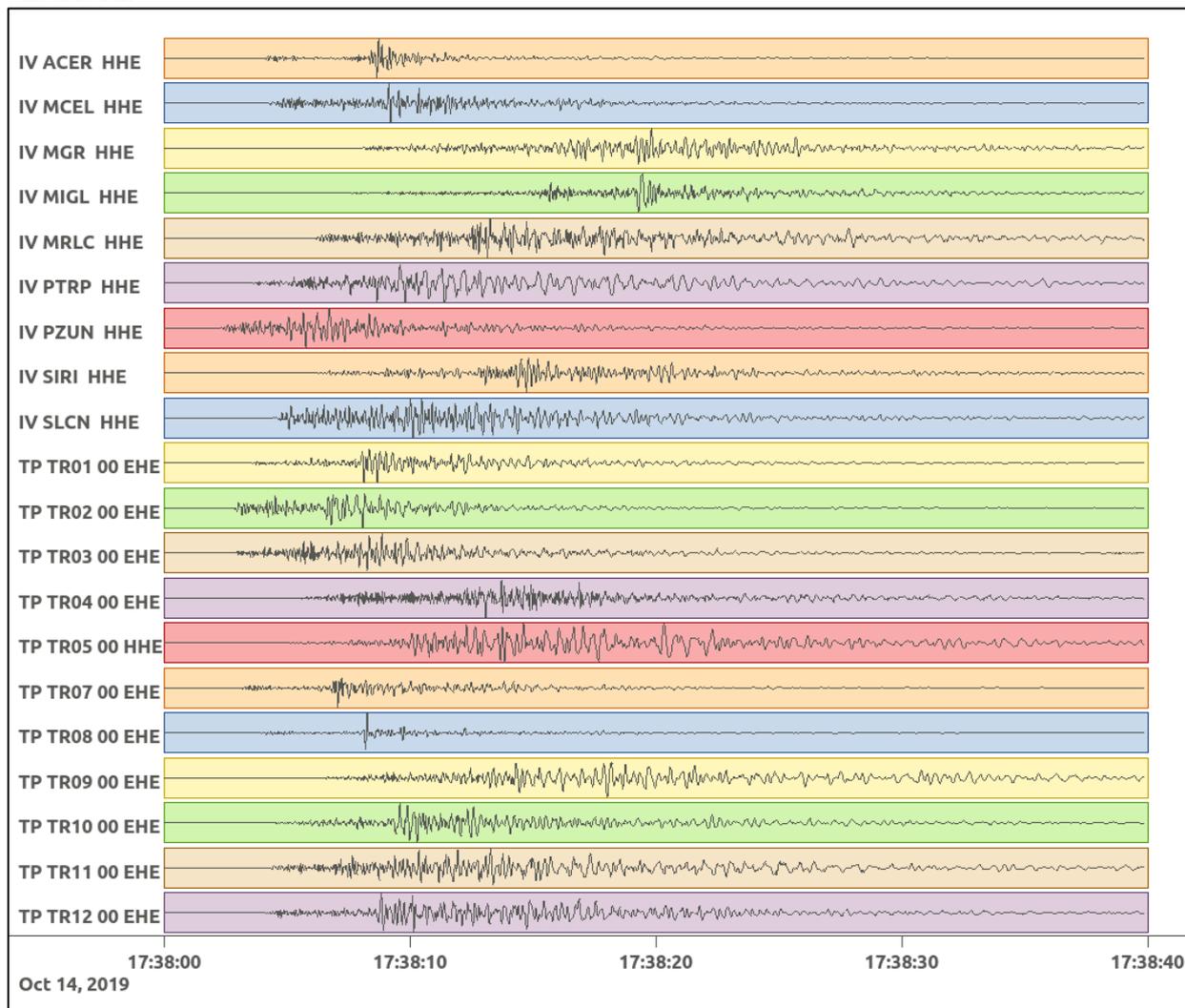
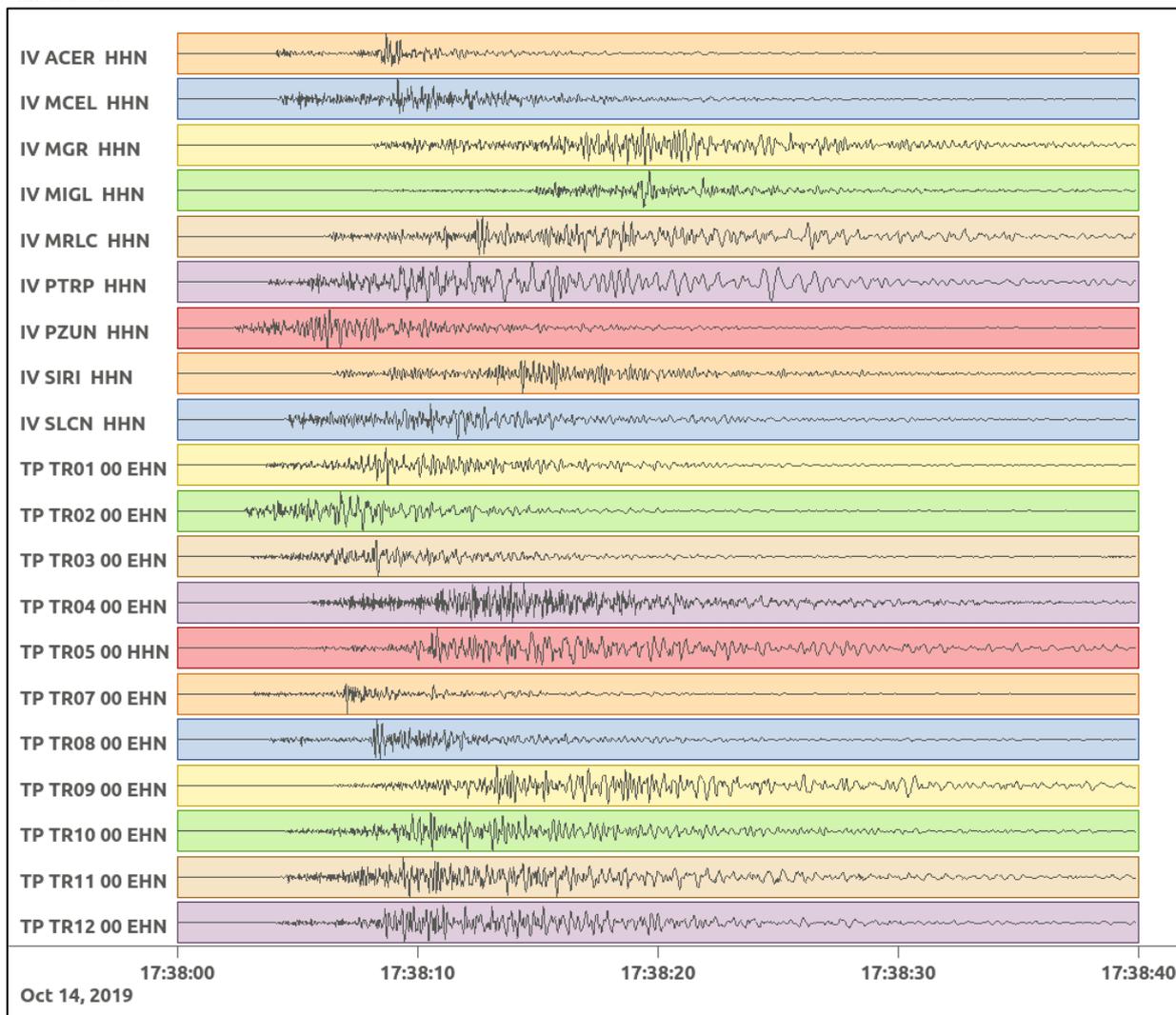


Figura 27: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 14/10/2019 17:37:57 UTC verificatosi a profondità 12.17 km

In Figura 28 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 4: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





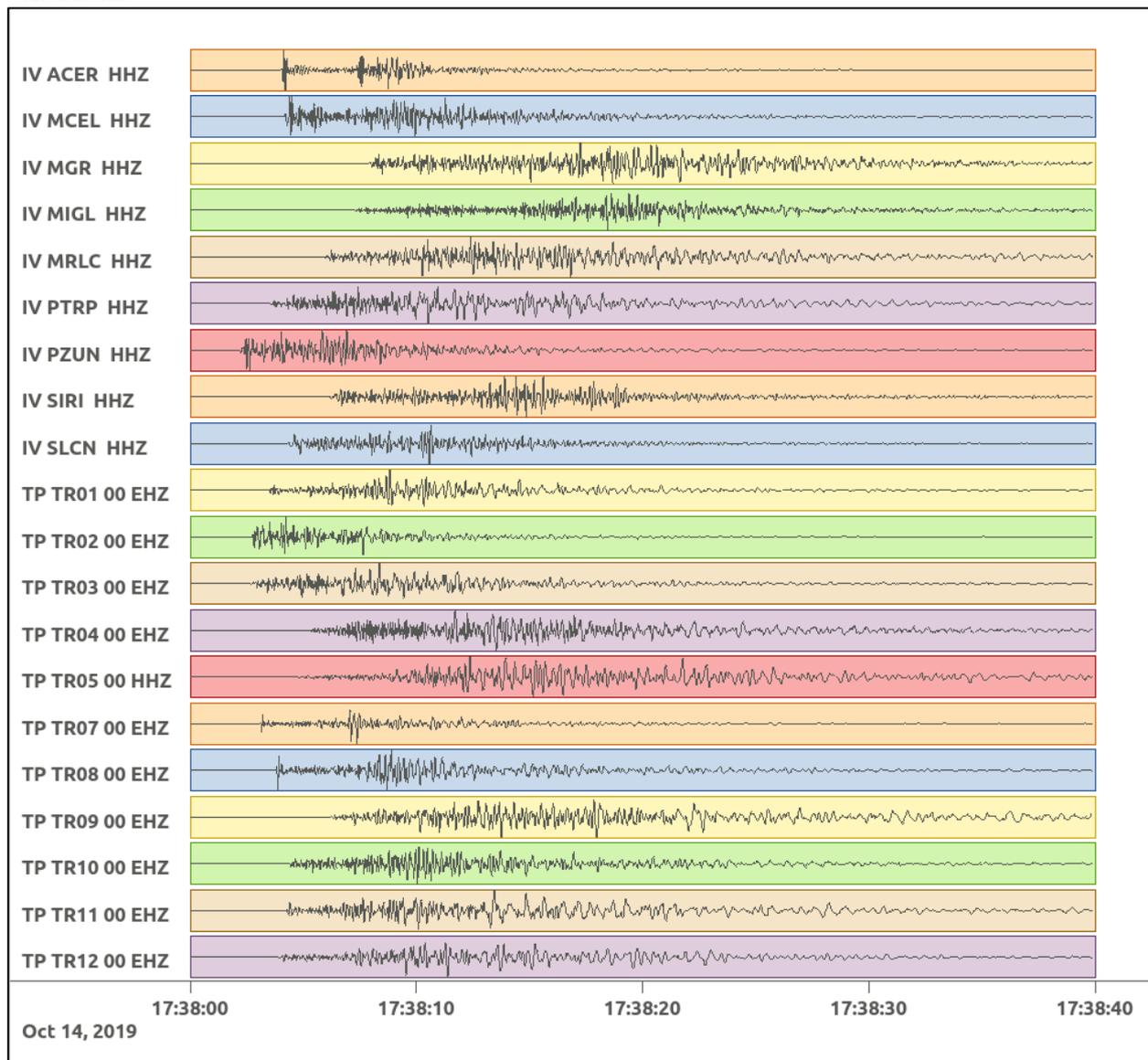


Figura 28: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 4, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

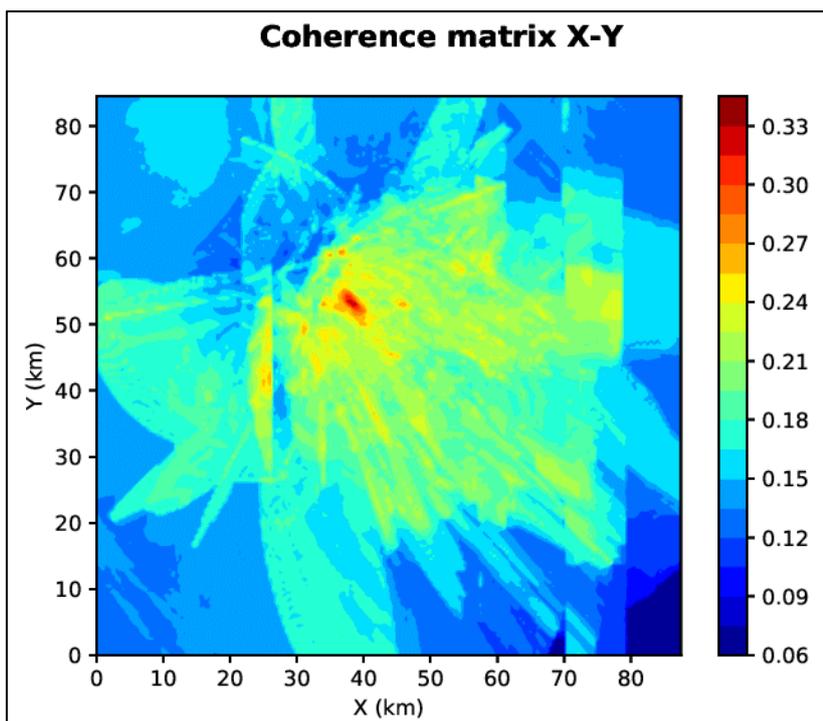


Figura 29: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

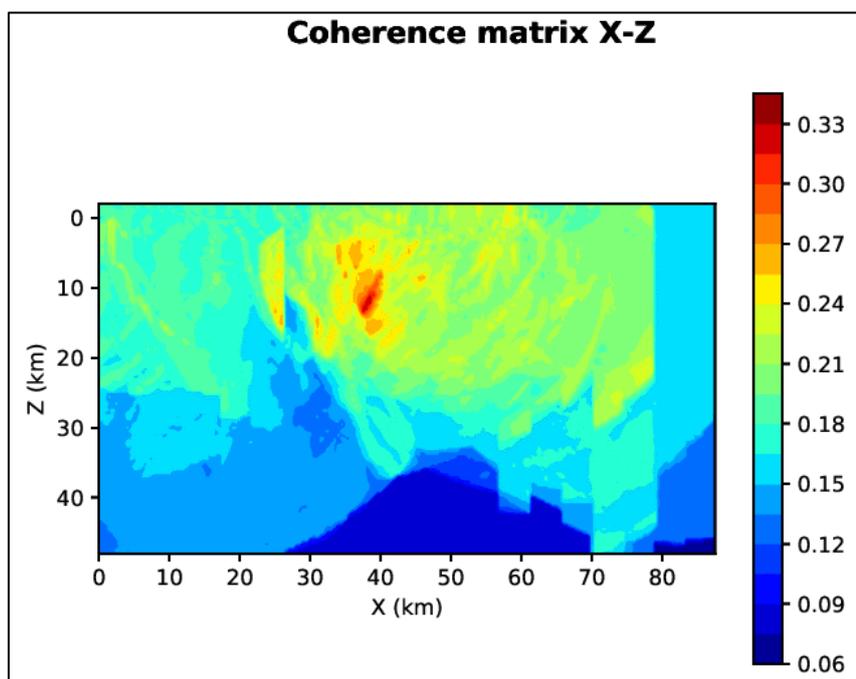


Figura 30: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

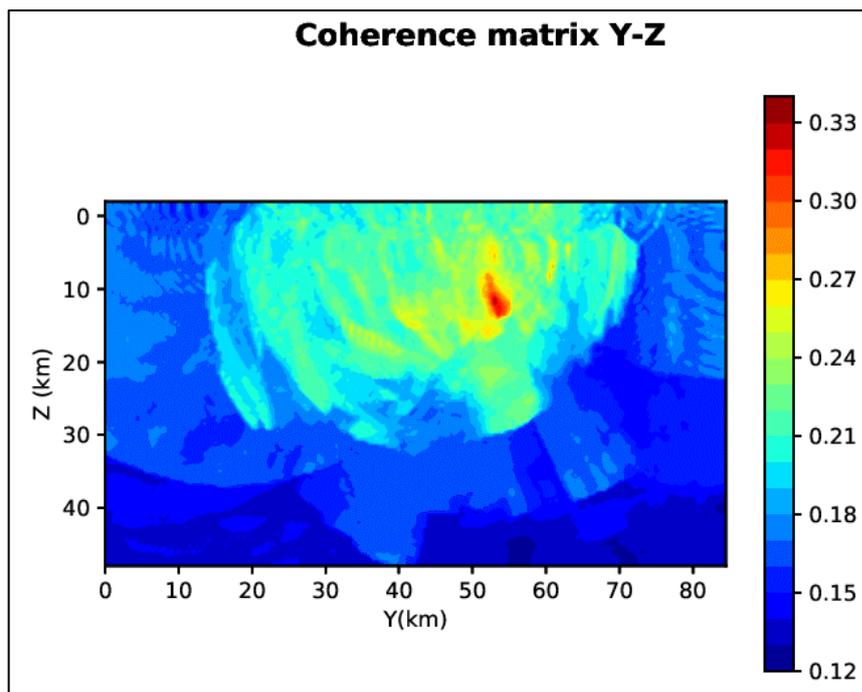


Figura 31: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.5. Evento 5: 14/10/2019 18:58:16 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
5	14/10/2019 18:58:16	40.52	15.87	21.51	0.50	1.0 ± 0.1	ACER MCEL MIGL MRLC PTRP PZUN SIRI SLCN

In Figura 32 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

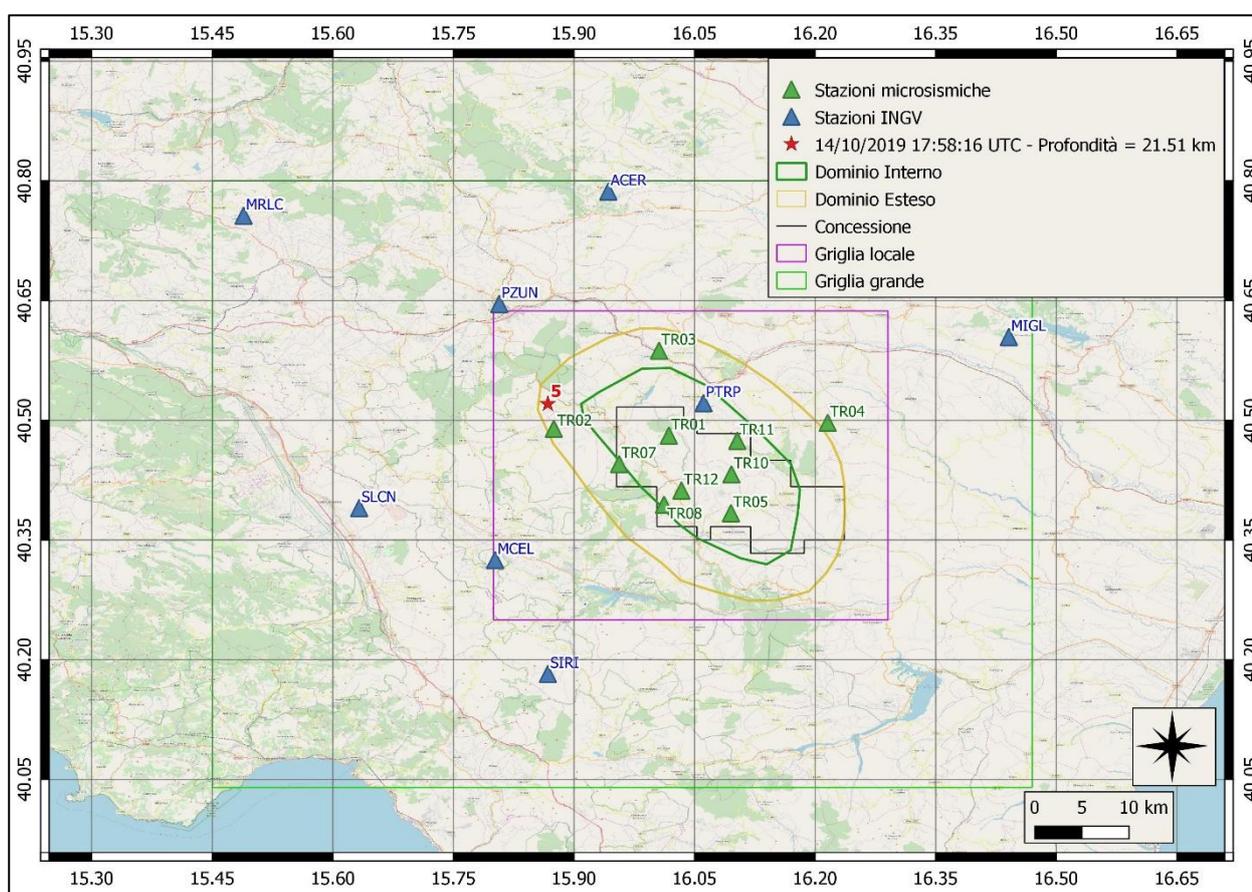
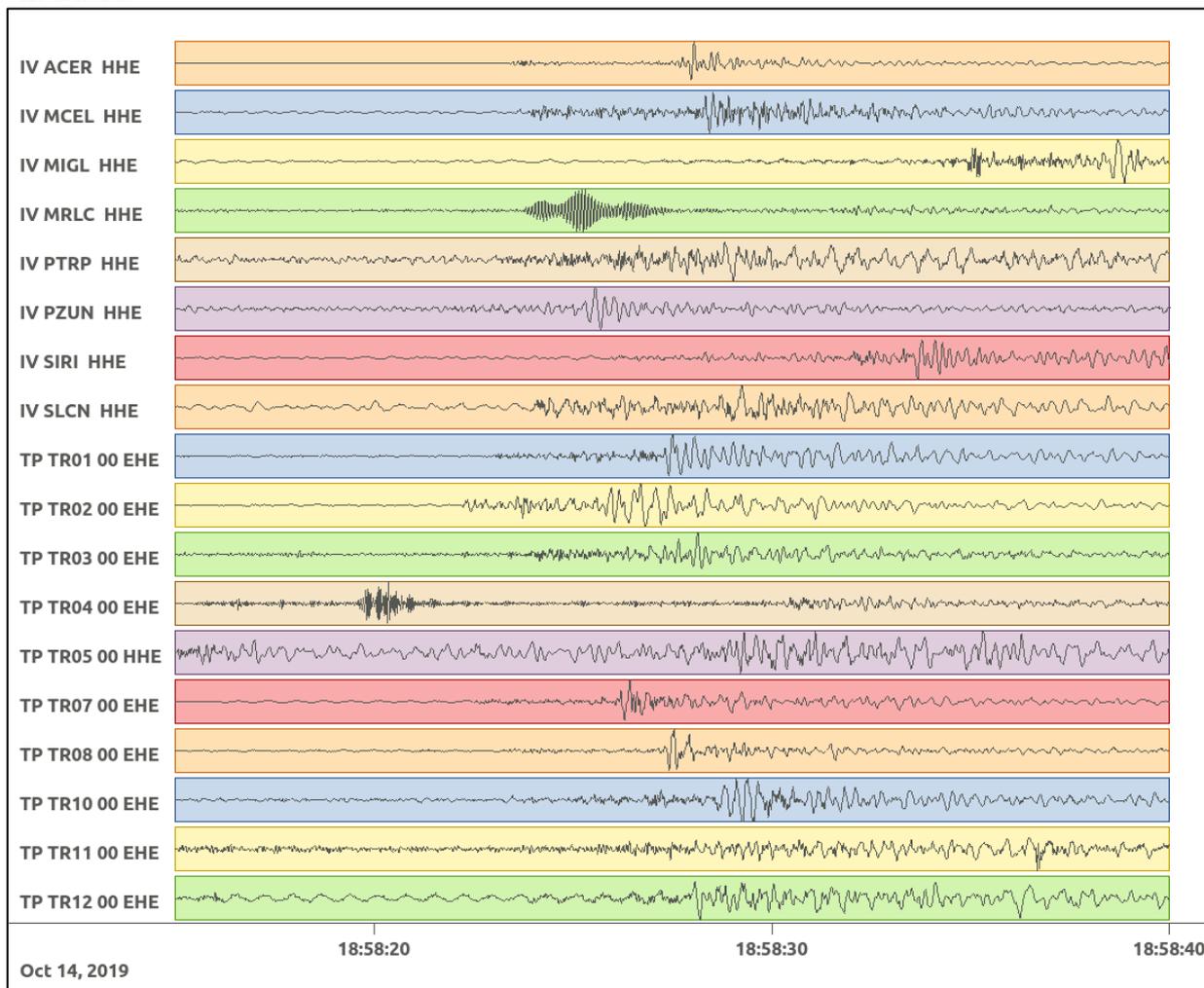
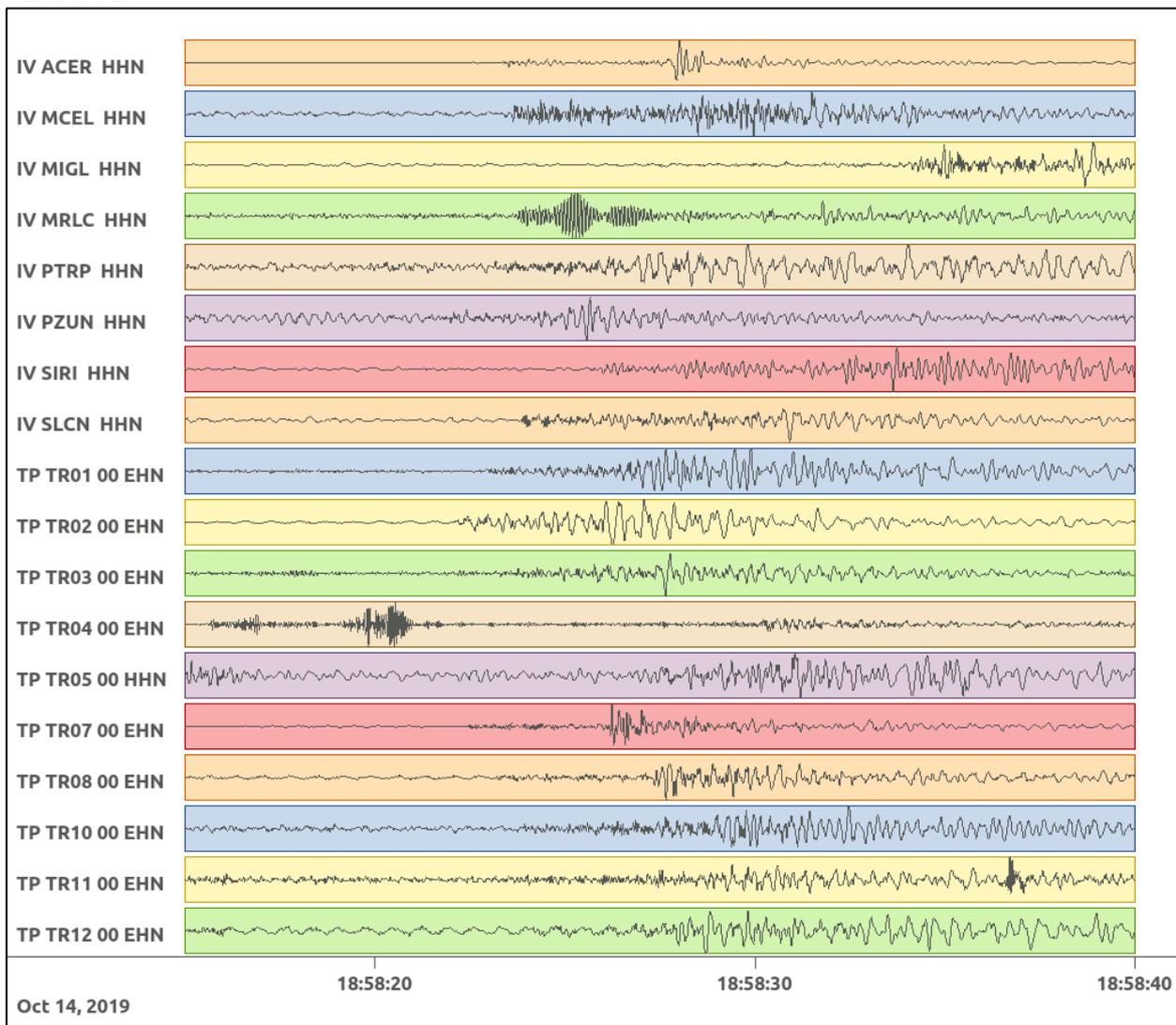


Figura 32: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 14/10/2019 18:58:16 UTC verificatosi a profondità 21.51 km

In Figura 33 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 5: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





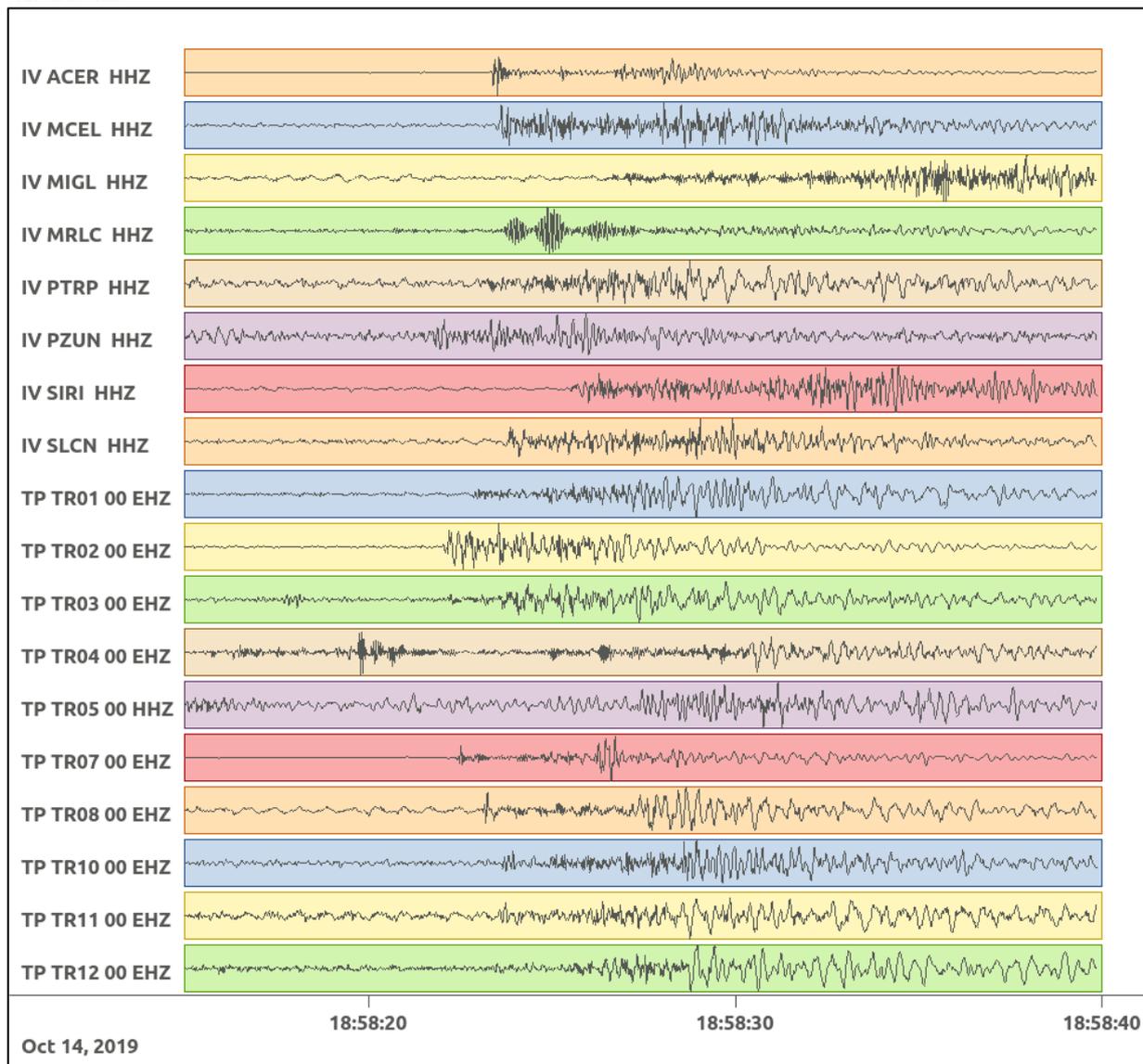


Figura 33: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 5, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

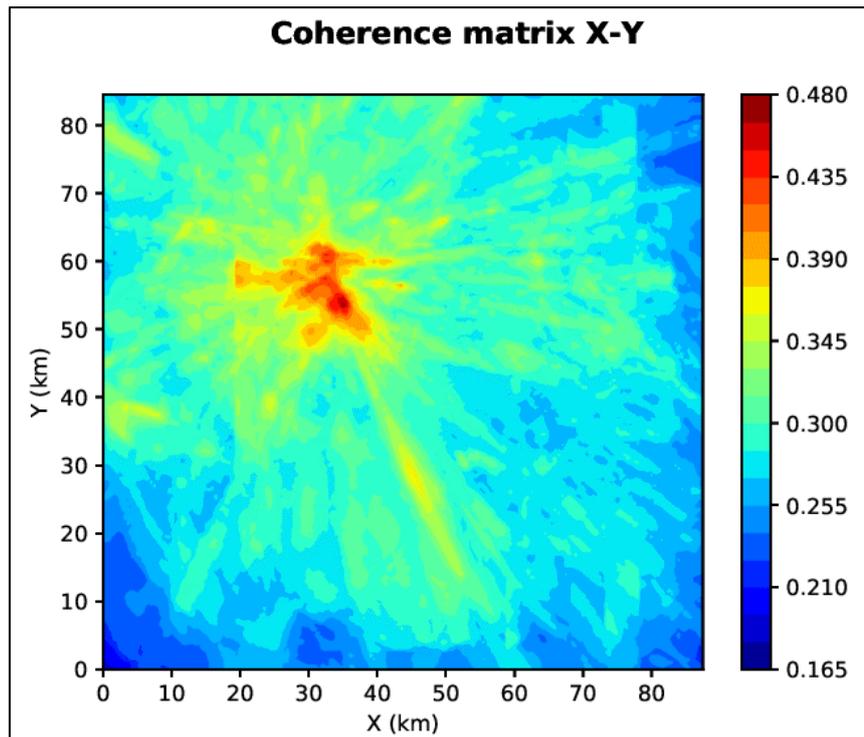


Figura 34: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

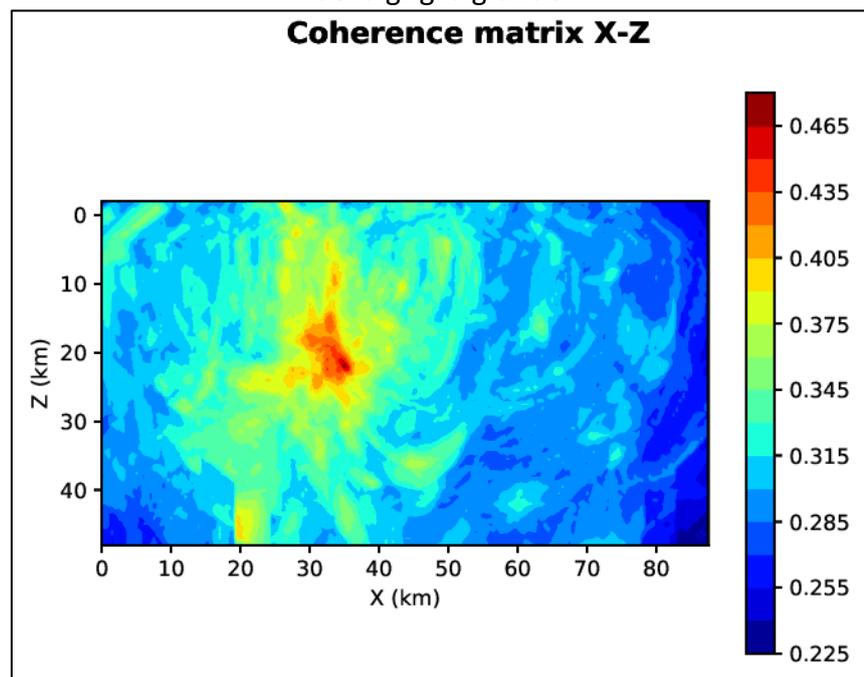


Figura 35: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

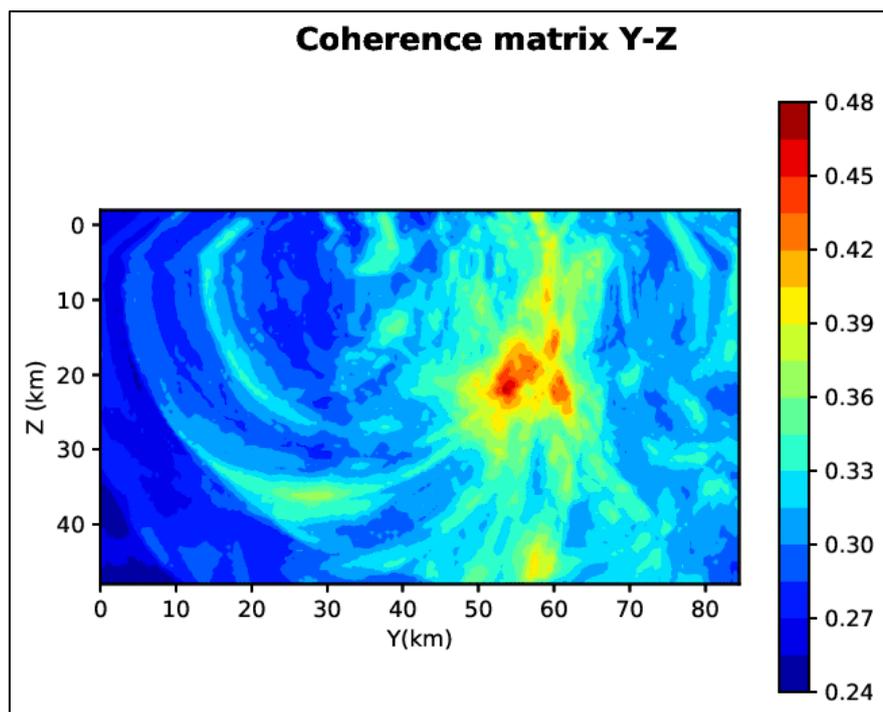


Figura 36: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.6. Evento 6: 14/10/2019 18:58:58 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
6	14/10/2019 18:58:58	40.53	15.84	16.31	1.70	1.2 ± 0.2	ACER MCEL MGR MIGL MRLC PTRP PZUN SIRI SLCN

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.

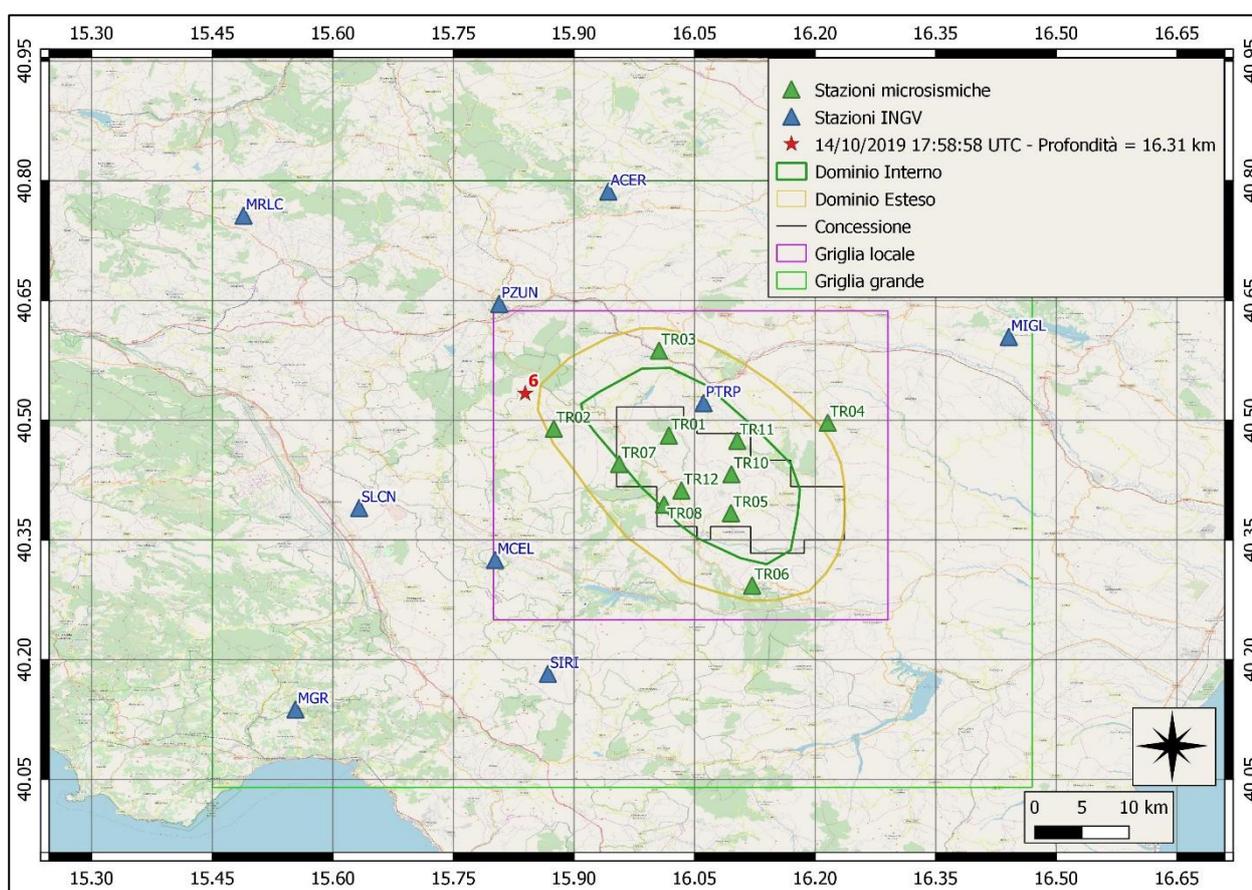
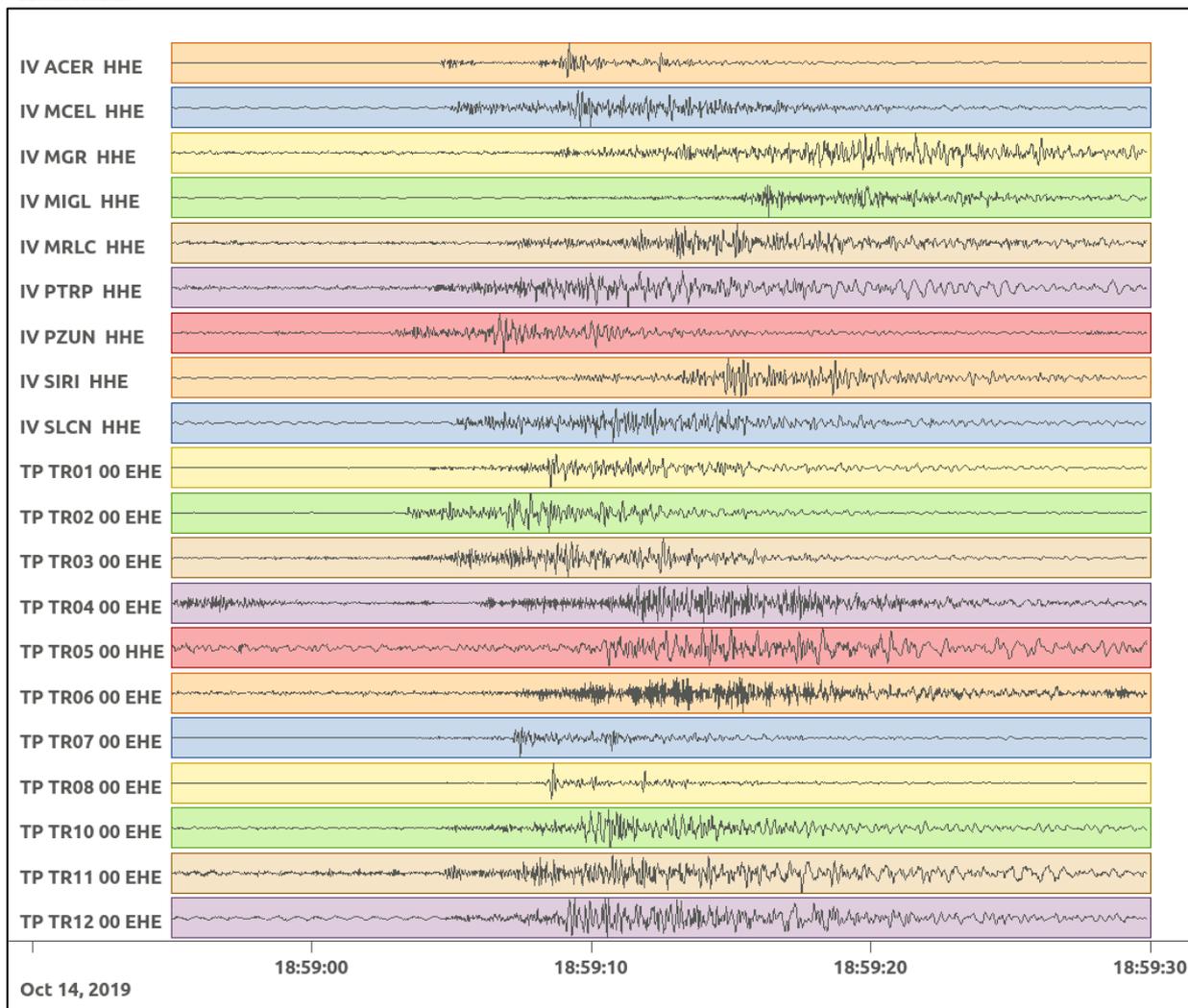
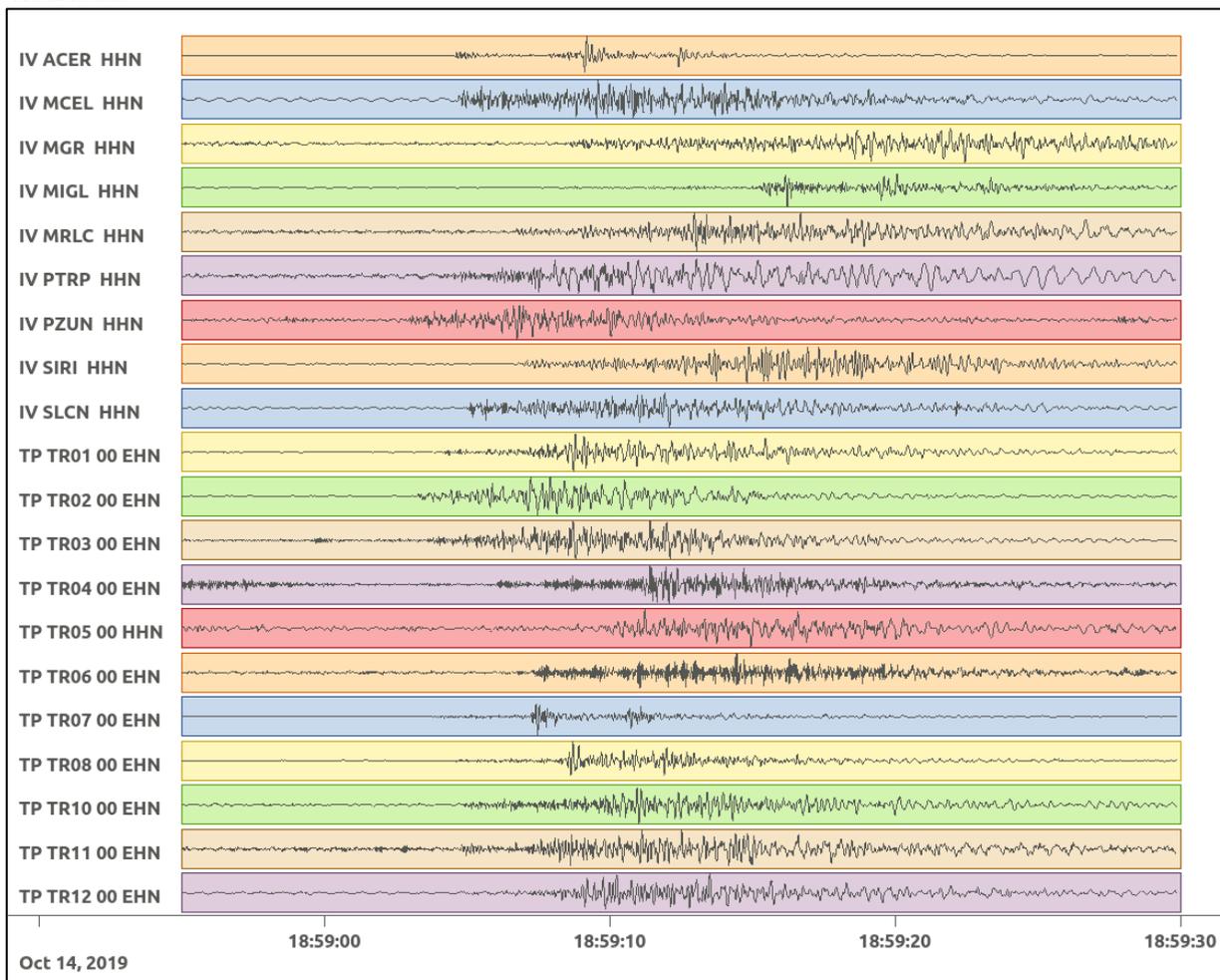


Figura 37: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 14/10/2019 18:58:58 UTC verificatosi a profondità 16.31 km.

In Figura 38 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 5: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





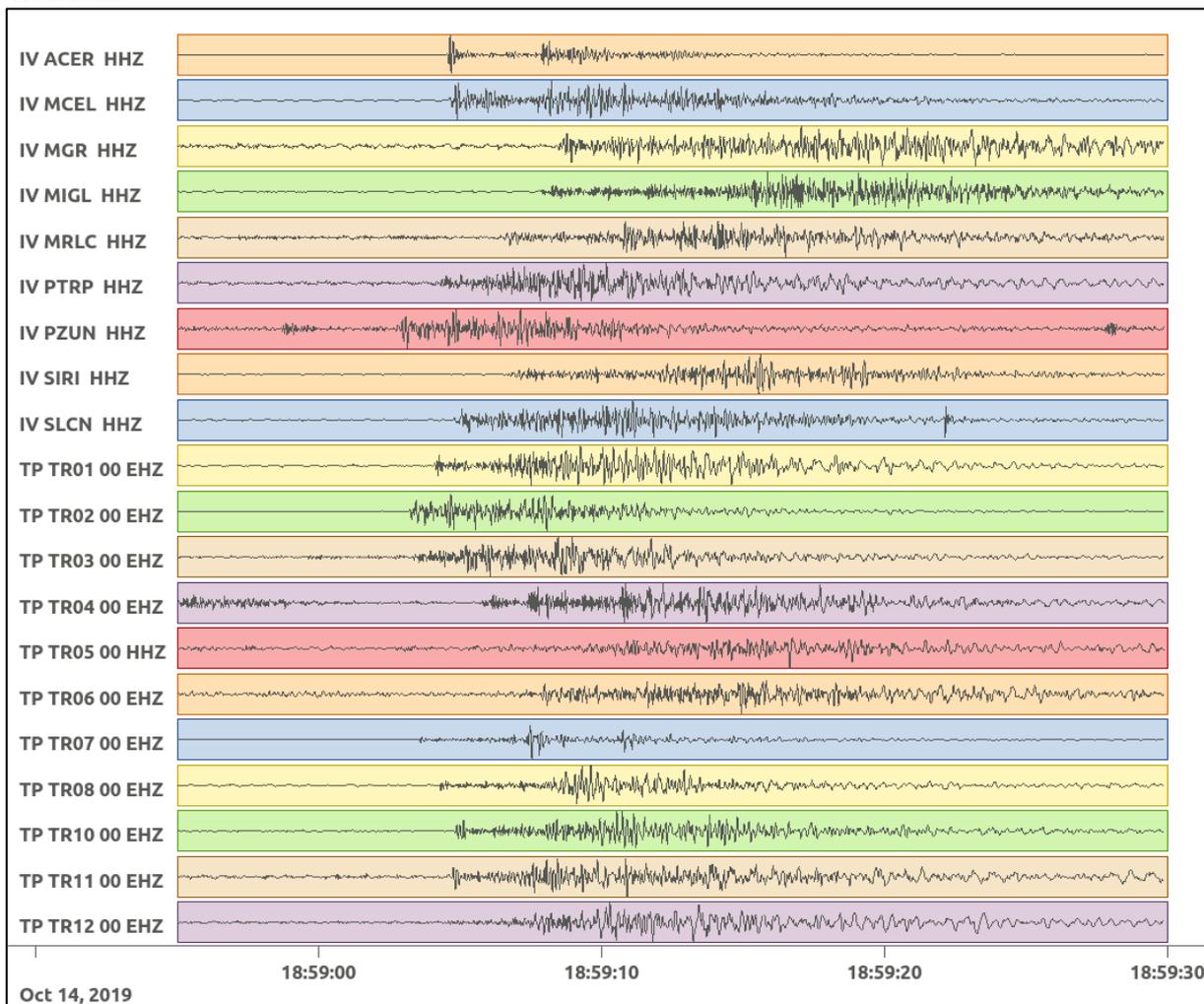


Figura 38: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 6, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

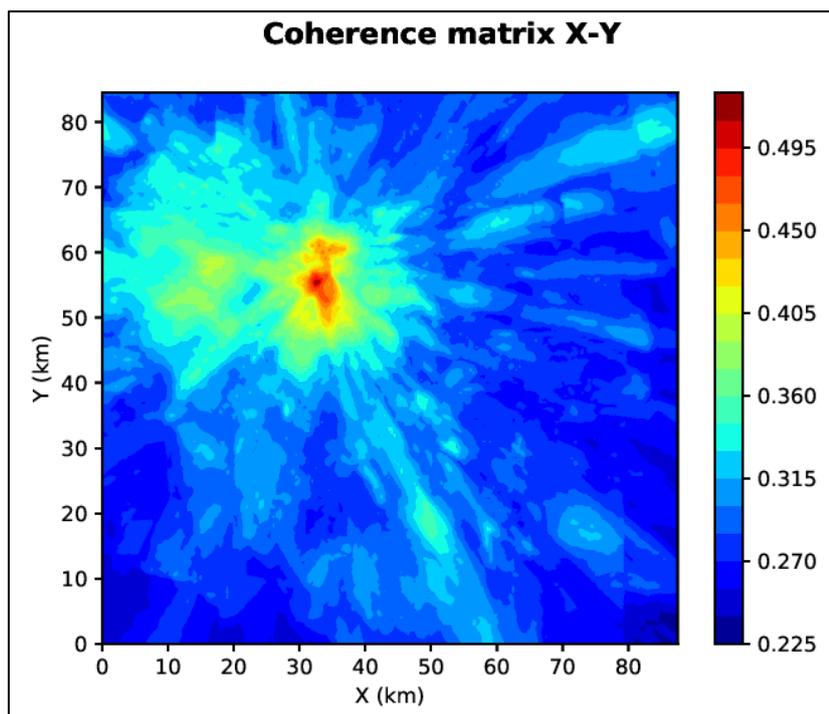


Figura 39: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

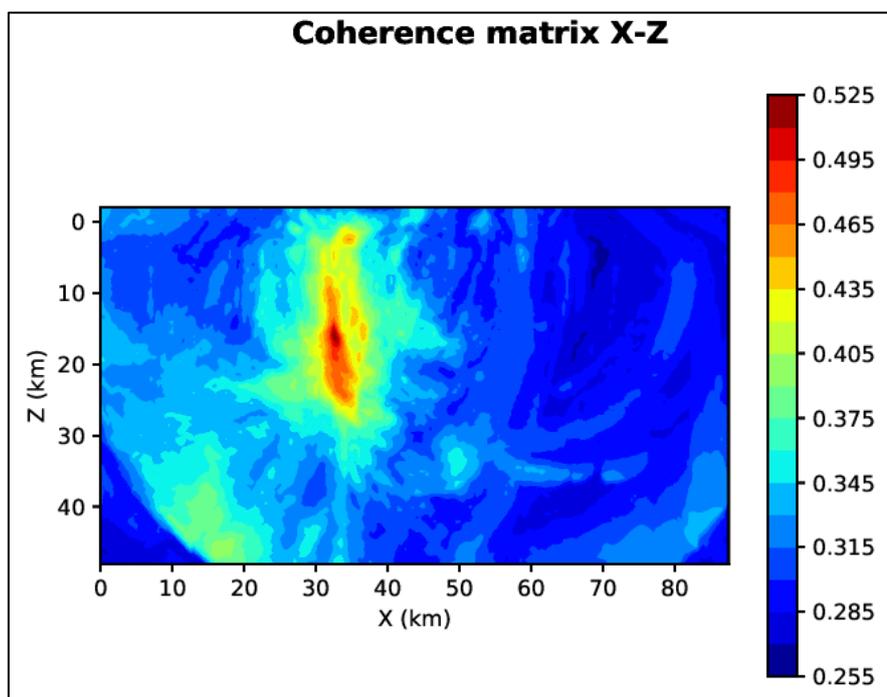


Figura 40: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

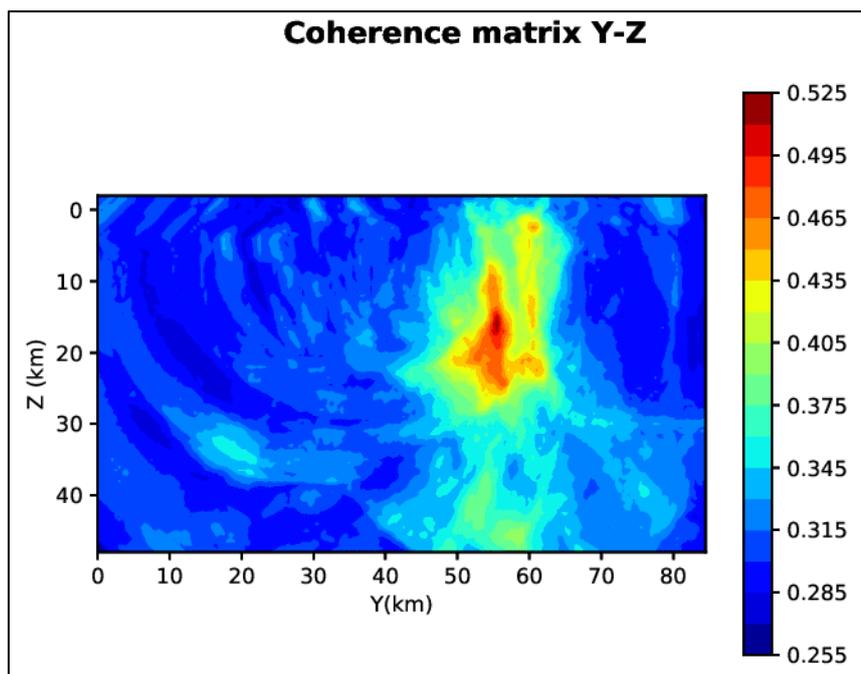


Figura 41: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.7. Evento 7: 14/10/2019 19:57:53 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
7	14/10/2019 19:57:53	40.56	15.90	20.58	0.75	0.4 ± 0.1	ACER MCEL SIRI SLCN

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.

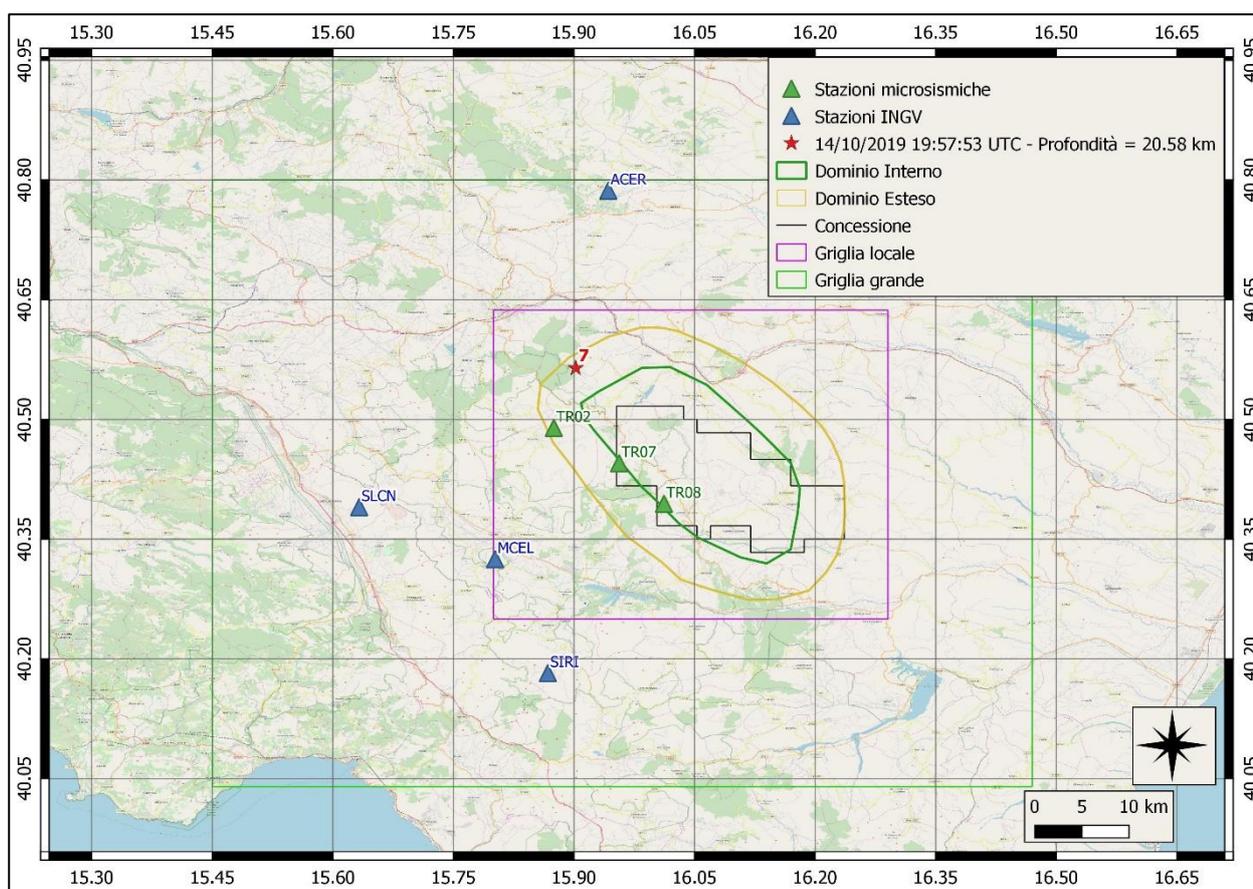
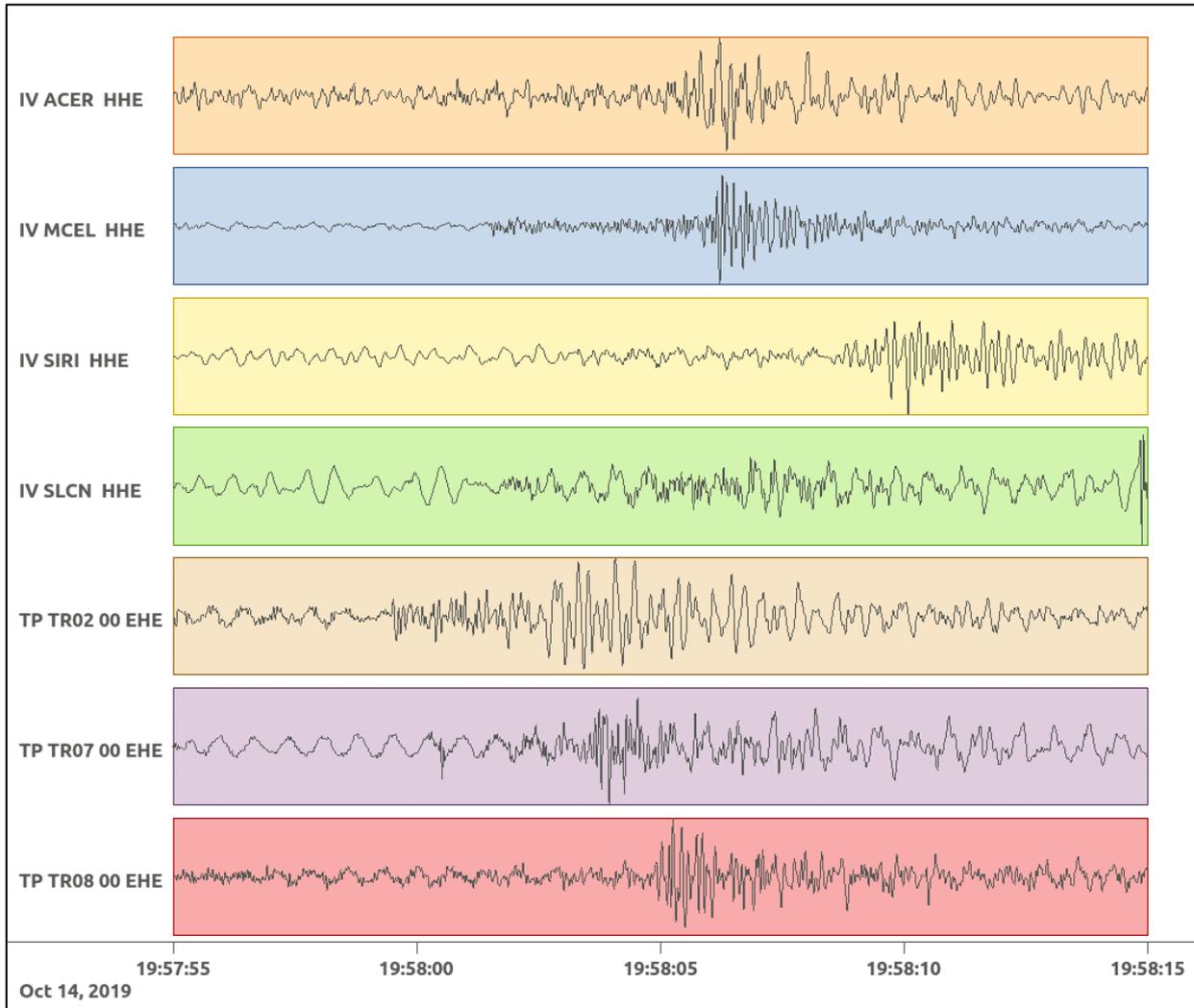
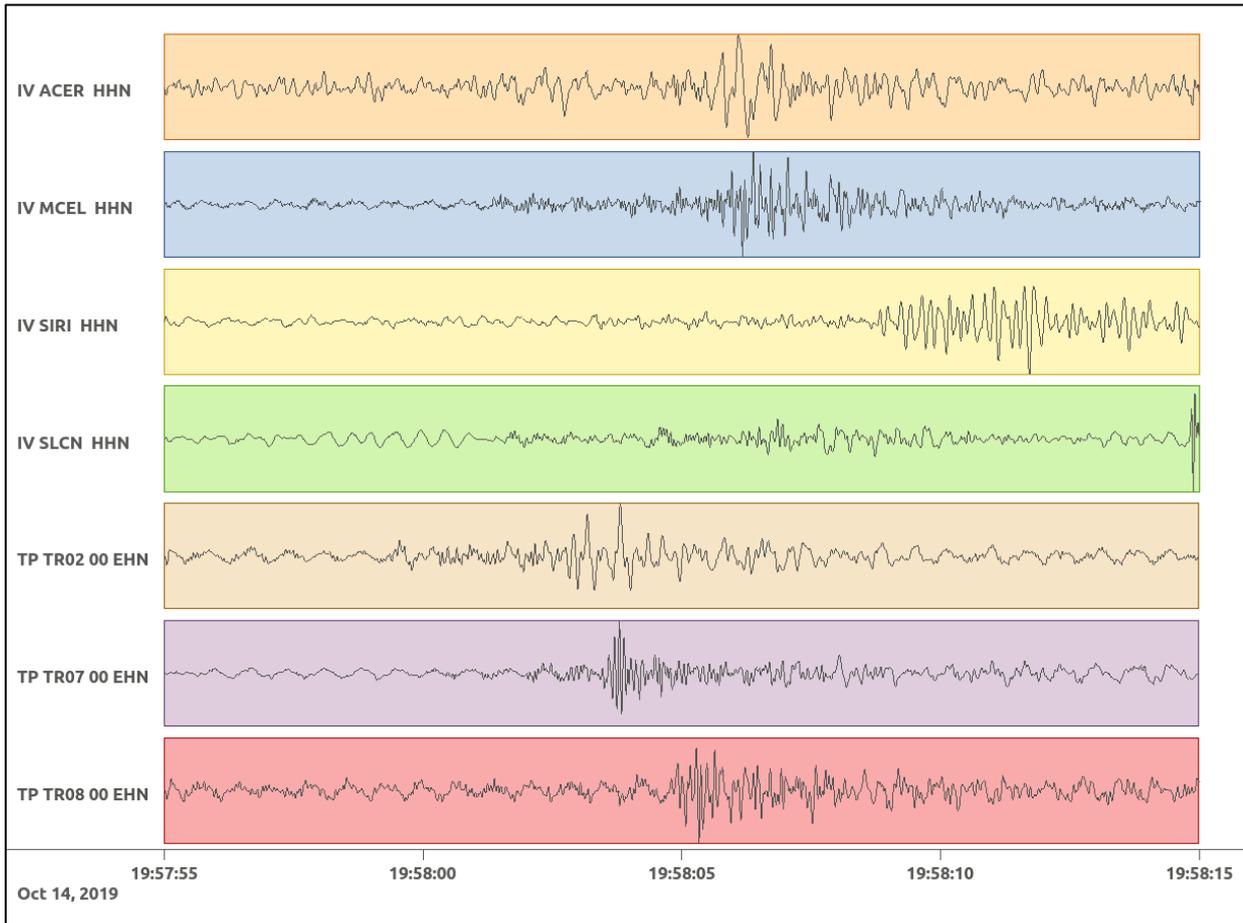


Figura 42: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 14/10/2019 19:57:53 UTC verificatosi a profondità 20.58 km

In Figura 43 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 7: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





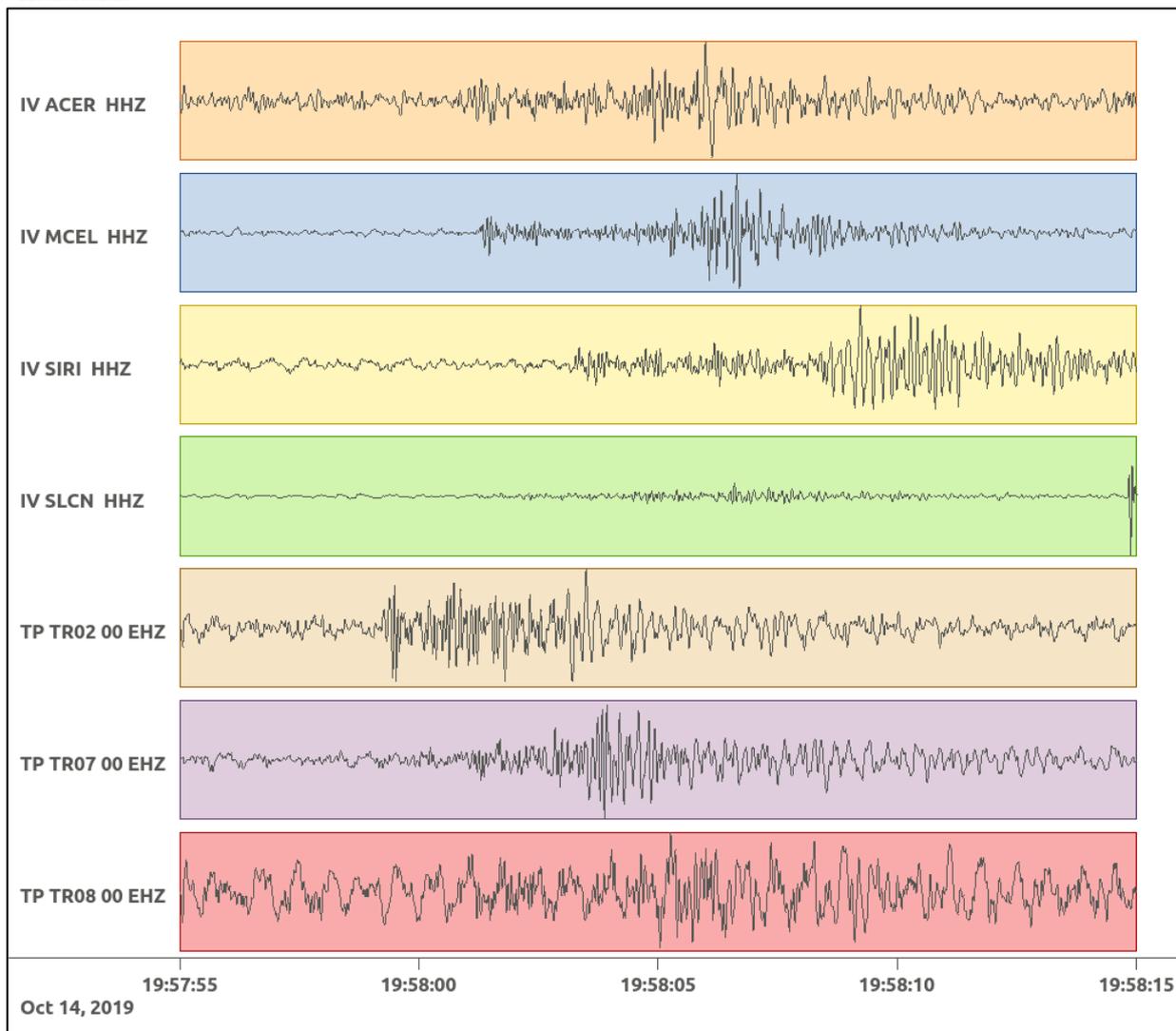


Figura 43: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 7, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

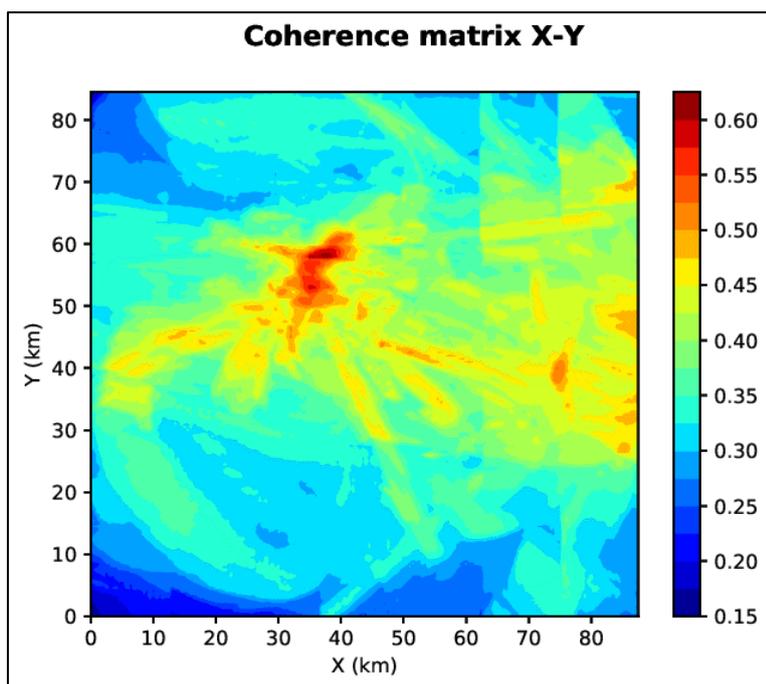


Figura 44: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

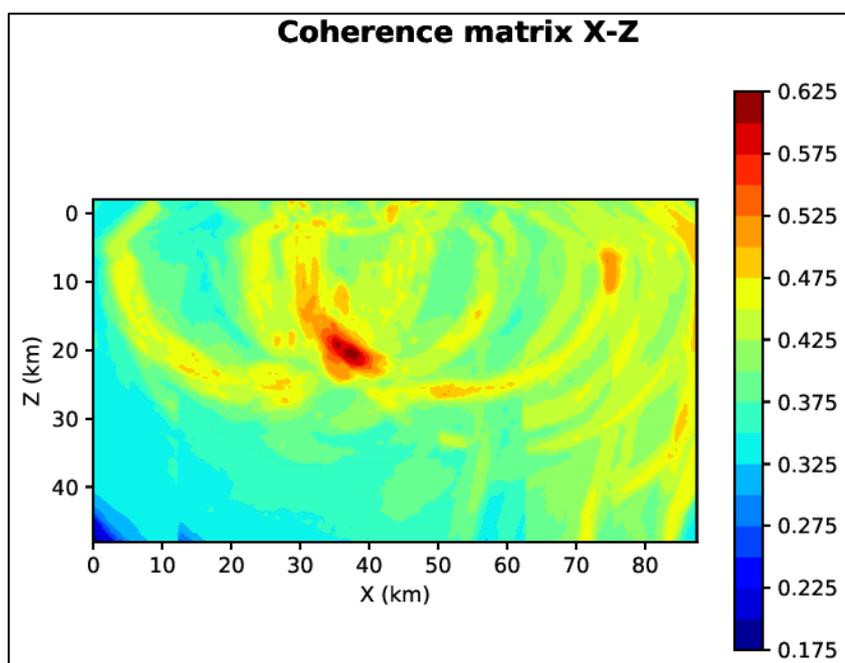


Figura 45: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

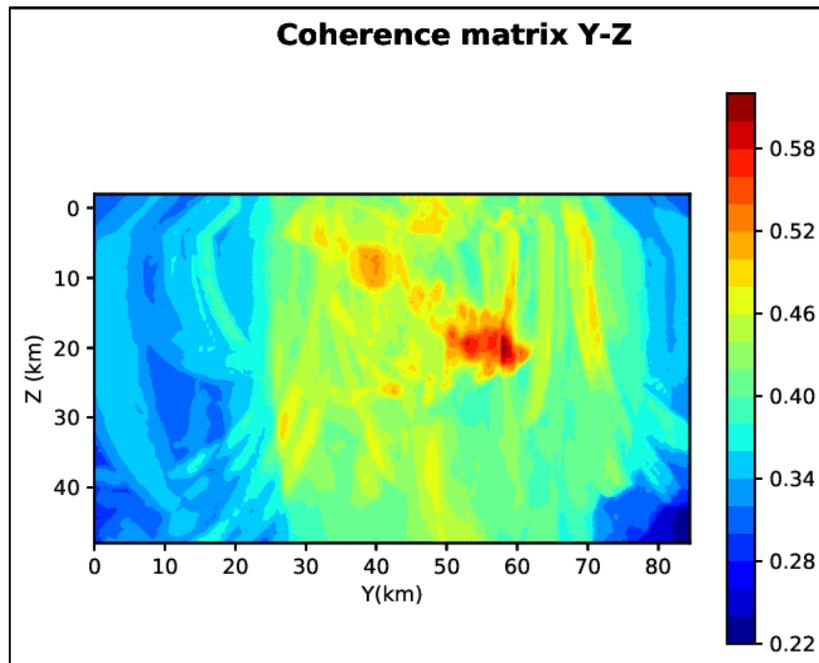


Figura 46: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.8. Evento 8: 15/10/2019 10:08:27 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
8	15/10/2019 10:08:27	40.52	15.86	19.61	0.53	0.9 ± 0.1	ACER MCEL PTRP SIRI SLCN

In Figura 47 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

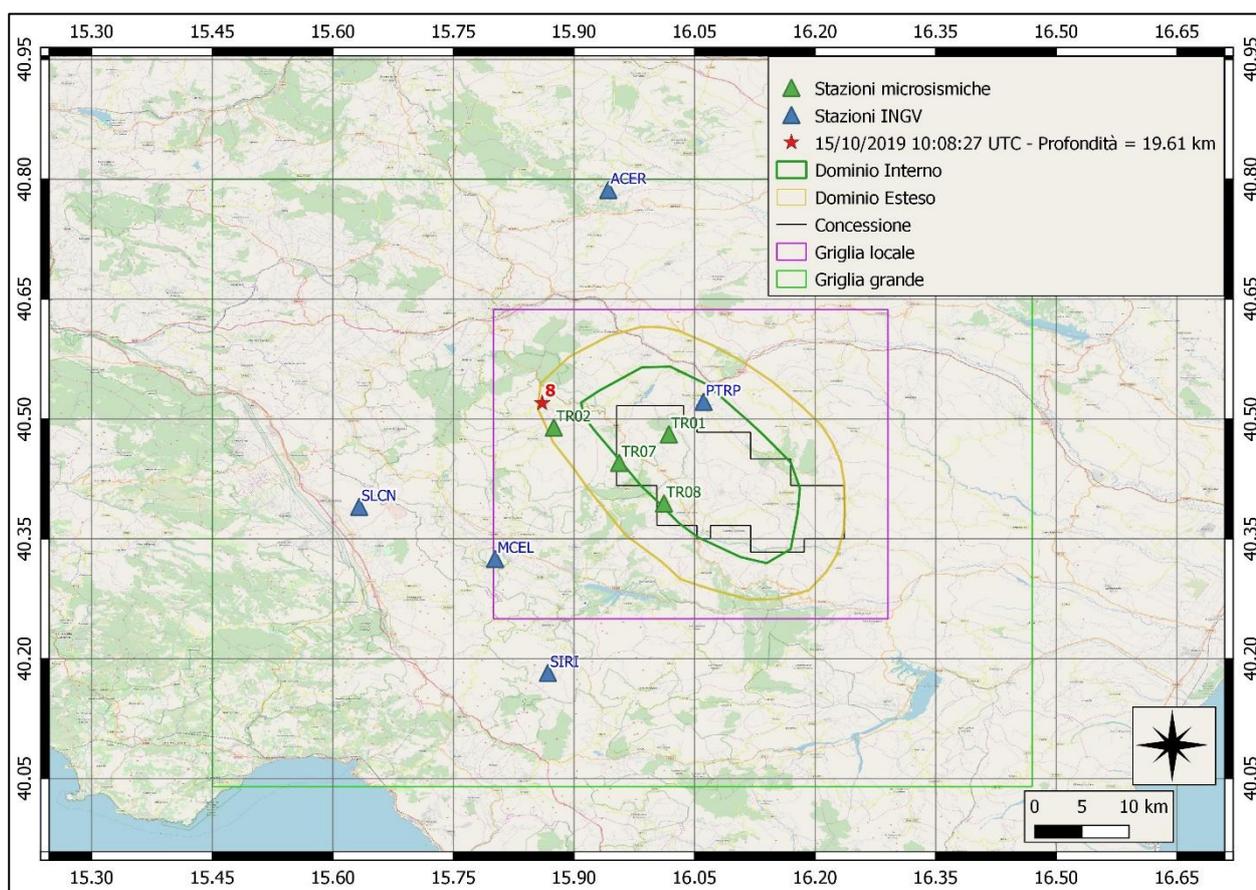
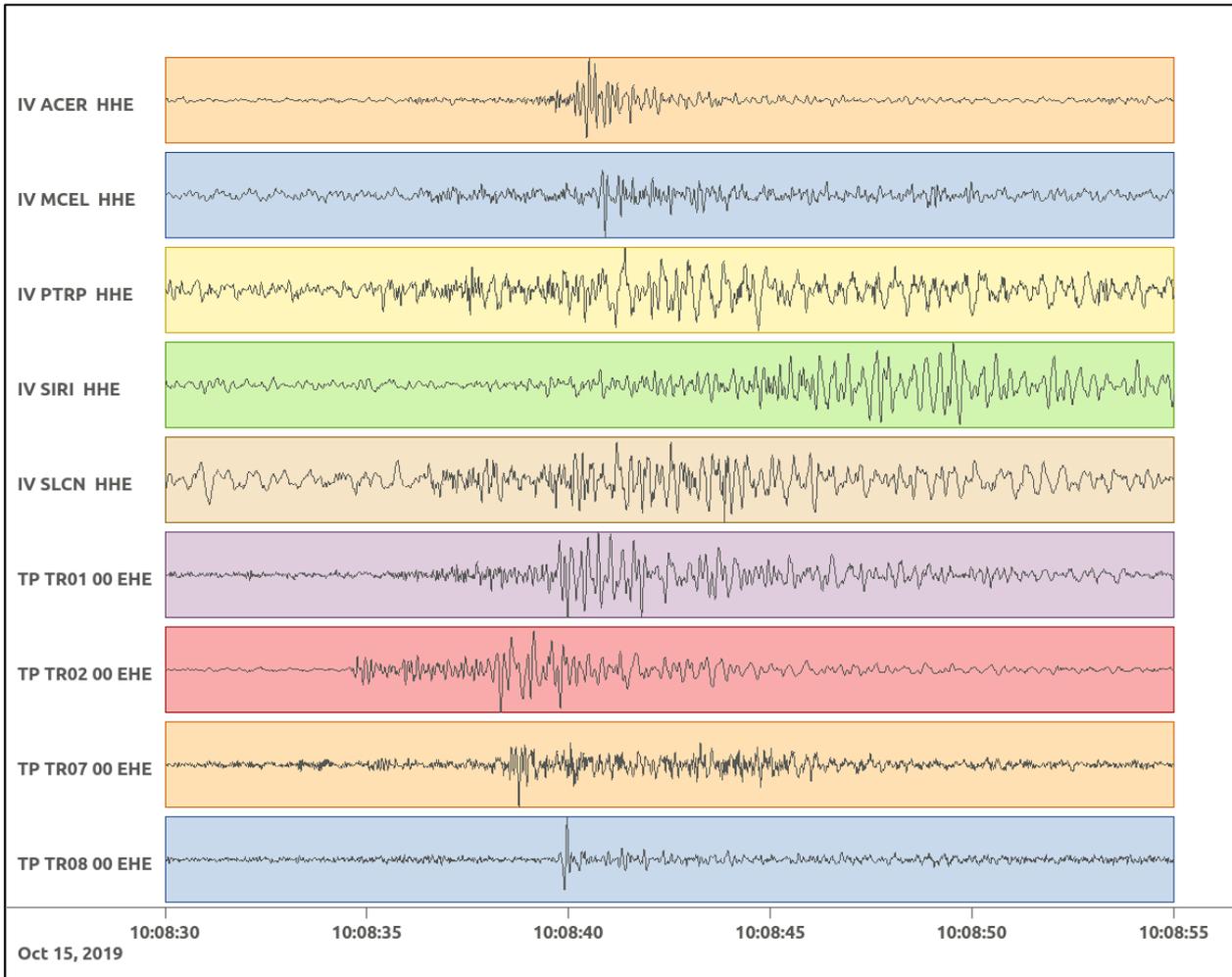
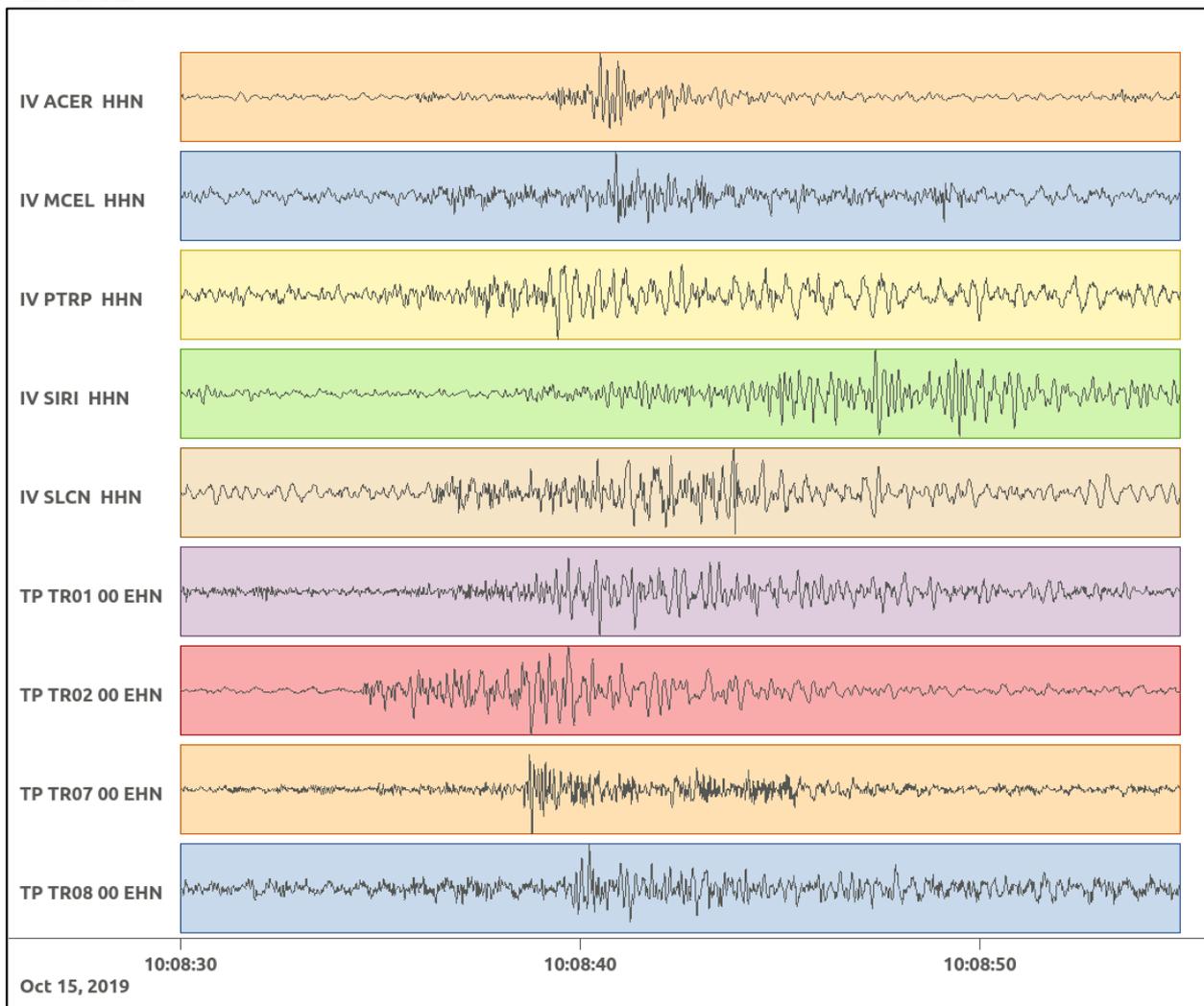


Figura 47: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 15/10/2019 10:08:27 UTC verificatosi a profondità 19.61 km

In Figura 48 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 8: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





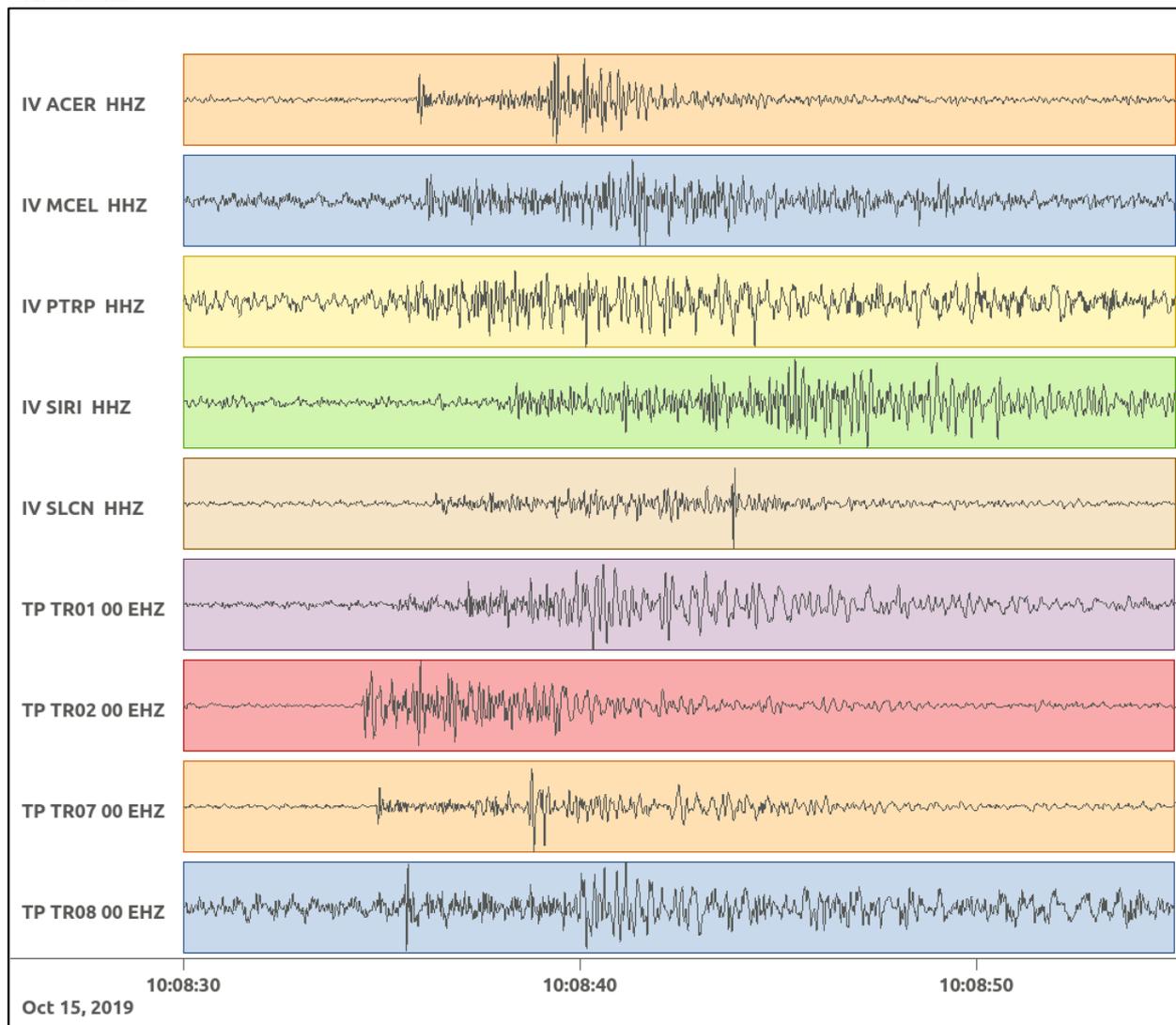


Figura 48: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 8, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

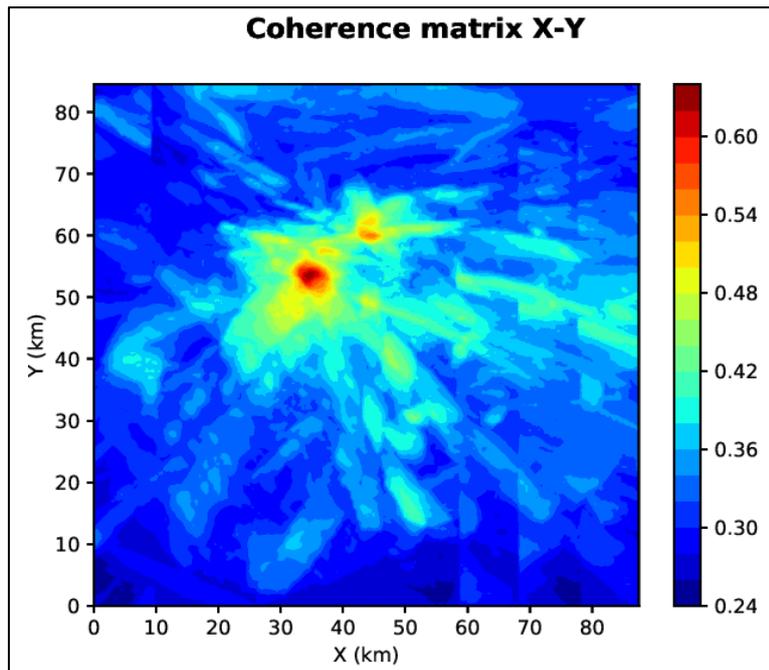


Figura 49: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

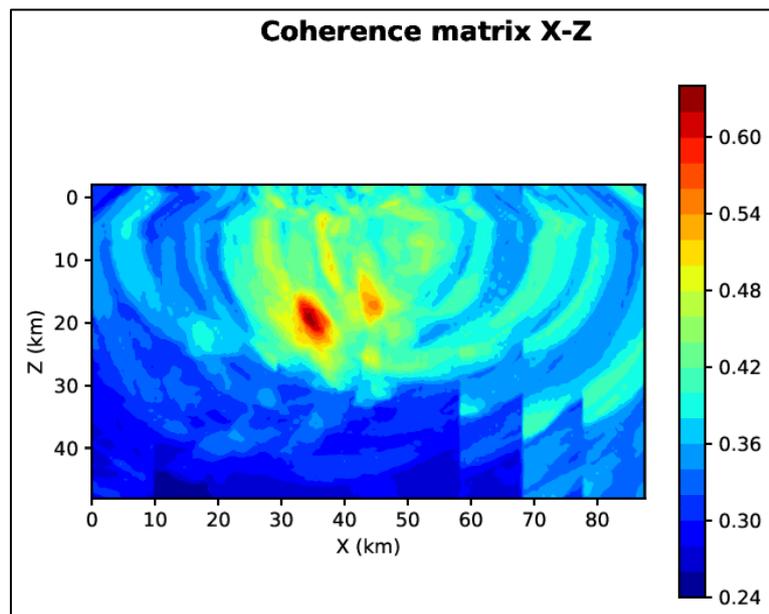


Figura 50: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

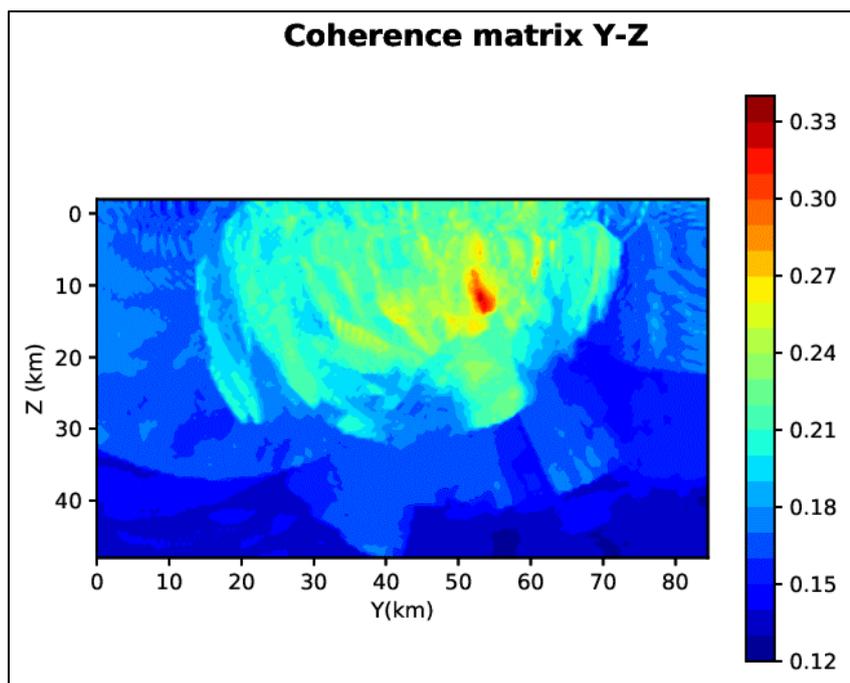


Figura 51: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.9. Evento 9: 15/10/2019 16:49:24 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
9	15/10/2019 16:49:24	40.48	16.21	24.42	0.82	2.3 ± 0.4	ACER MCEL MGR MIGL MRLC PTRP SIRI SLCN

In Figura 52 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

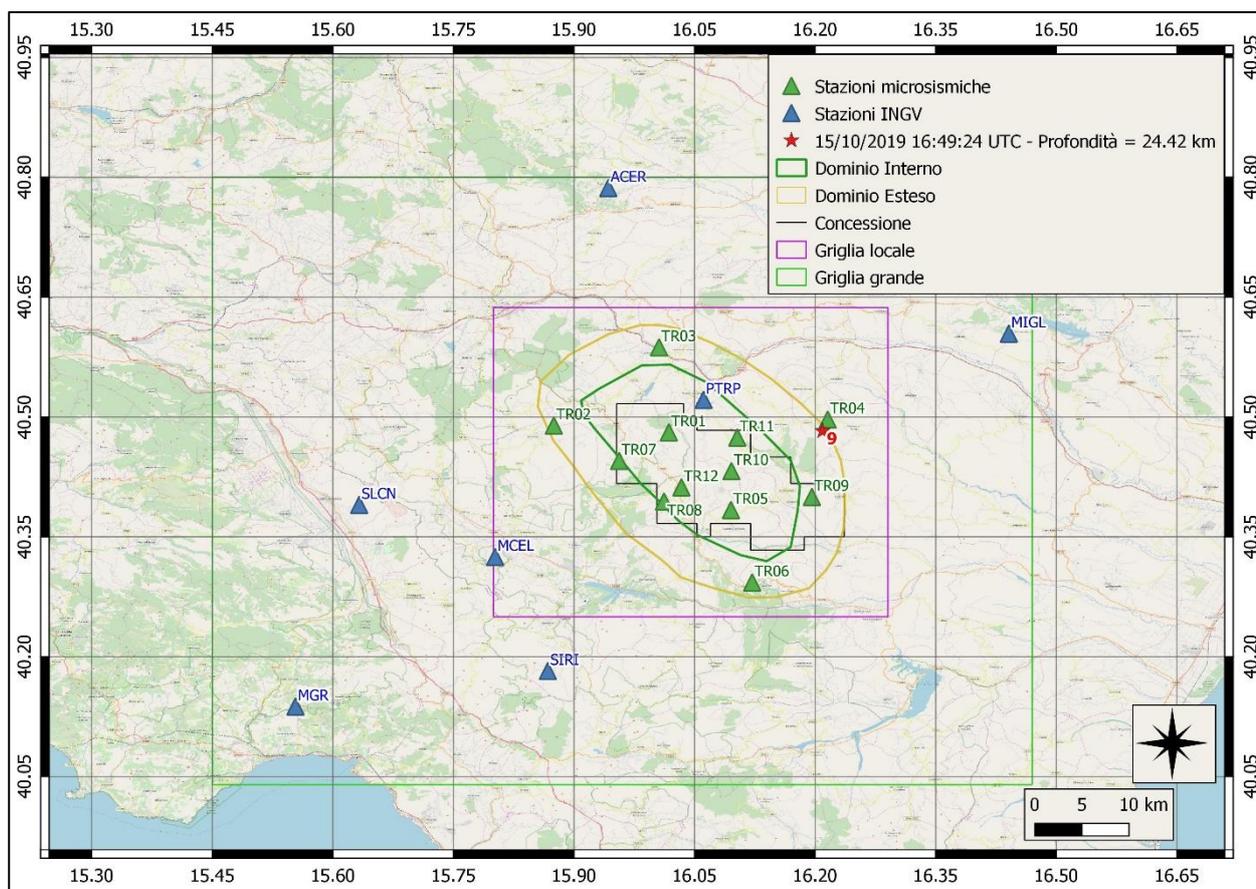
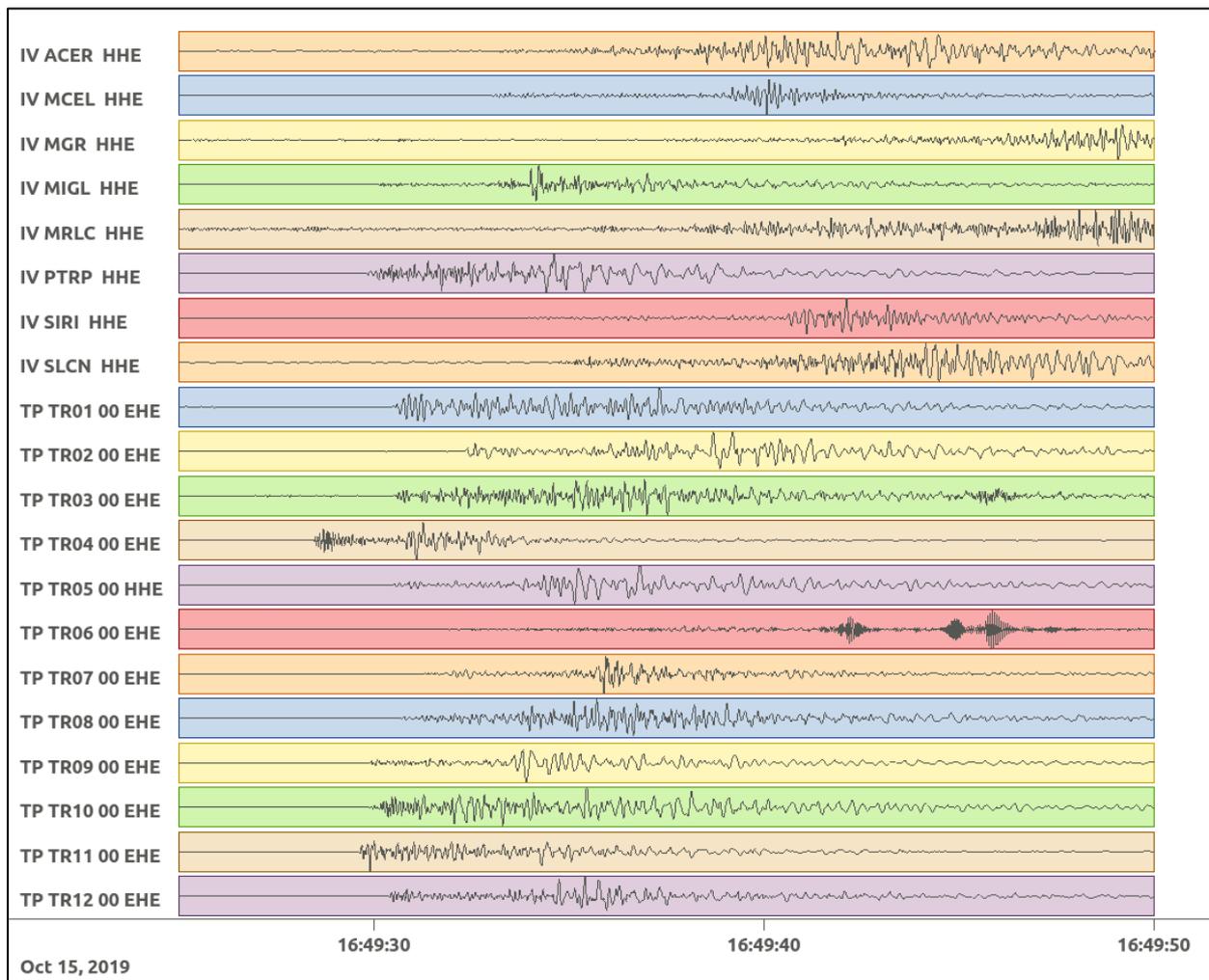
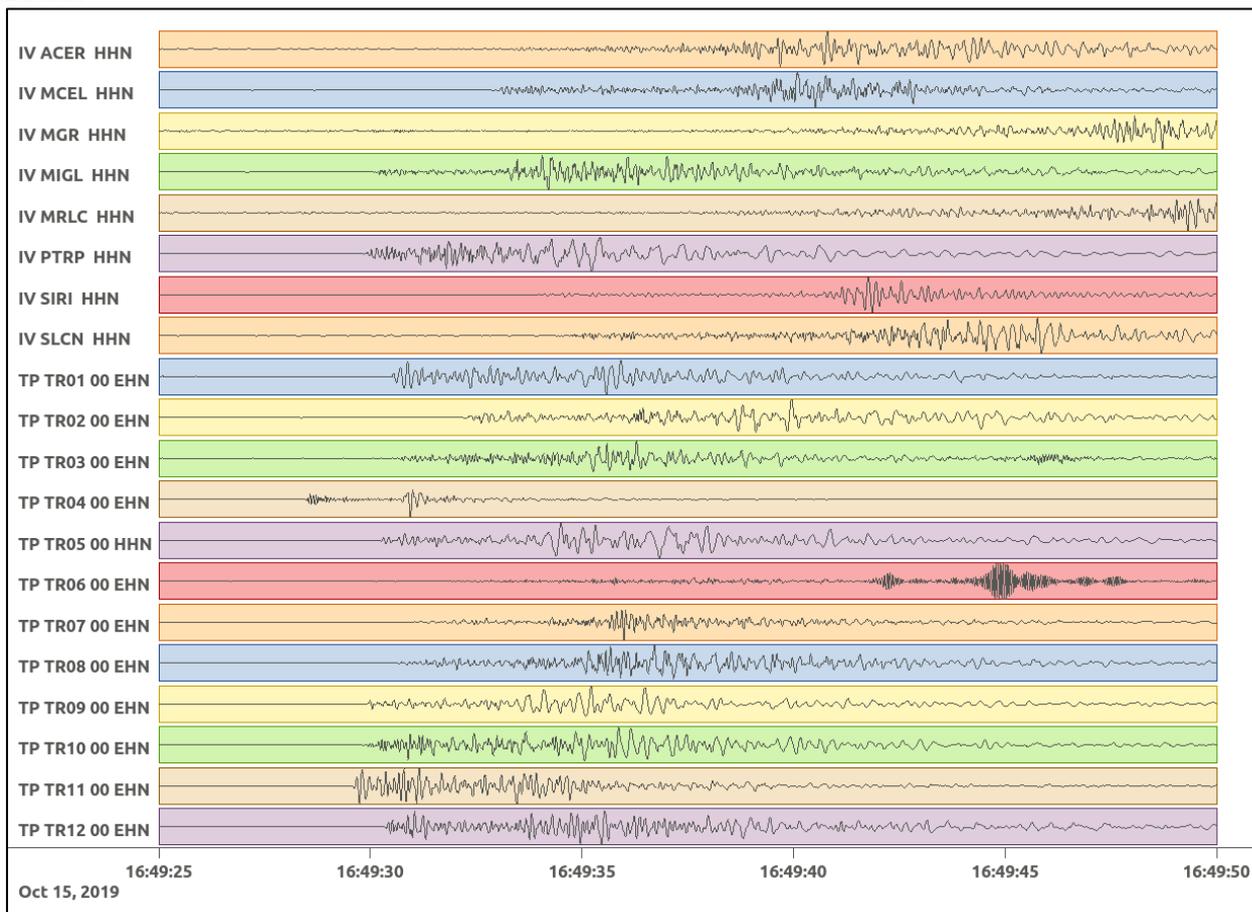


Figura 52: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 15/10/2019 16:49:24 UTC verificatosi a profondità 24.42 km

In Figura 53 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 9: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





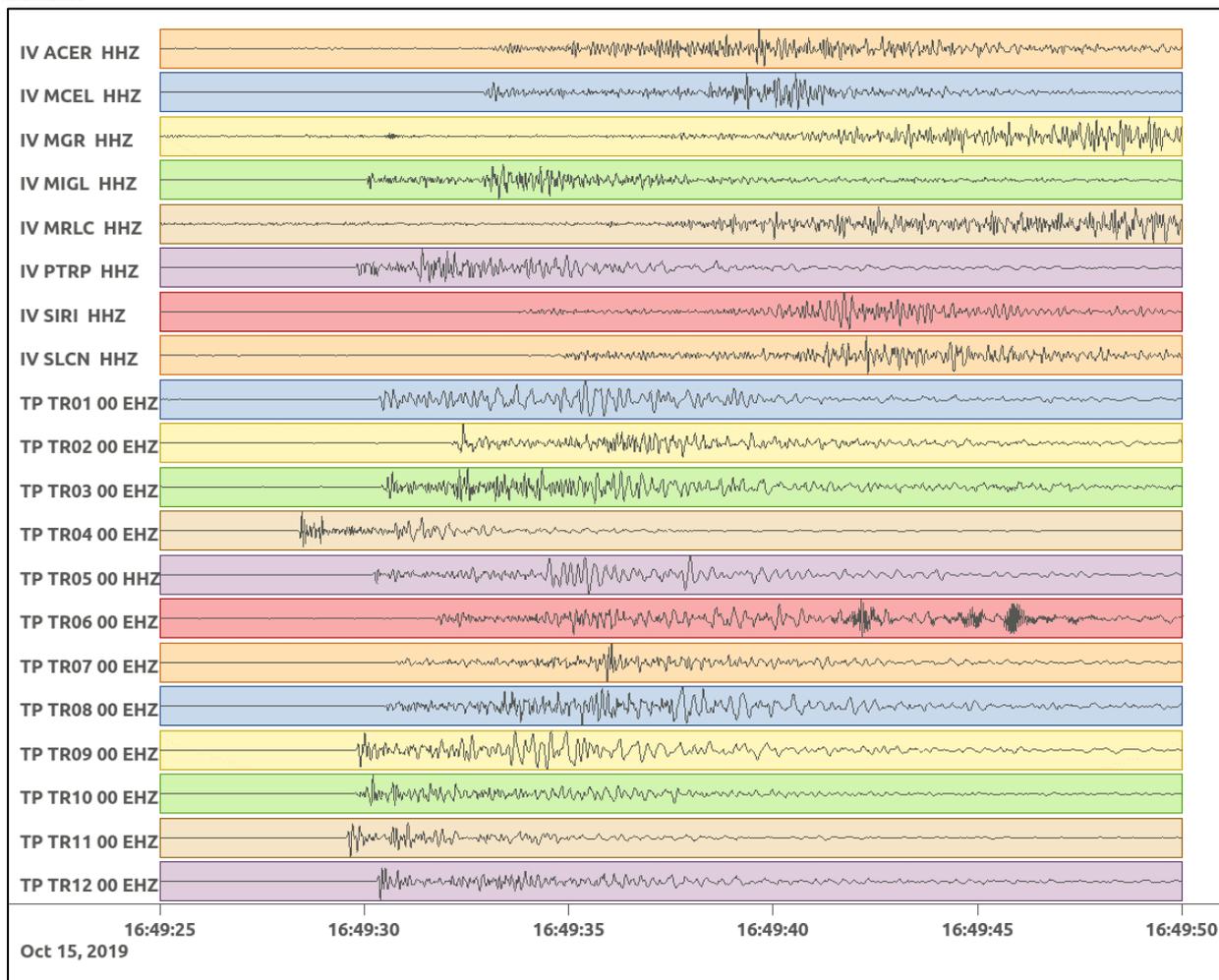


Figura 53: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 9, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

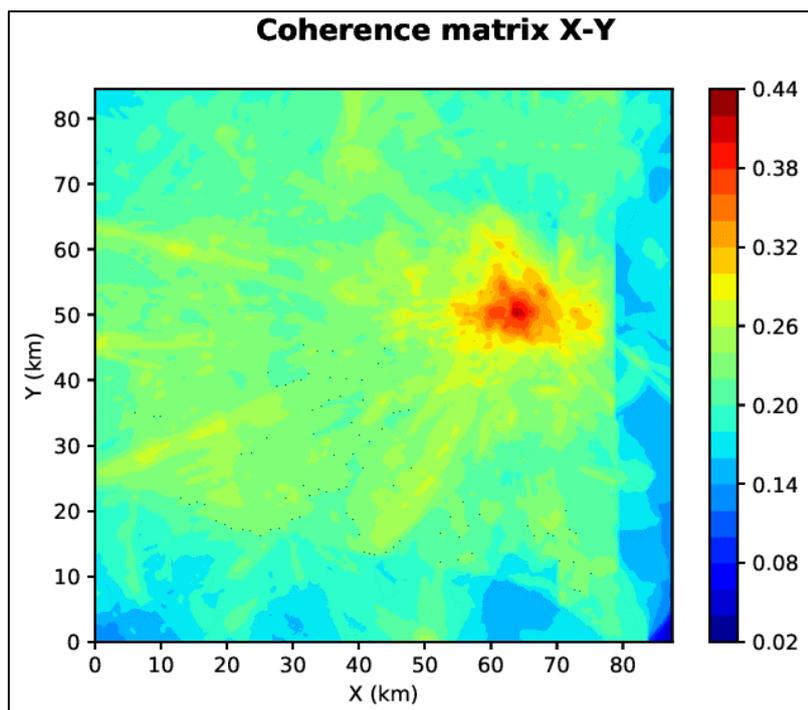


Figura 54: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande grande.

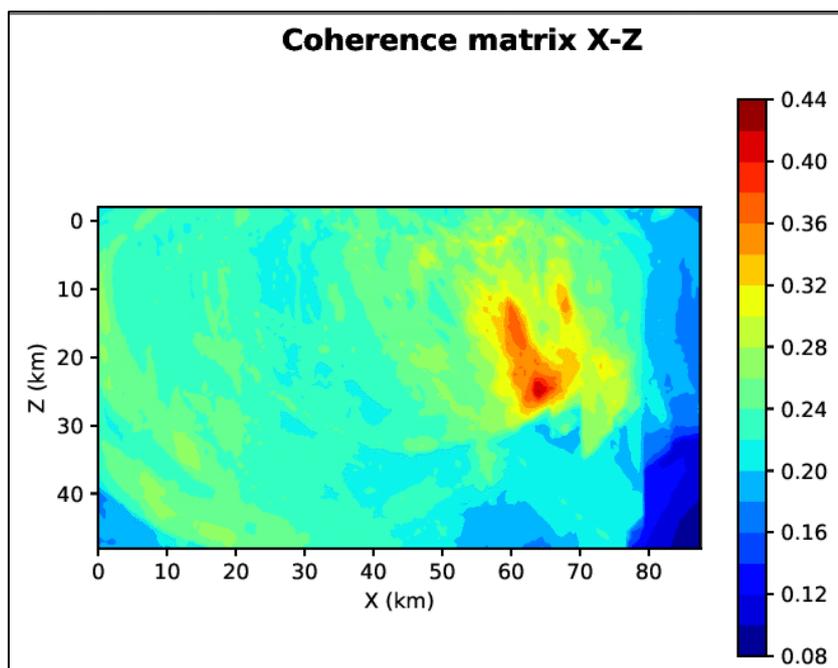


Figura 55: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

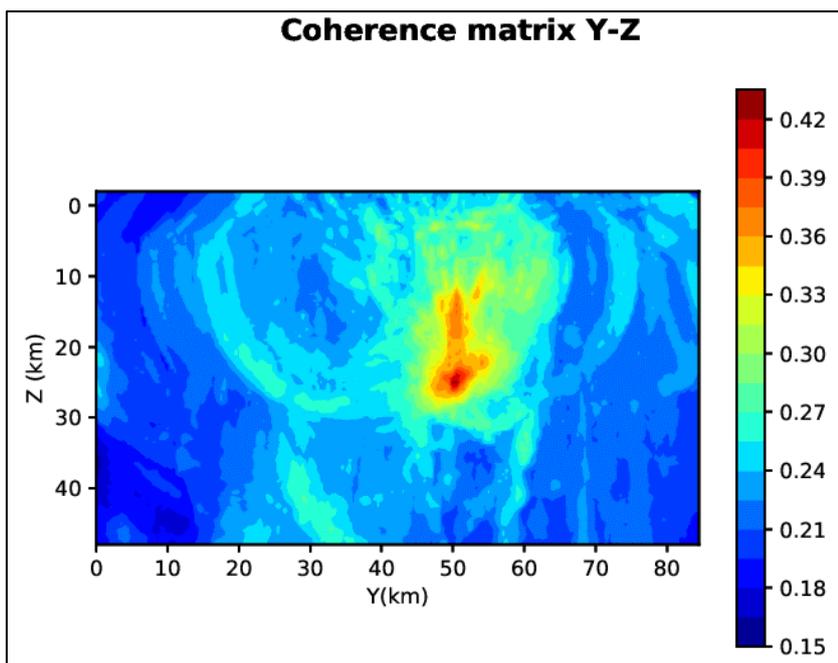


Figura 56: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.10. Evento 10: 25/10/2019 21:48:24 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
10	25/10/2019 21:48:24	40.62	15.94	26.01	0.62	1.2 ± 0.2	ACER MCEL MGR MIGL PTRP PZUN SIRI SLCN

In Figura 57 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

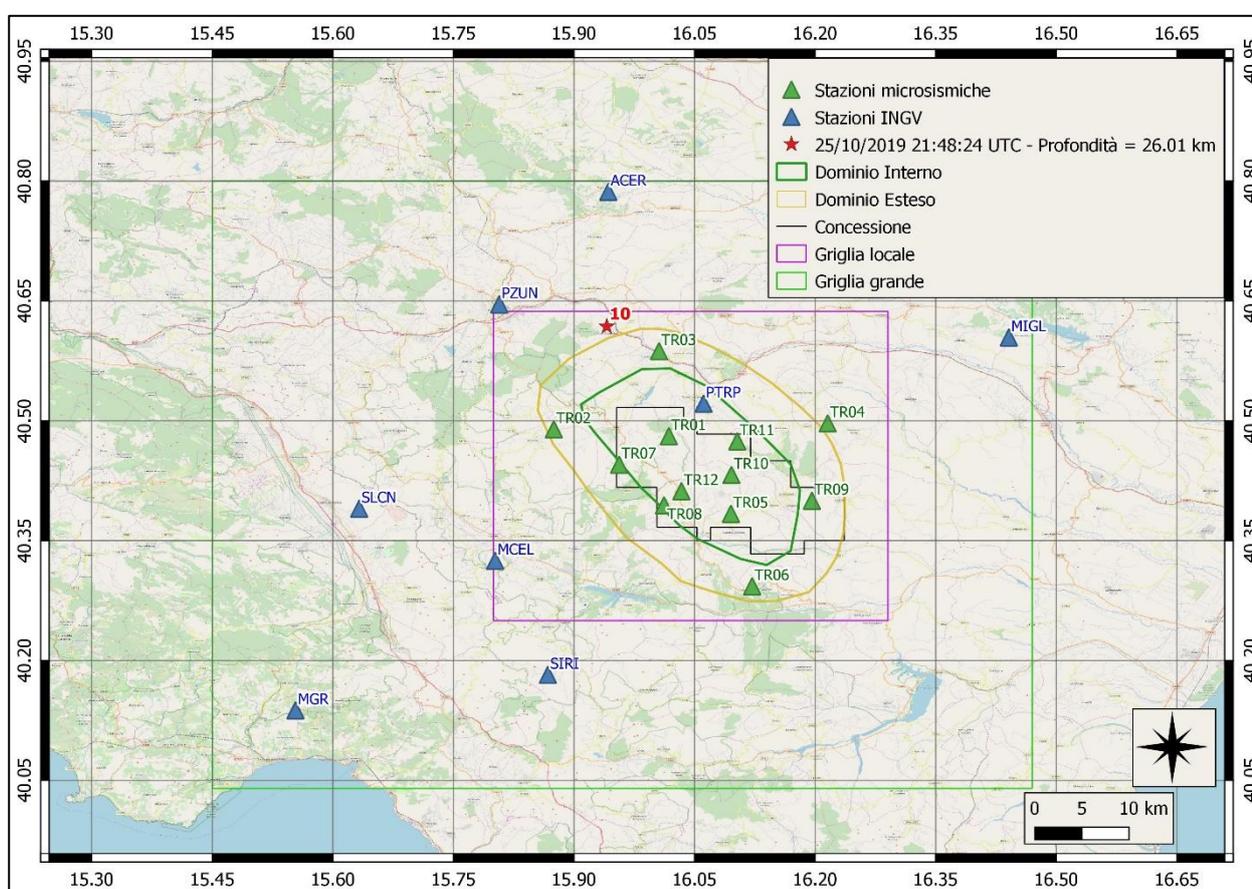
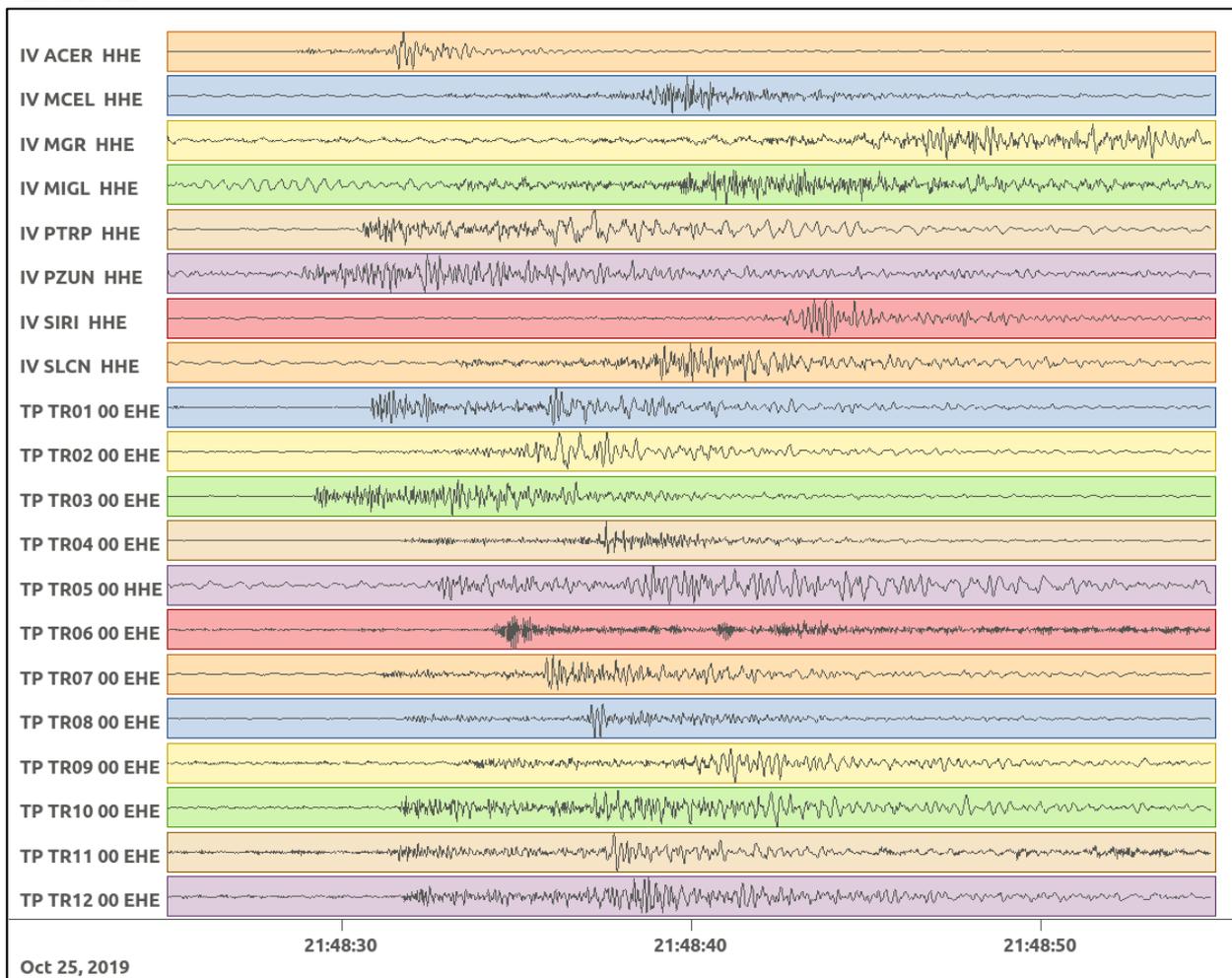
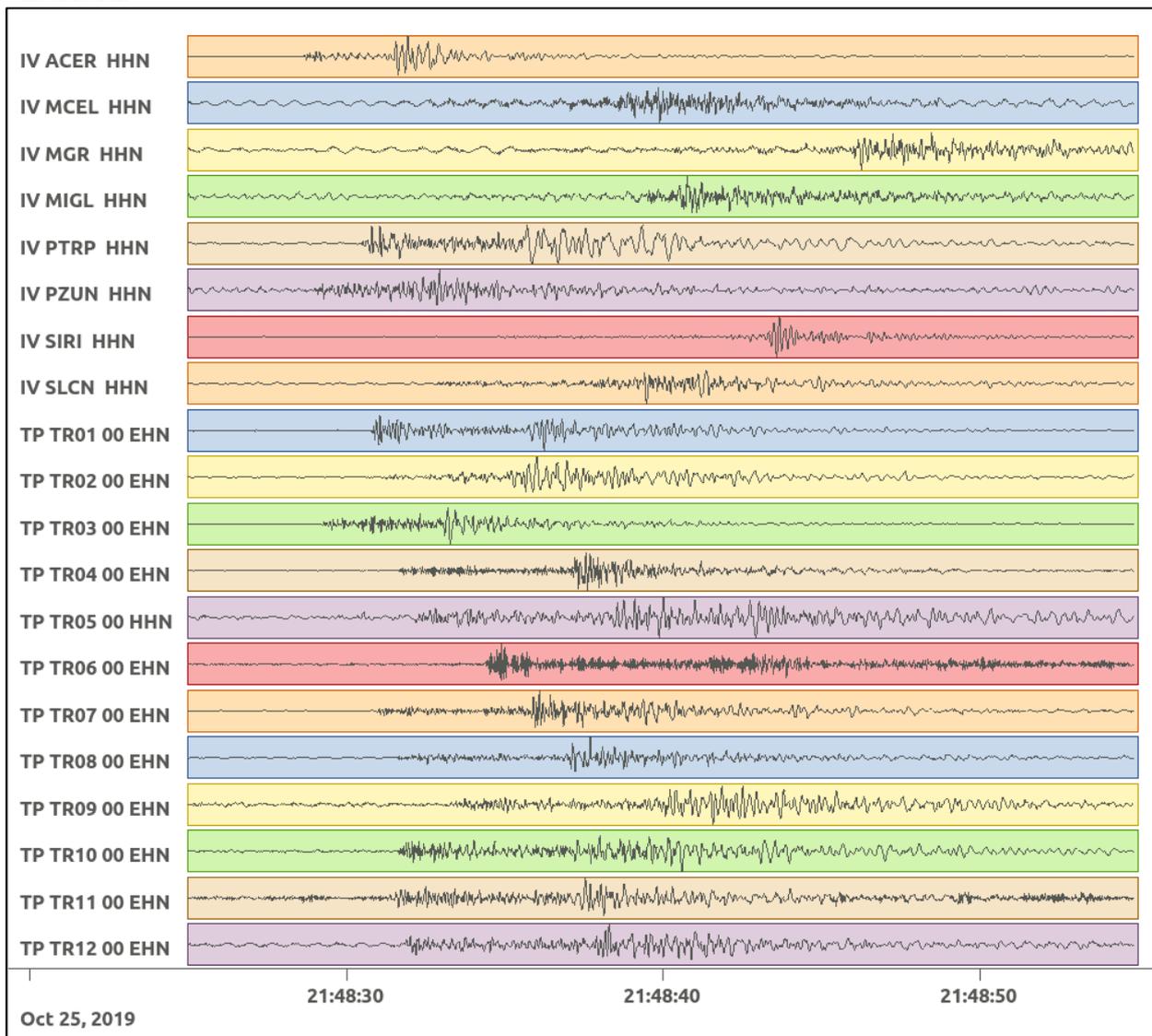


Figura 57: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 25/10/2019 21:48:24 UTC verificatosi a profondità 26.01 km

In Figura 58 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 10: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





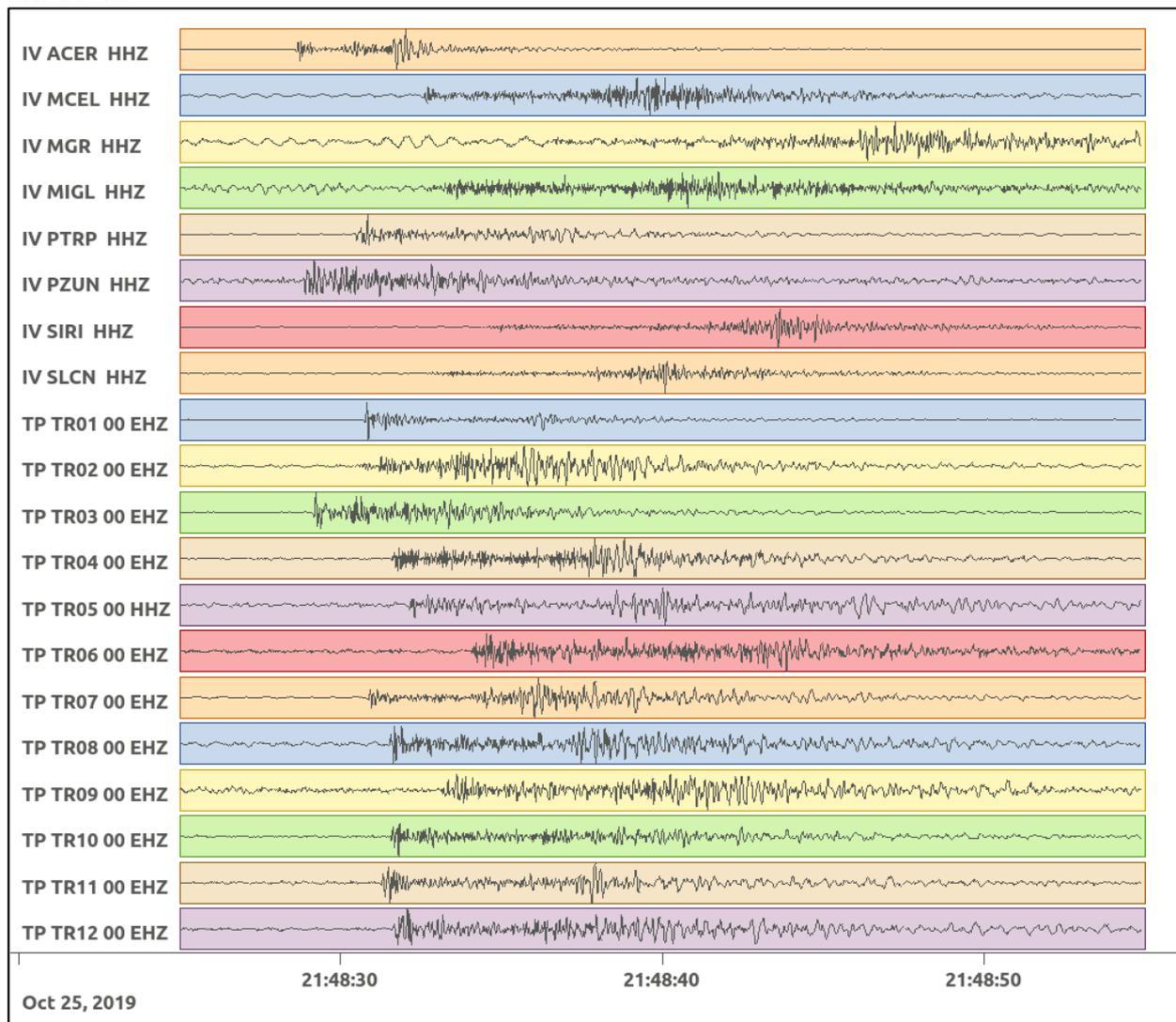


Figura 58: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 10, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

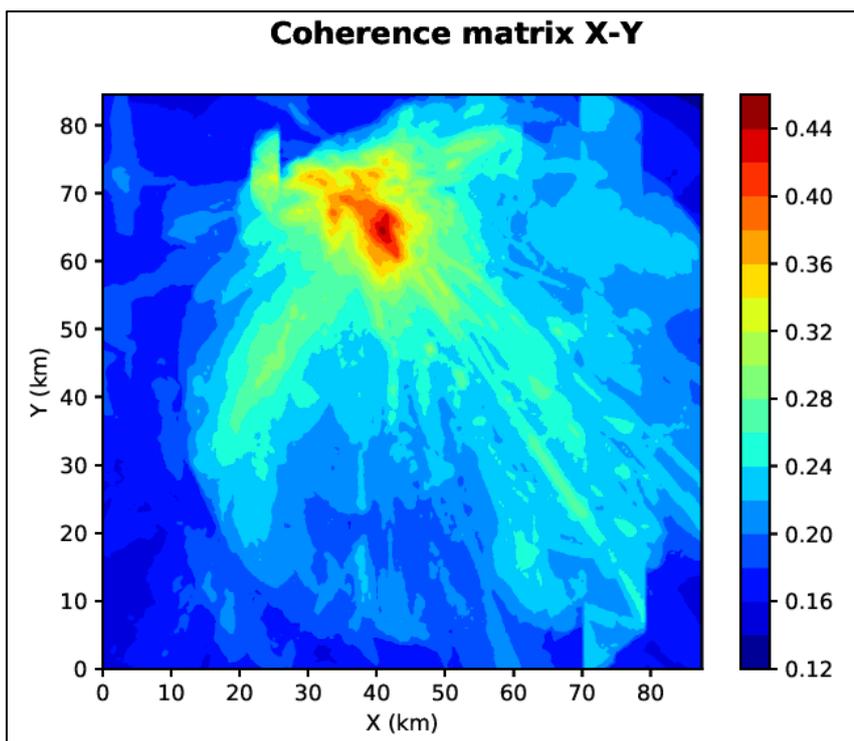


Figura 59: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

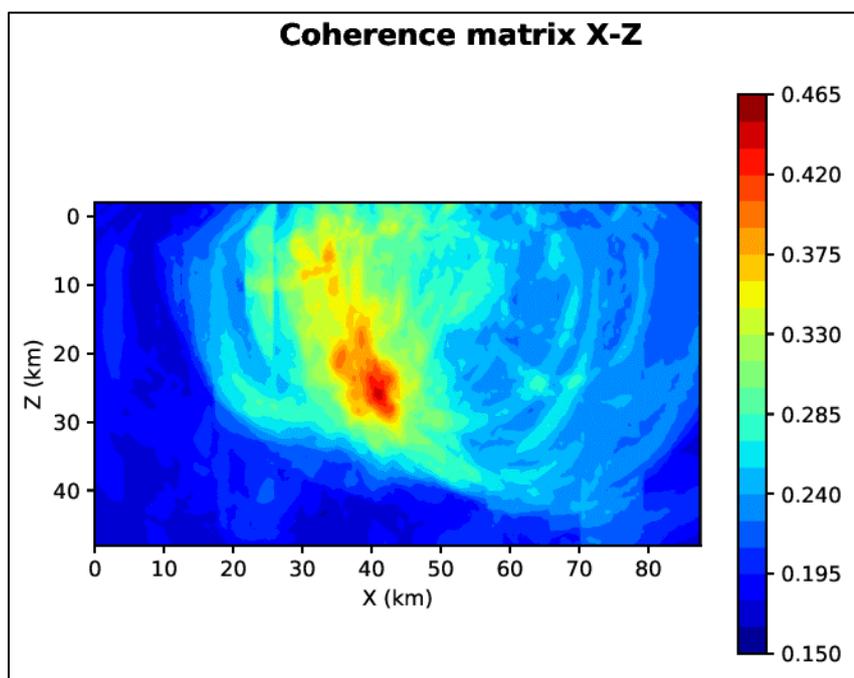


Figura 60: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

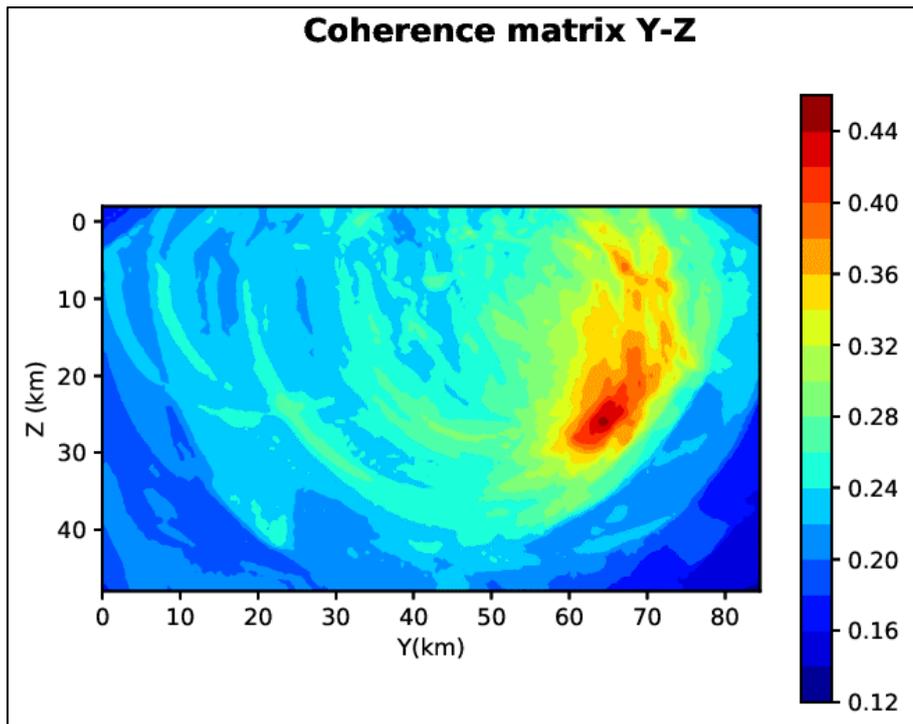


Figura 61: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.11. Evento 11: 20/11/2019 01:10:49 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
11	20/11/2019 01:10:49	40.58	15.82	18.11	0.50	1.5 ± 0.1	-

In Figura 62 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

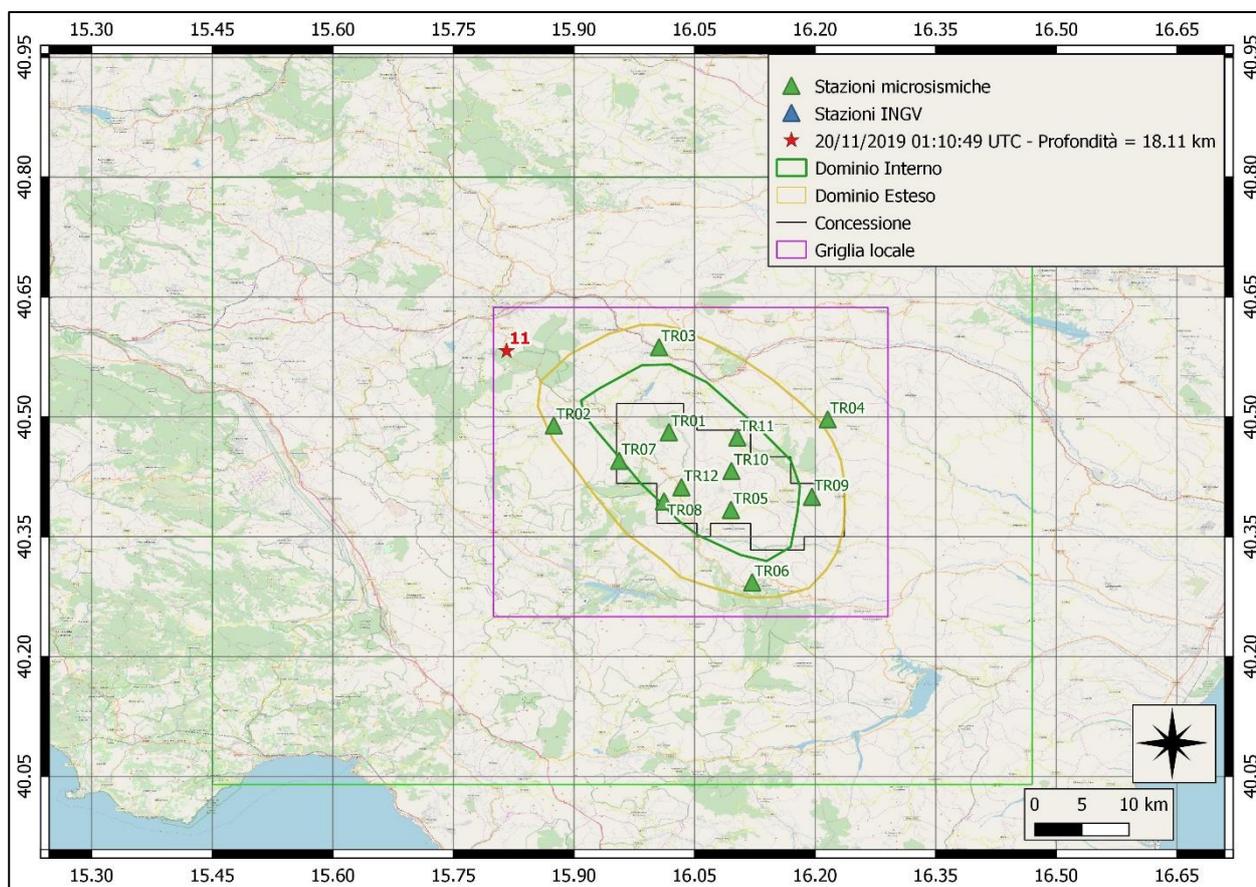
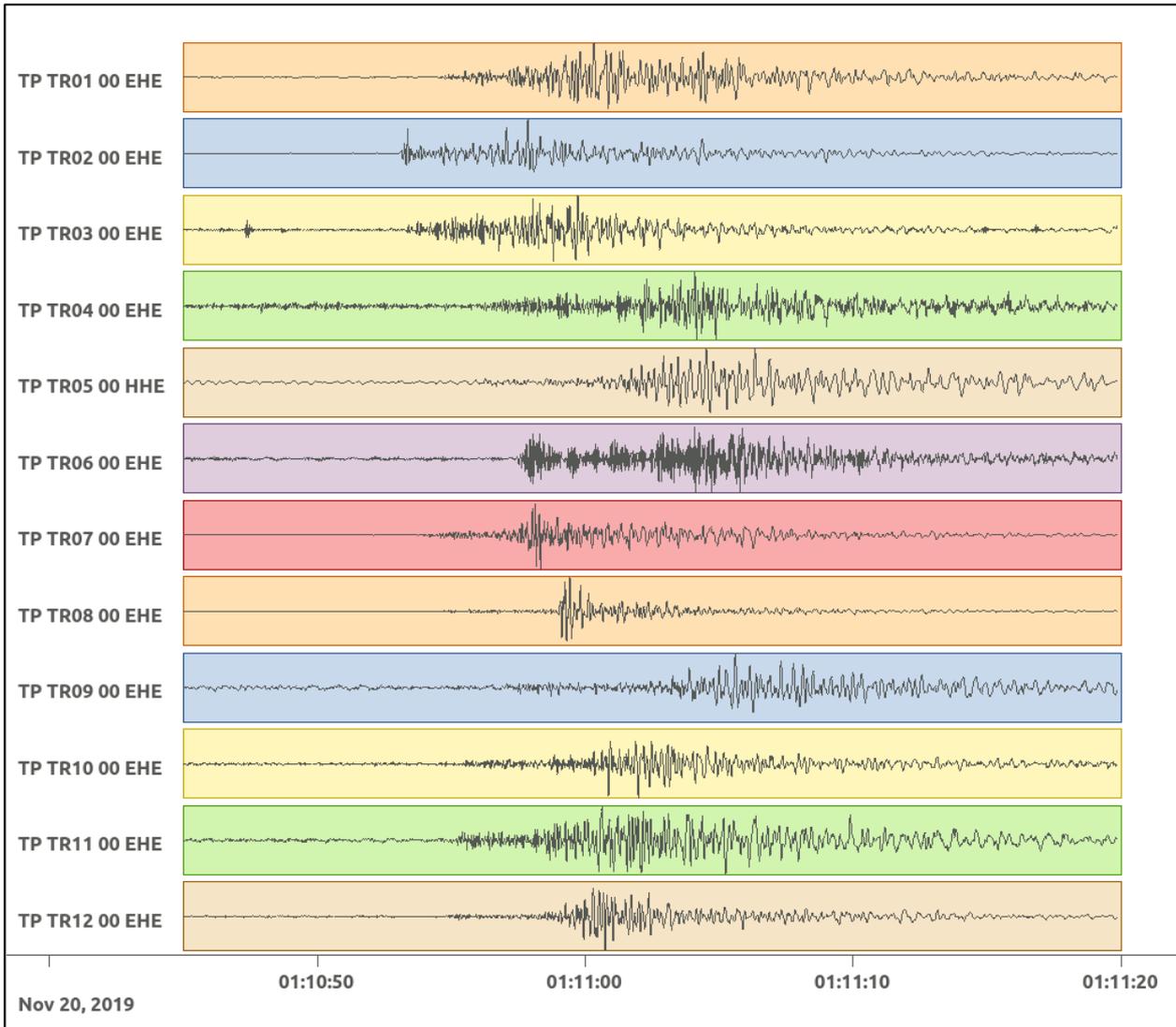
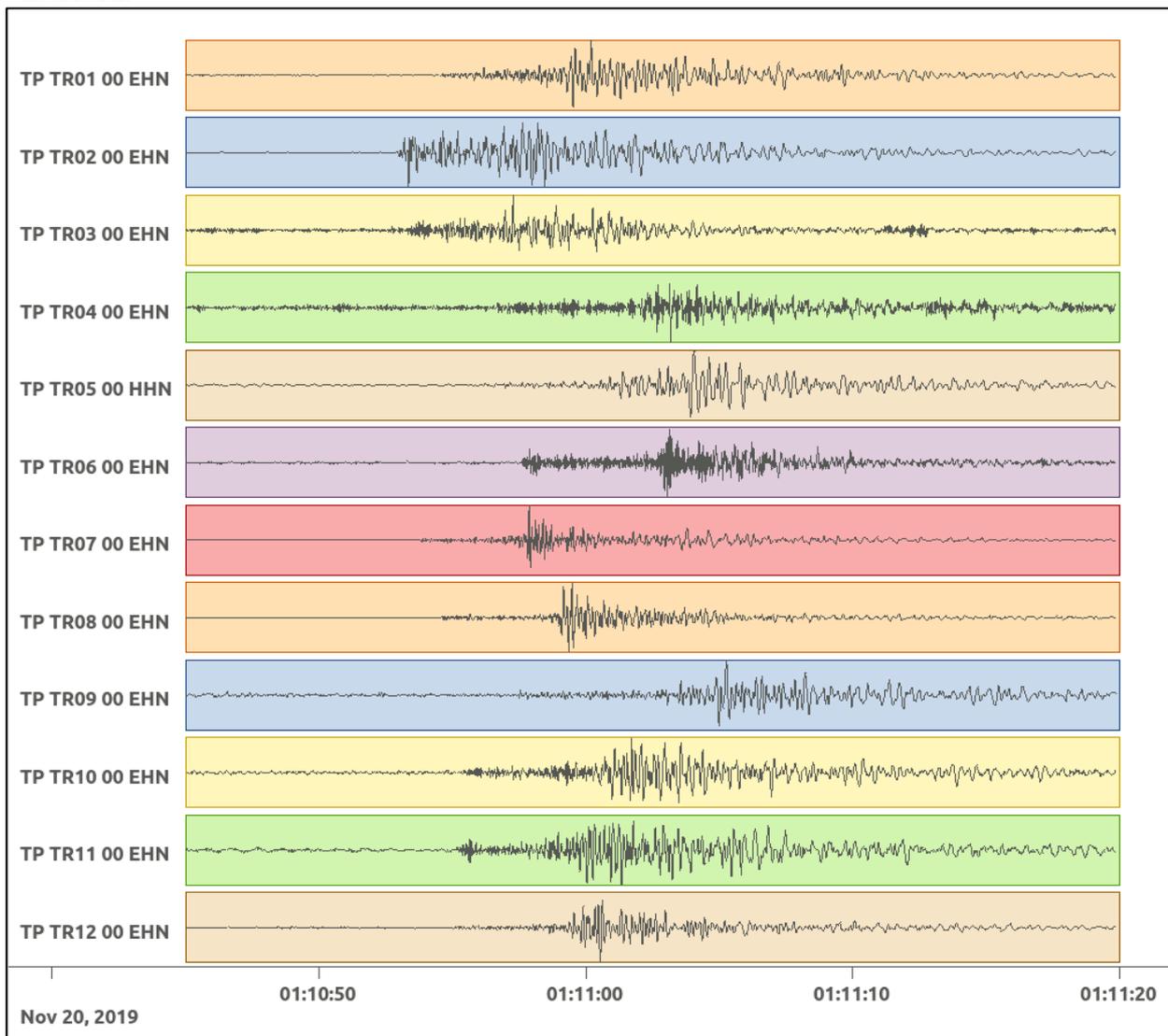


Figura 62: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 20/11/2019 01:10:49 UTC verificatosi a profondità 18.11 km

In Figura 63 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 11: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





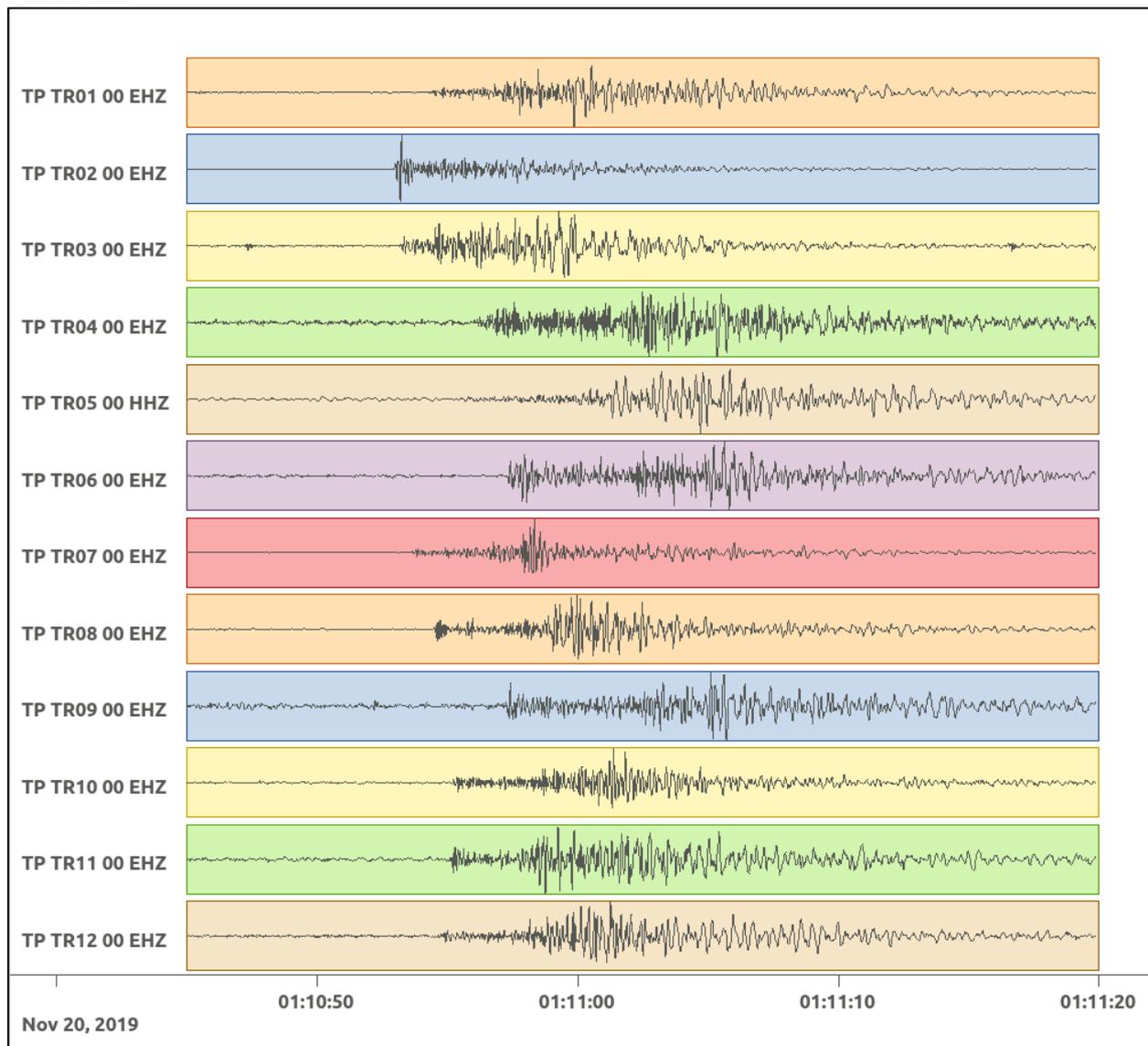


Figura 63: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 11, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

6.12. Evento 12: 01/12/2019 19:12:13 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
12	01/12/2019 19:12:13	40.40	16.19	18.65	1.70	0.8 ± 0.1	ACER CRAC MCEL MIGL SCHR SIRI SLCN

In Figura 64 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

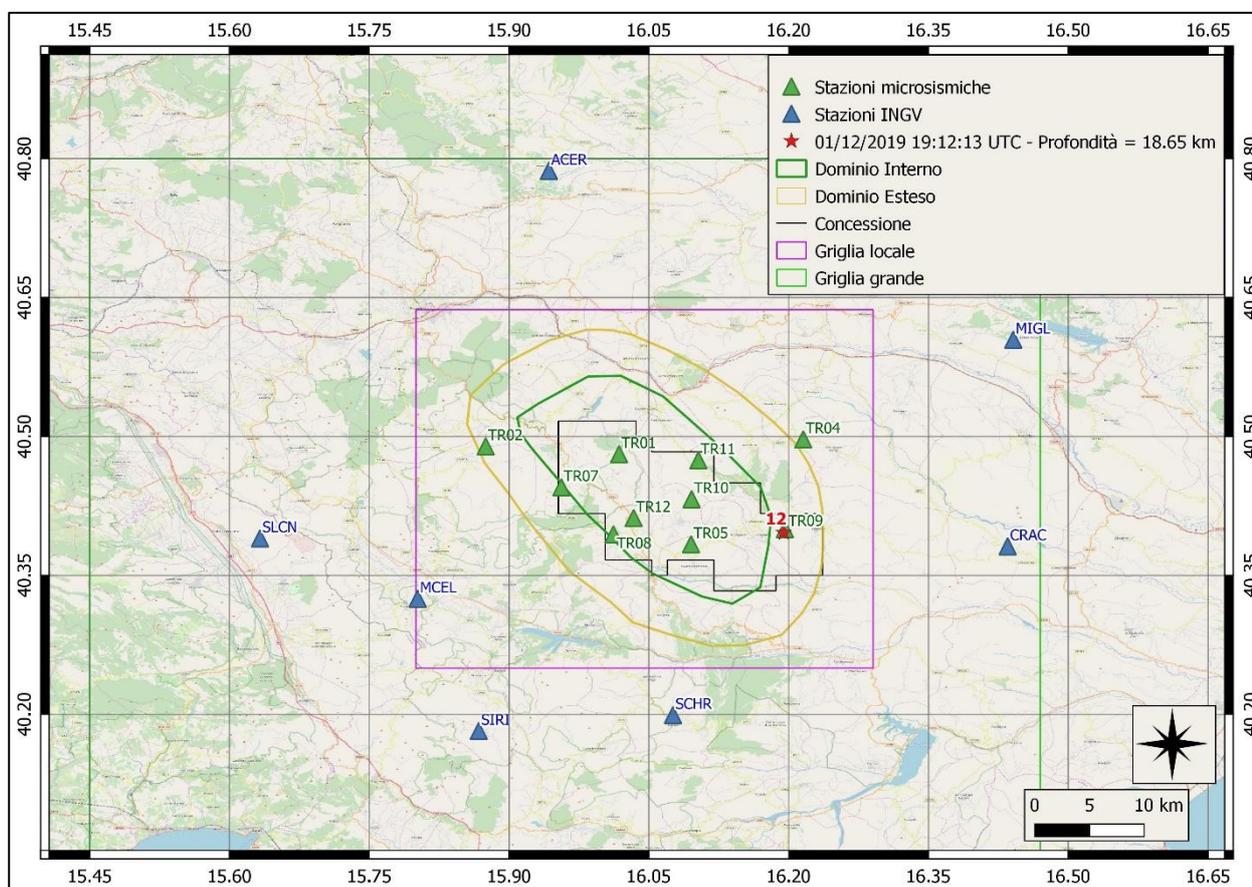
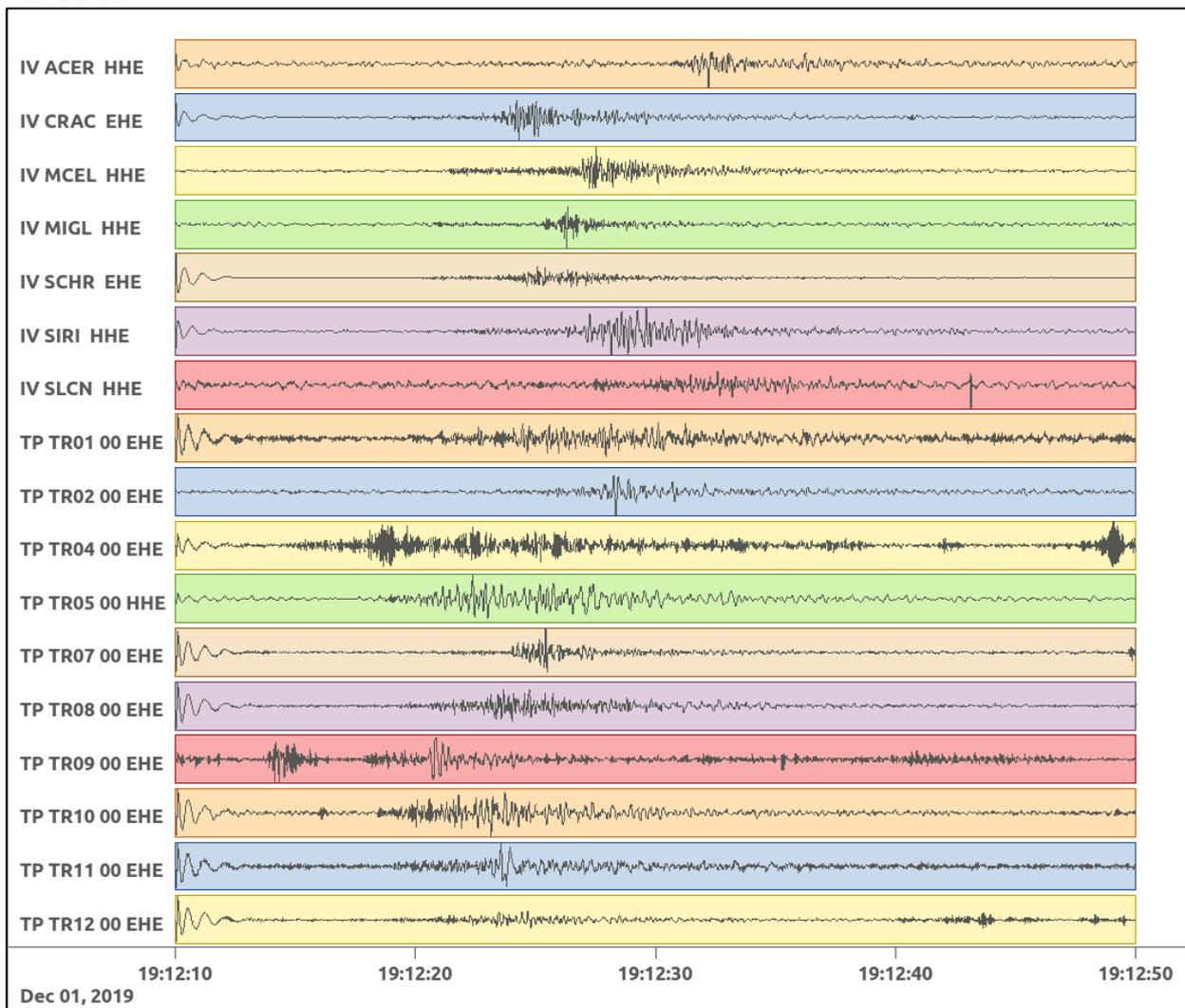
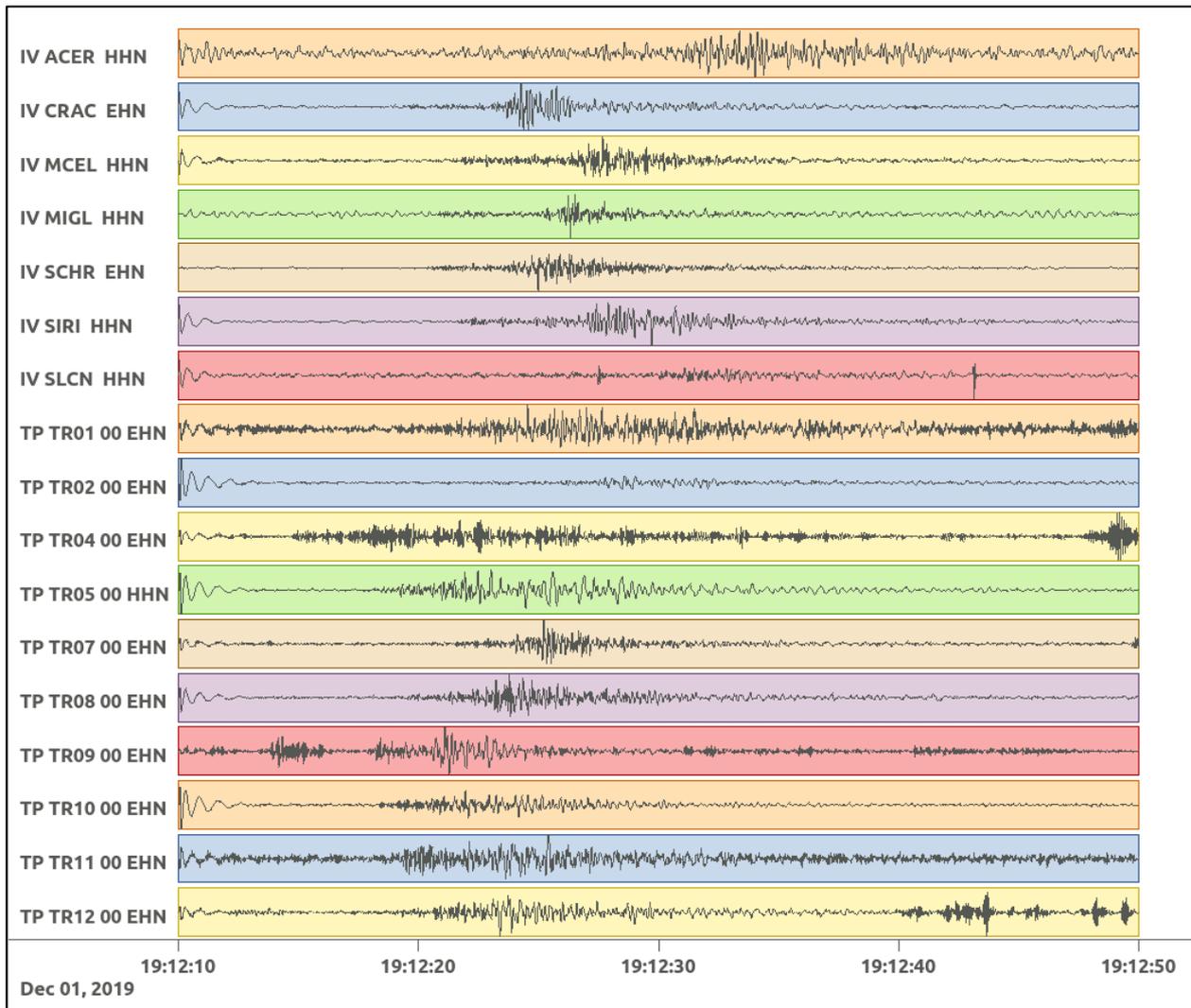


Figura 64: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 01/12/2019 19:12:13 UTC verificatosi a profondità 18.65 km

In Figura 65 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 12: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





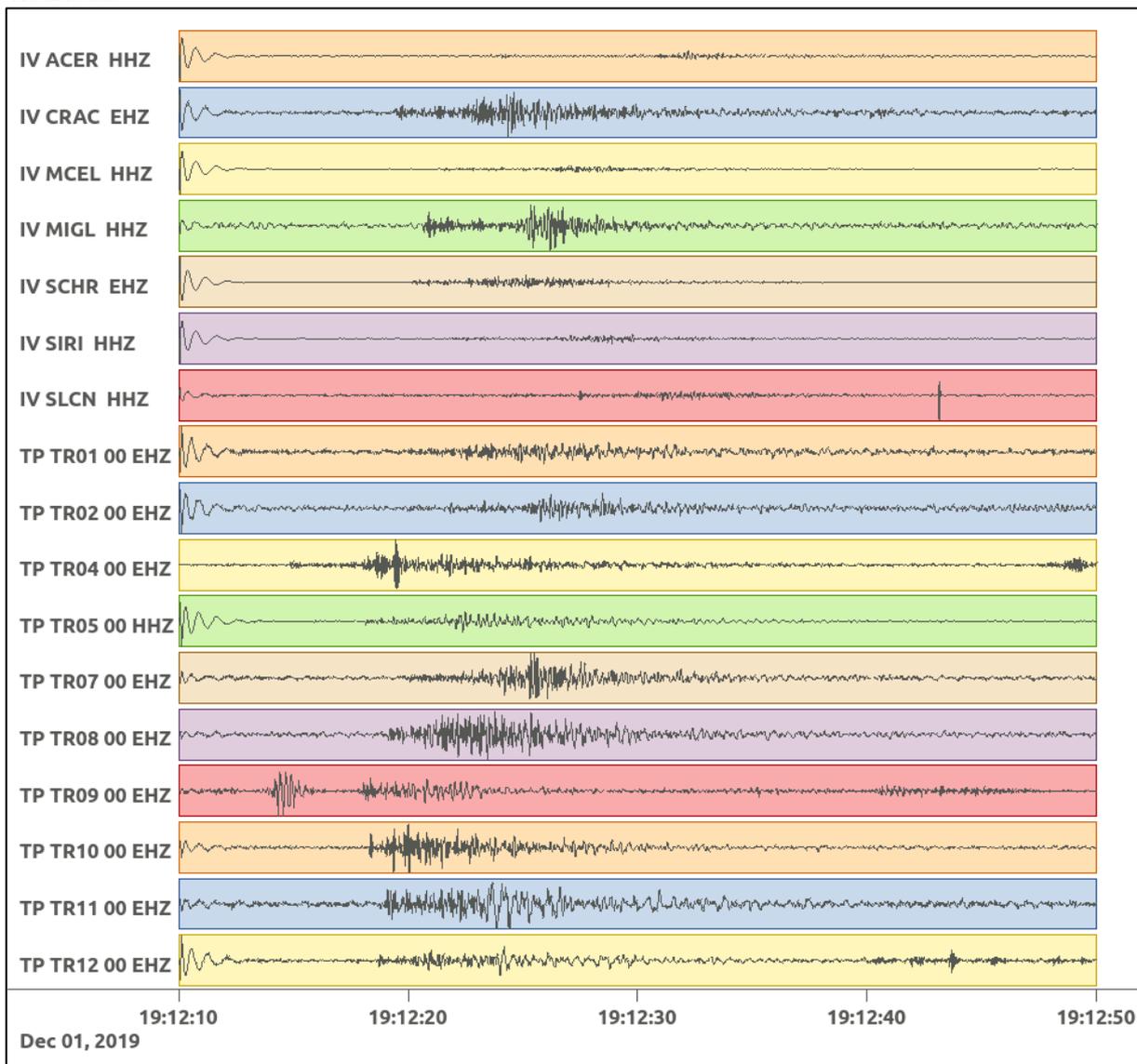


Figura 65: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 12, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

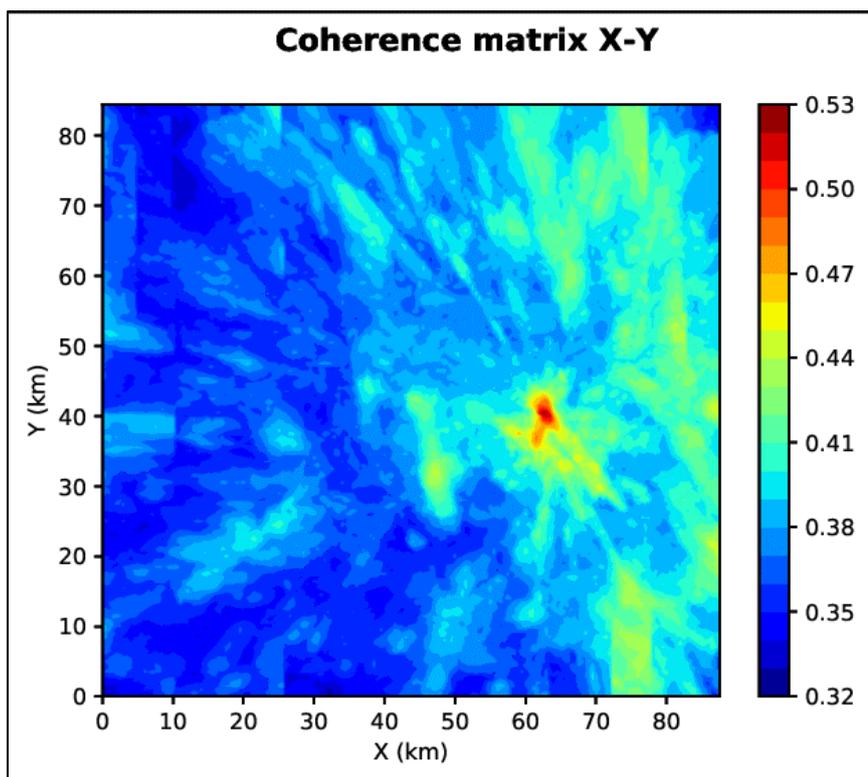


Figura 66: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

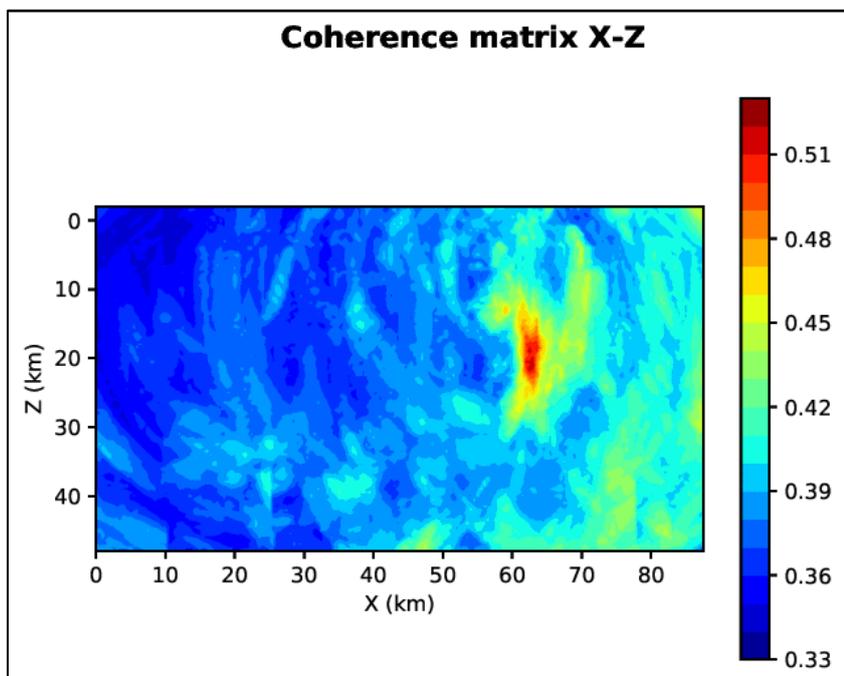


Figura 67: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

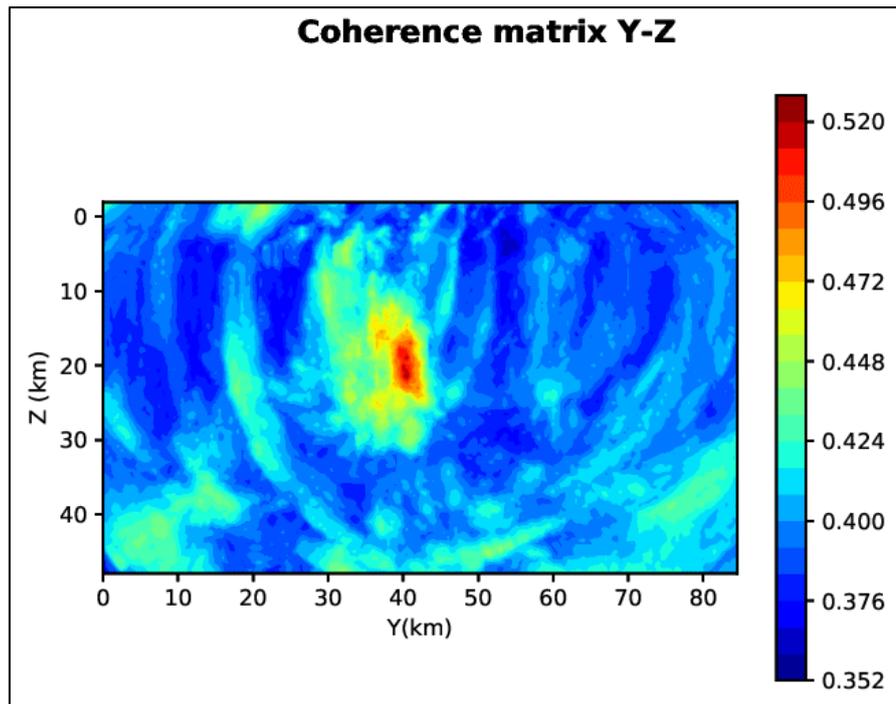


Figura 68: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.13. Evento 13: 09/12/2019 03:15:15 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
13	09/12/2019 03:15:15	40.49	16.01	18.03	0.70	0.7 ± 0.2	MCEL MIGL PTRP SCHR SIRI

In Figura 69 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

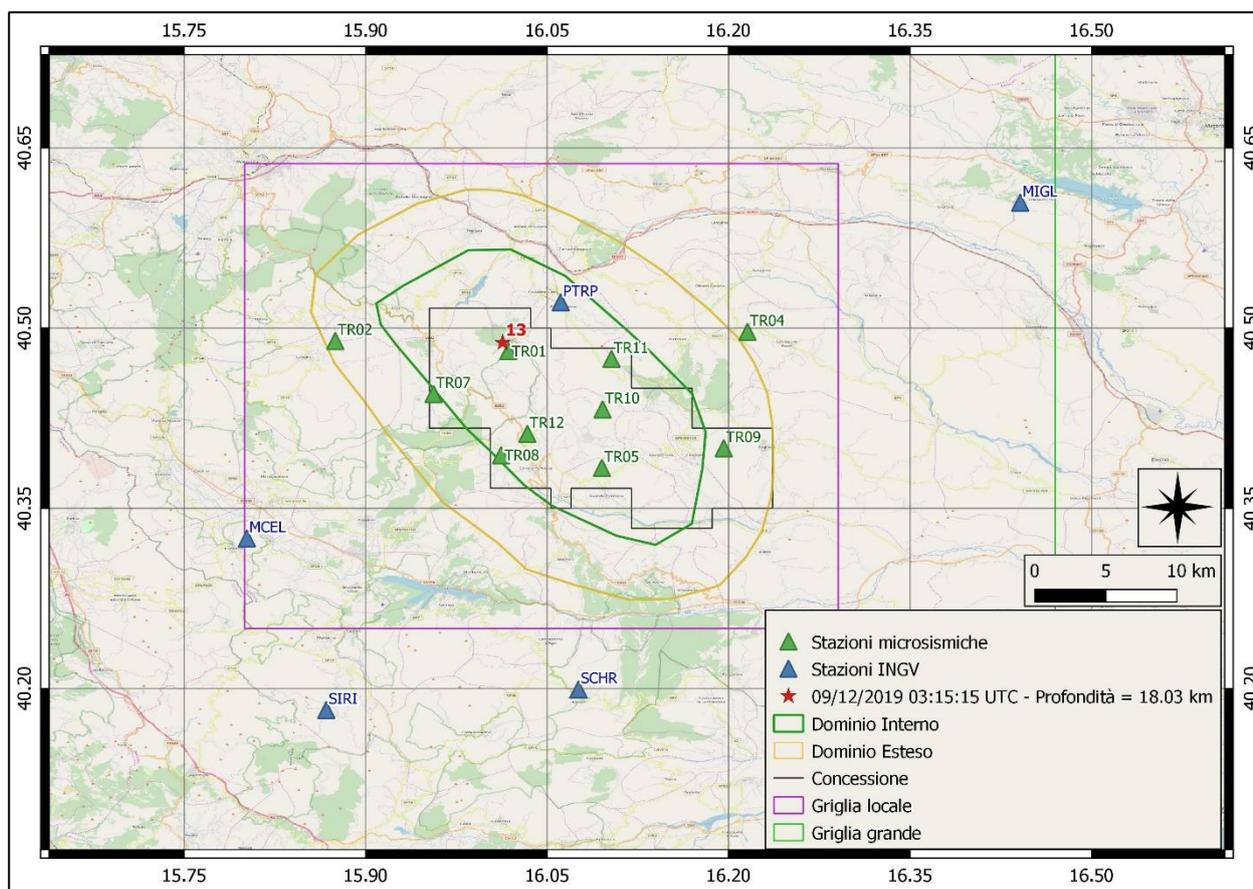
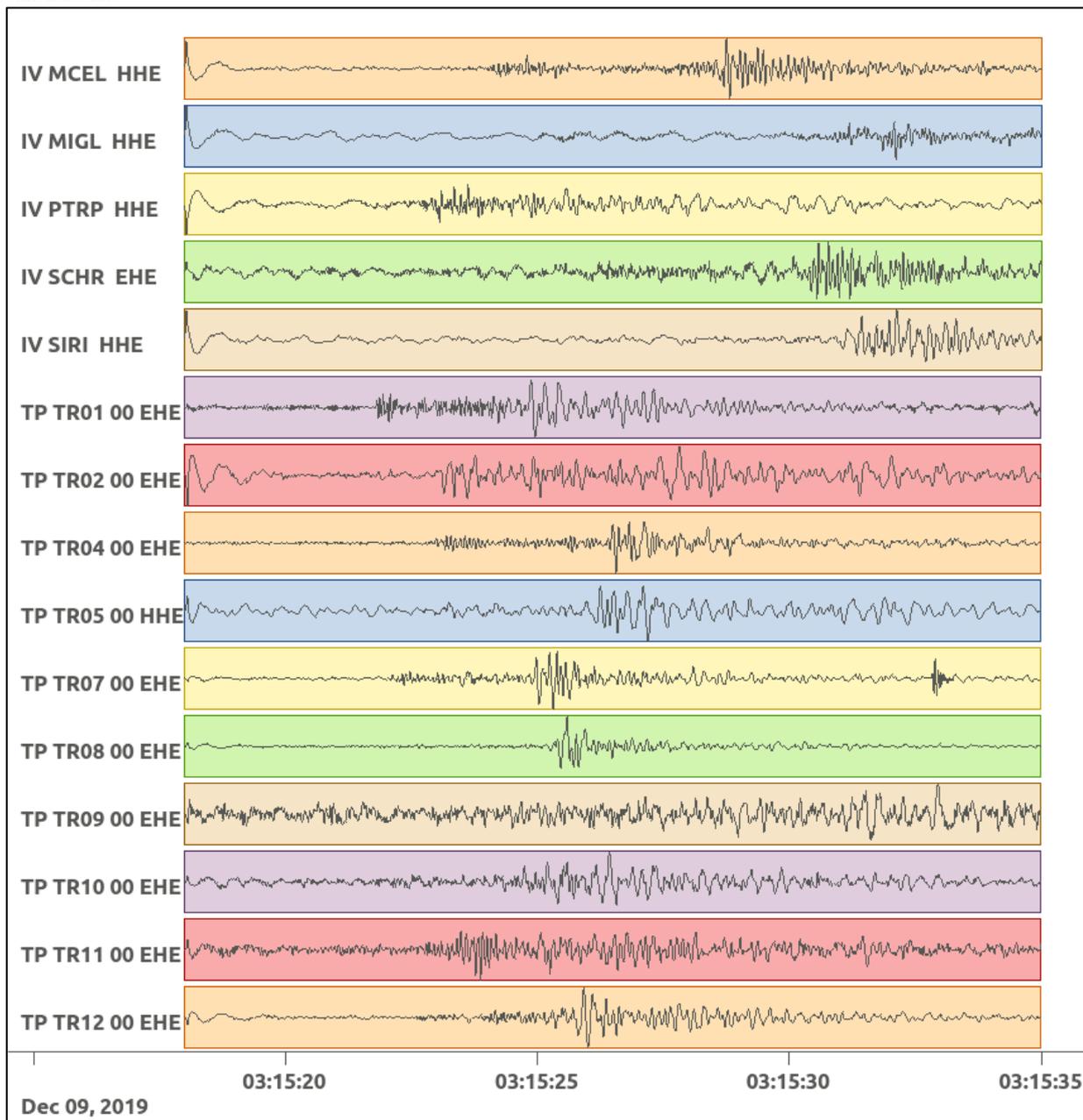
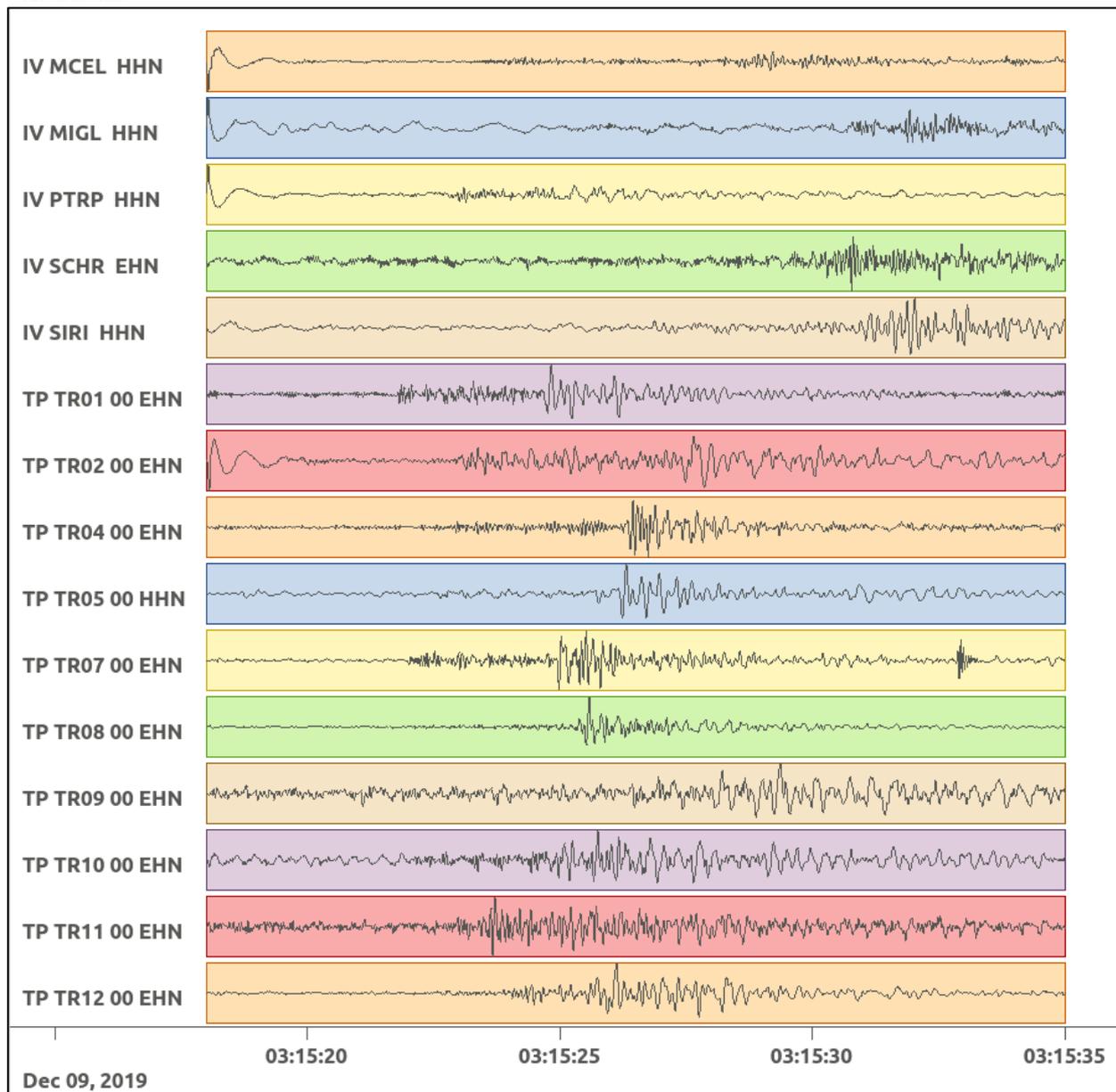


Figura 69: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 09/12/2019 03:15:15 UTC verificatosi a profondità 18.03 km

In Figura 70 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 13: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





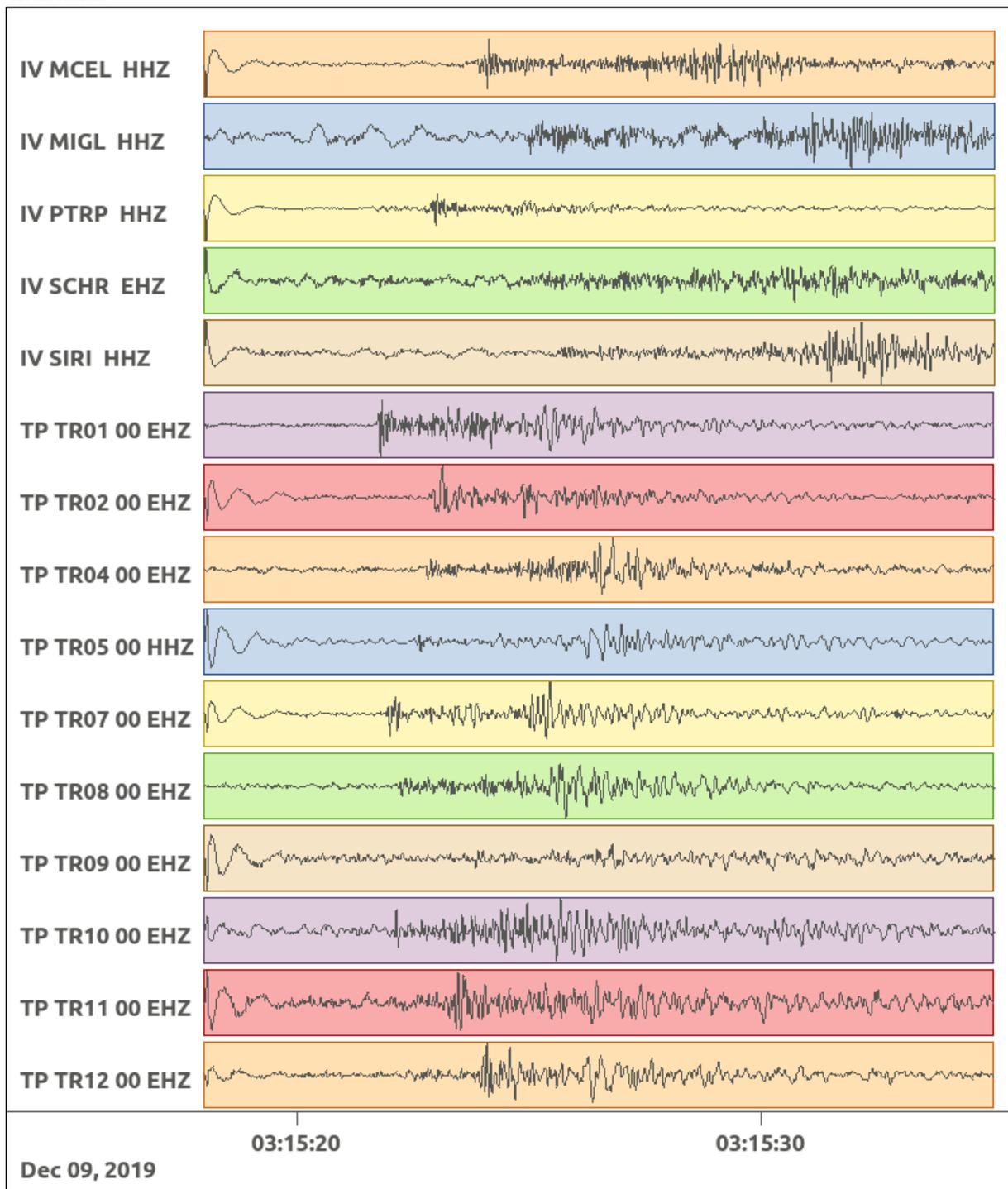


Figura 70: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 13, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

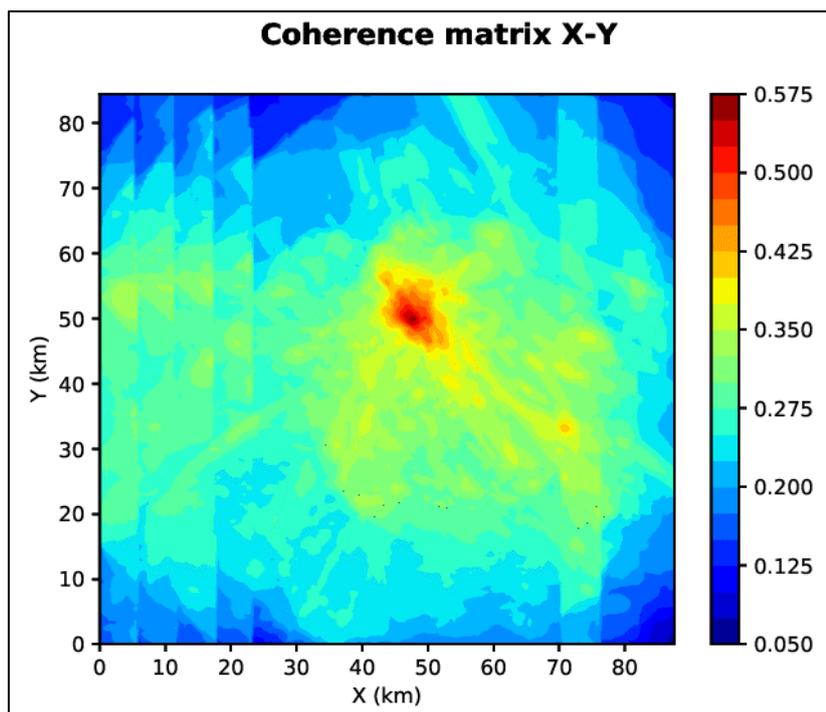


Figura 71: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

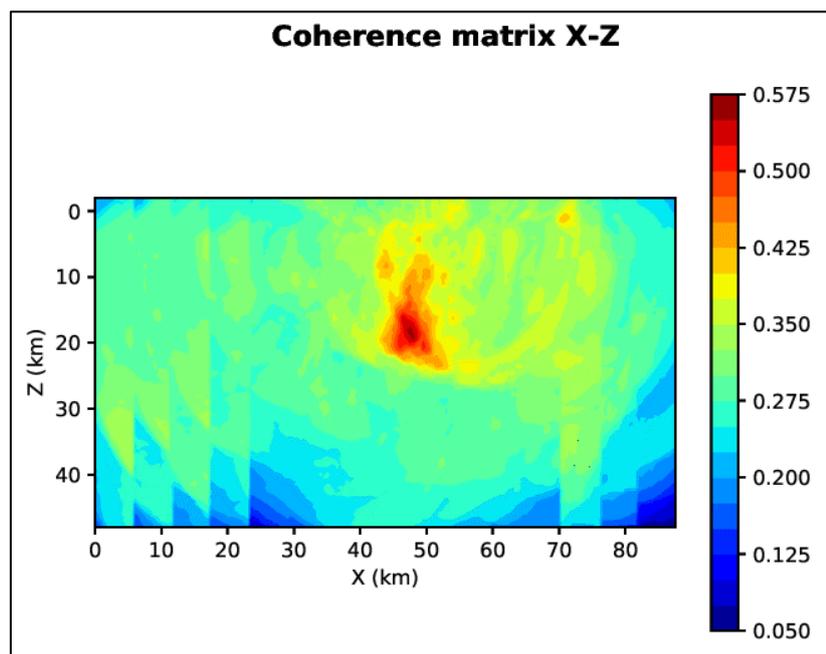


Figura 72: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

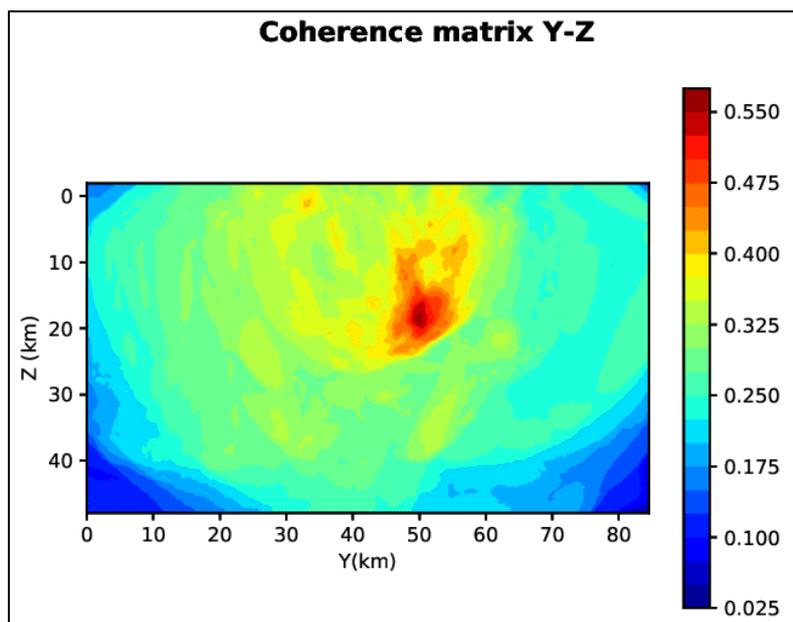


Figura 73: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.14. Evento 14: 09/12/2019 22:23:27 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
14	09/12/2019 22:23:27	40.49	16.02	18.92	0.93	0.6 ± 0.2	MCEL SIRI

In Figura 74 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

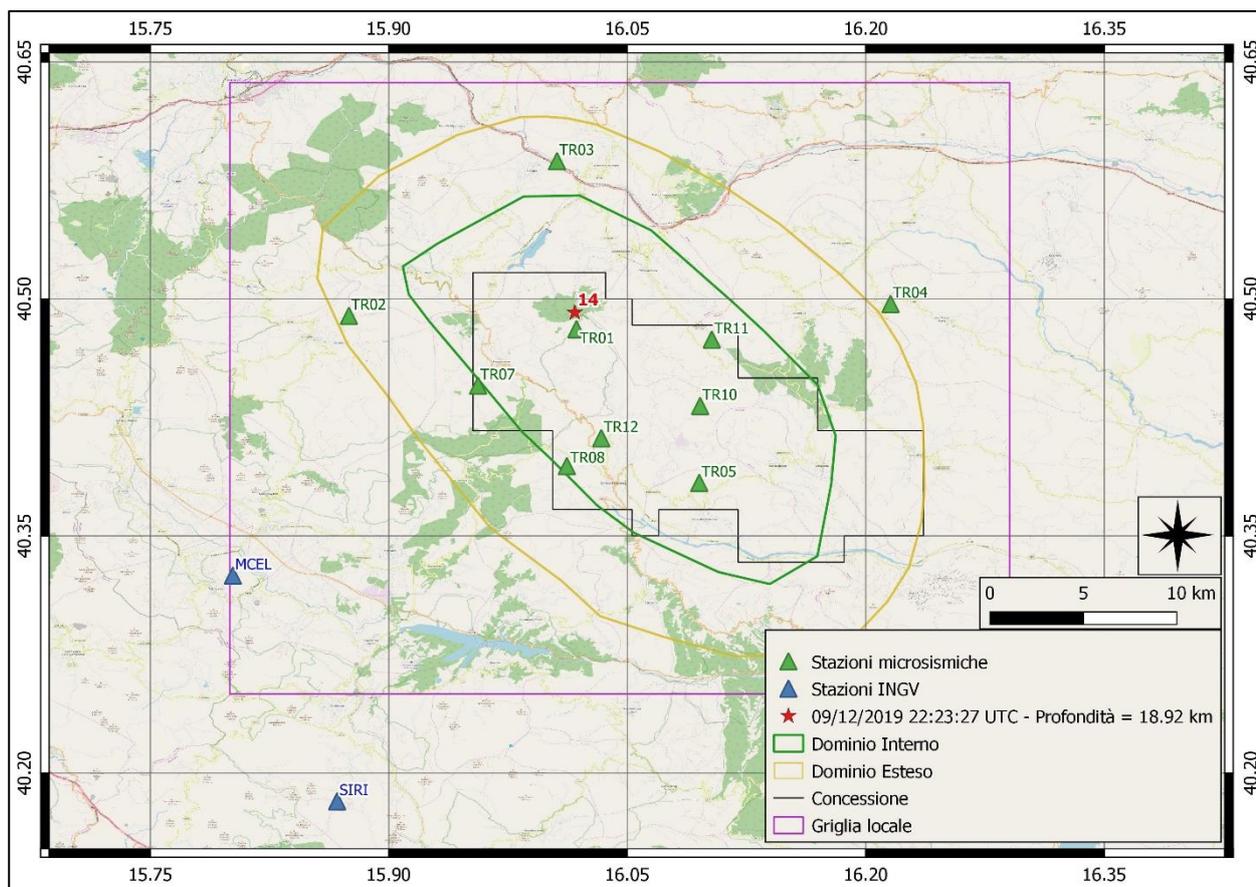
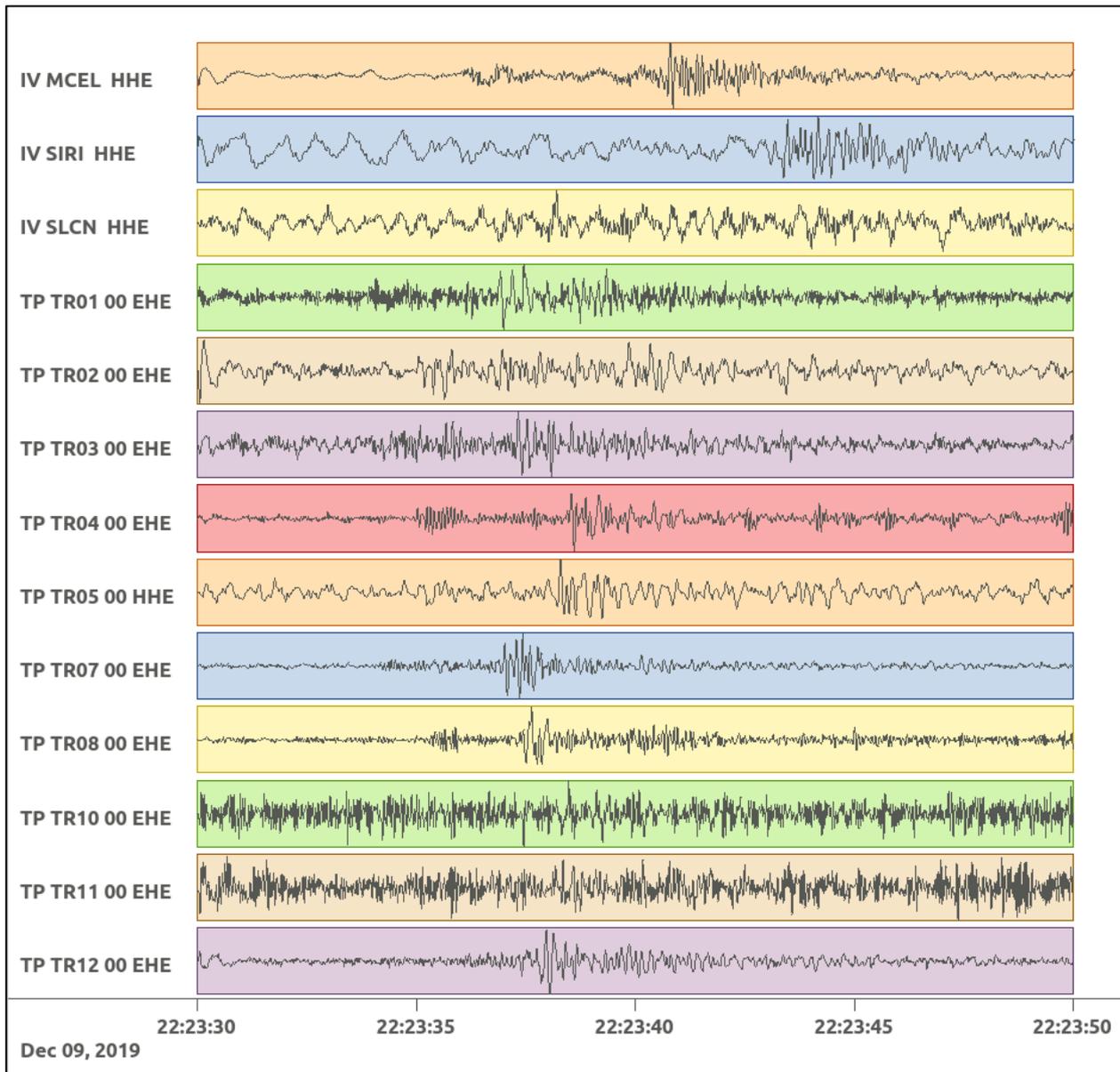
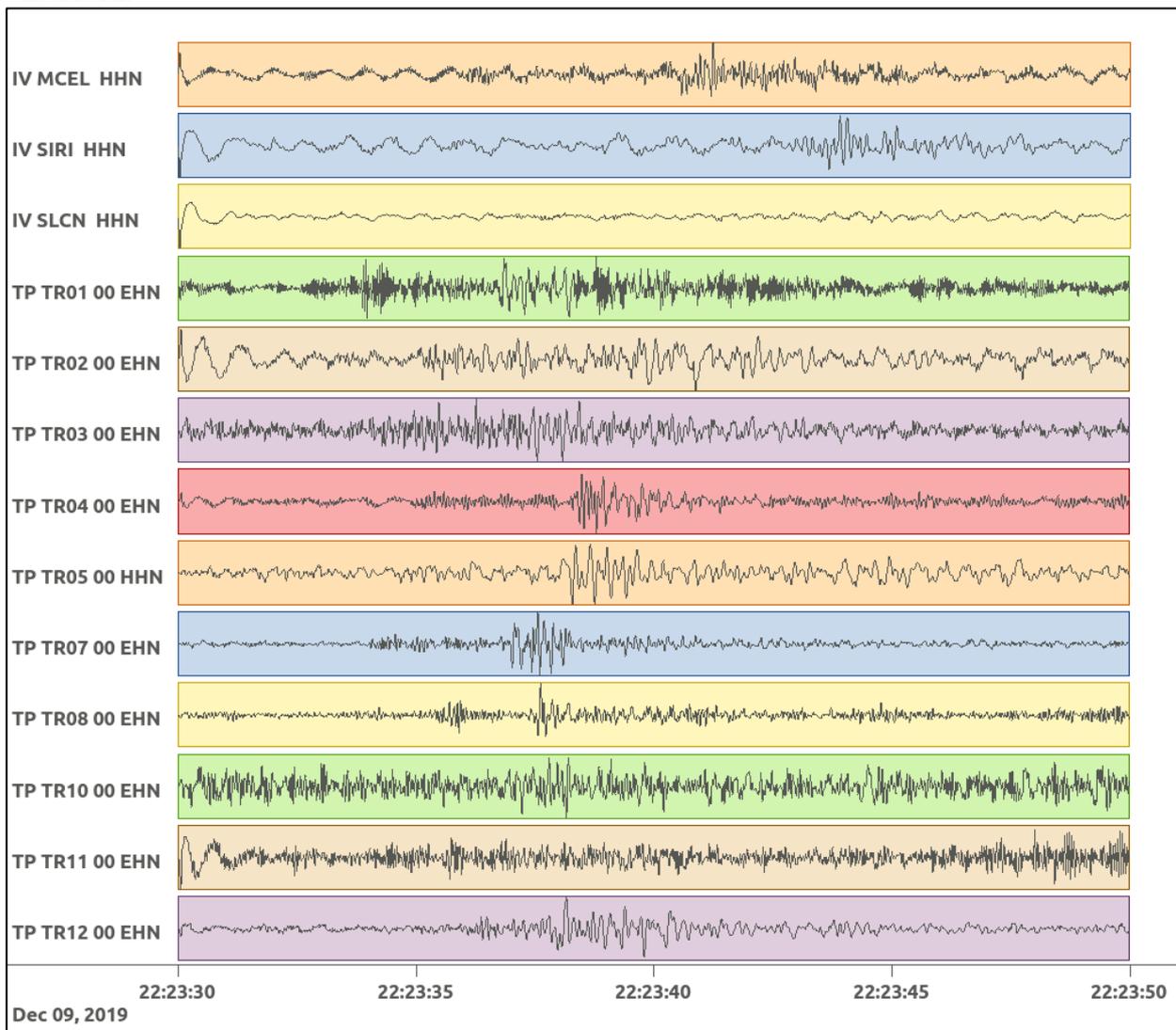


Figura 74: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 09/12/2019 22:23:27 UTC verificatosi a profondità 18.92 km

In Figura 75 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 14: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





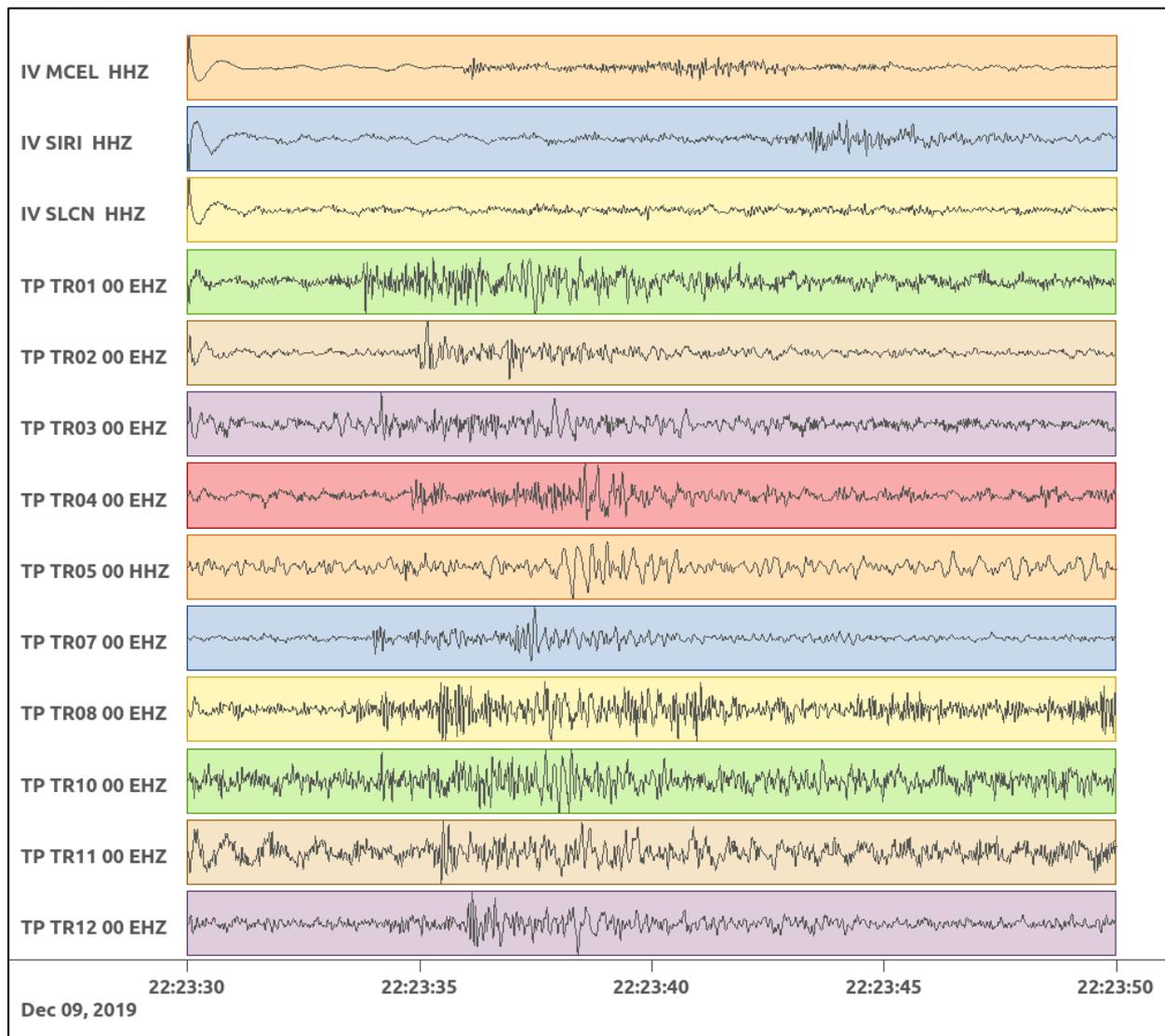


Figura 75: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 14, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

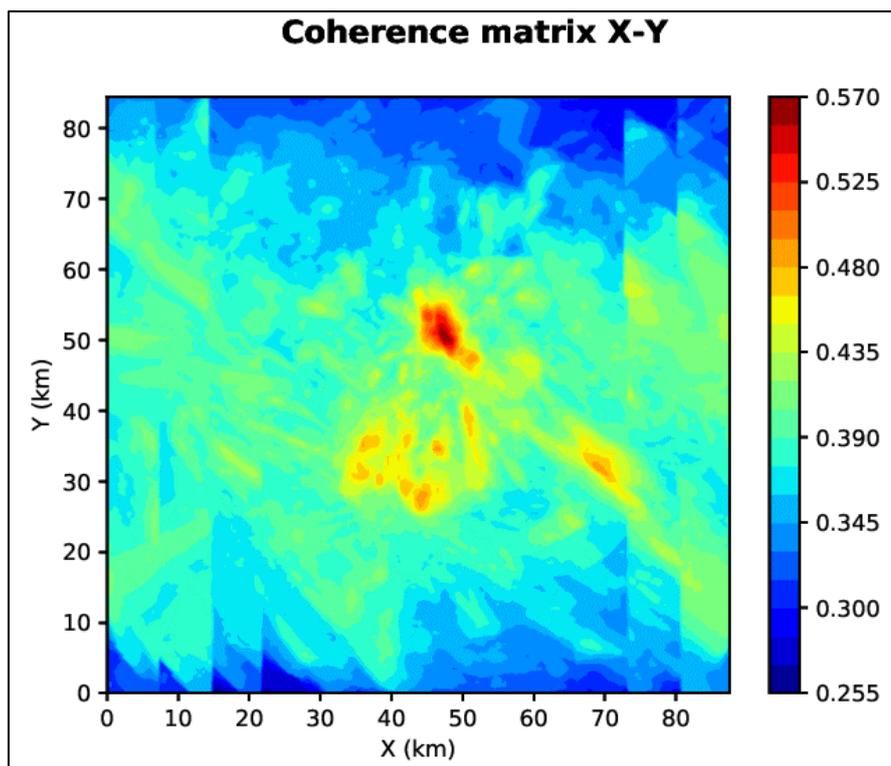


Figura 76: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

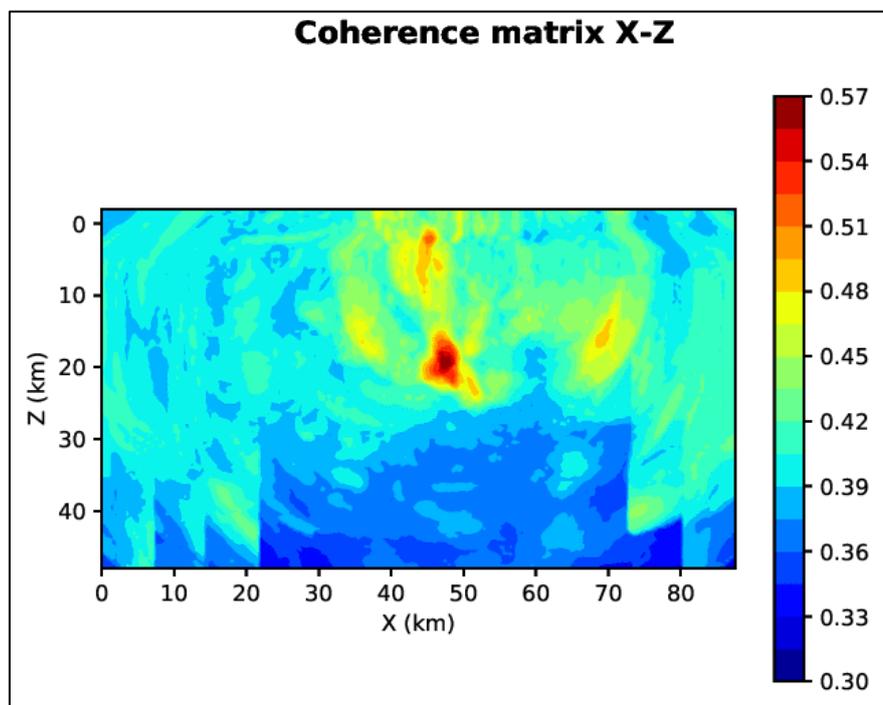


Figura 77: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

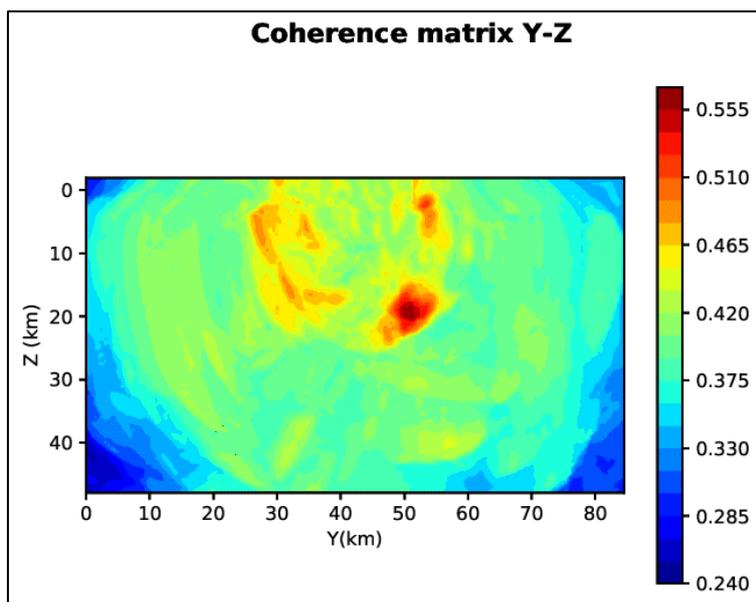


Figura 78: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.15. Evento 15: 11/12/2019 23:15:03 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _I	Stazioni INGV
15	11/12/2019 23:15:03	40.35	15.85	0	0.50	0.6 ± 0.1	ACER MCEL MGR SCHR SLCN

In Figura 79 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

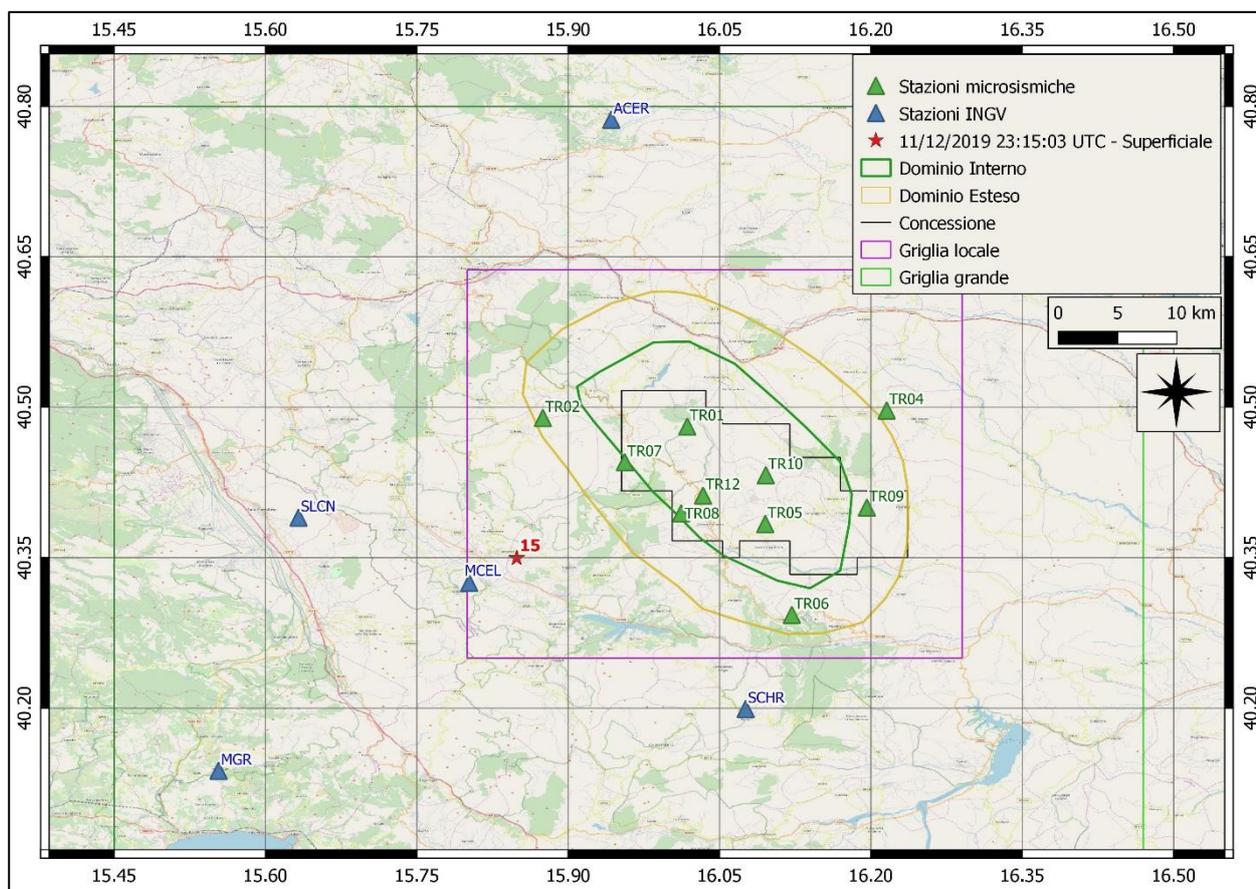
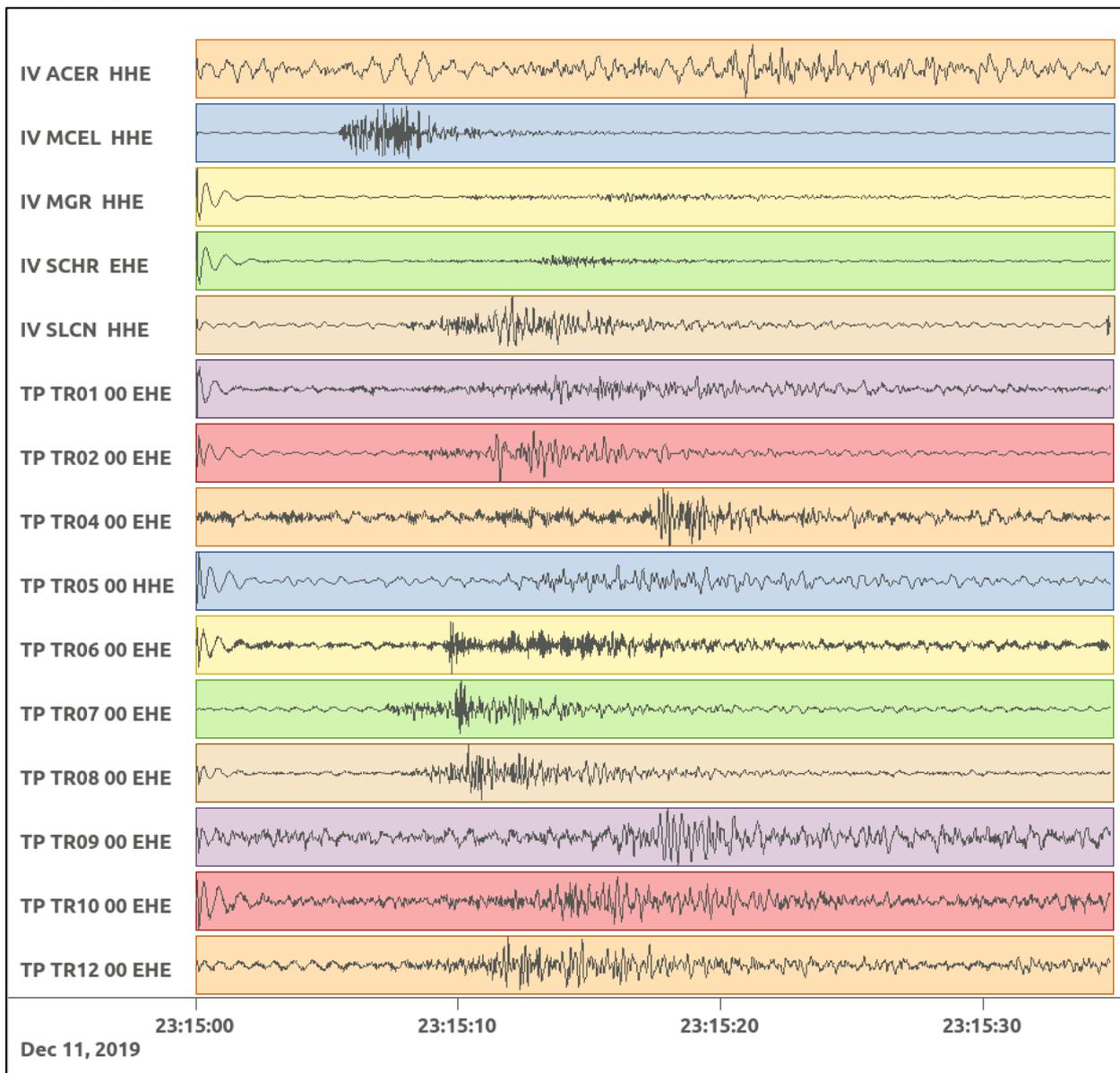
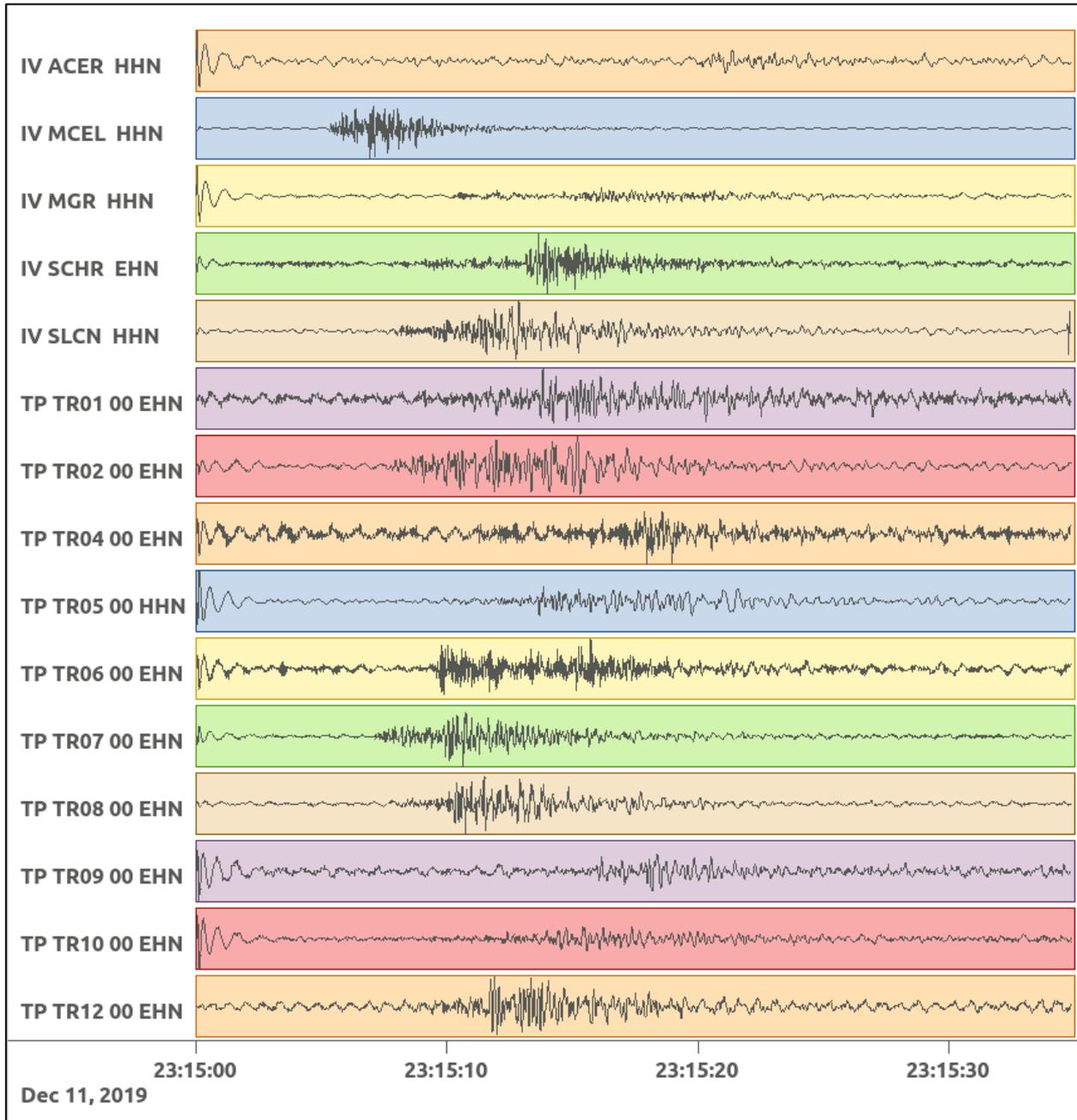


Figura 79: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 11/12/2019 23:15:03 UTC verificatosi in superficie.

In Figura 80 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 15: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





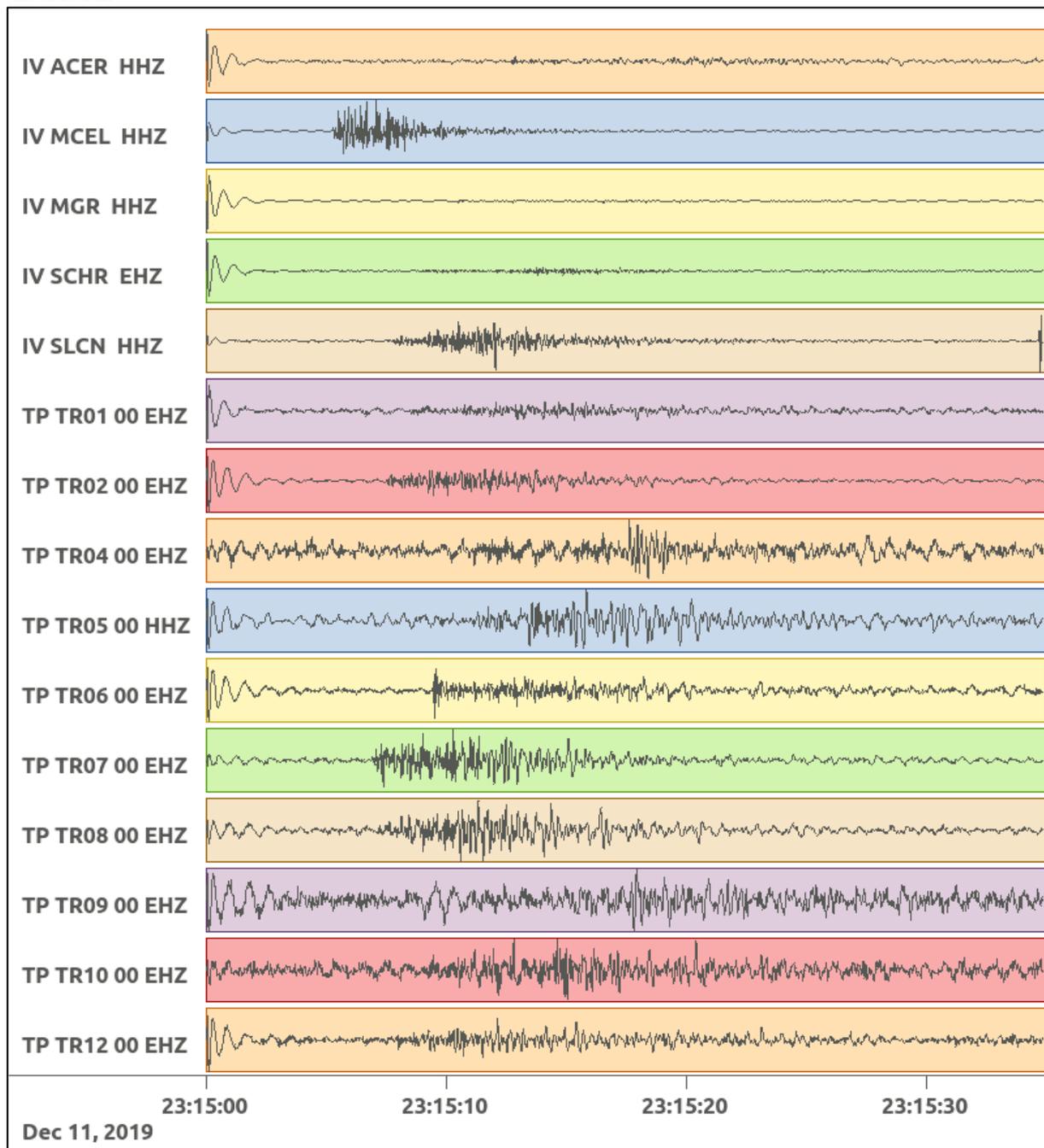


Figura 80: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 15, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

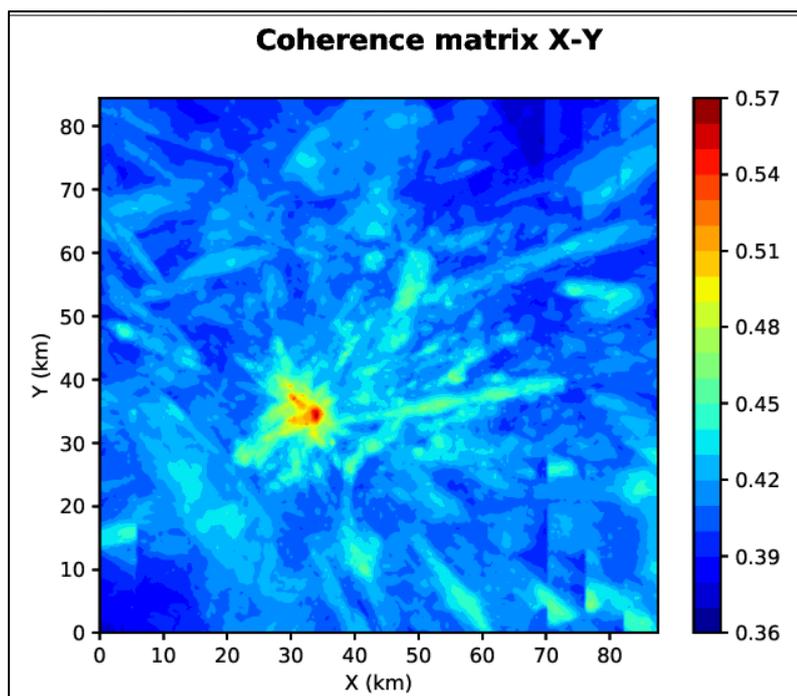


Figura 81: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

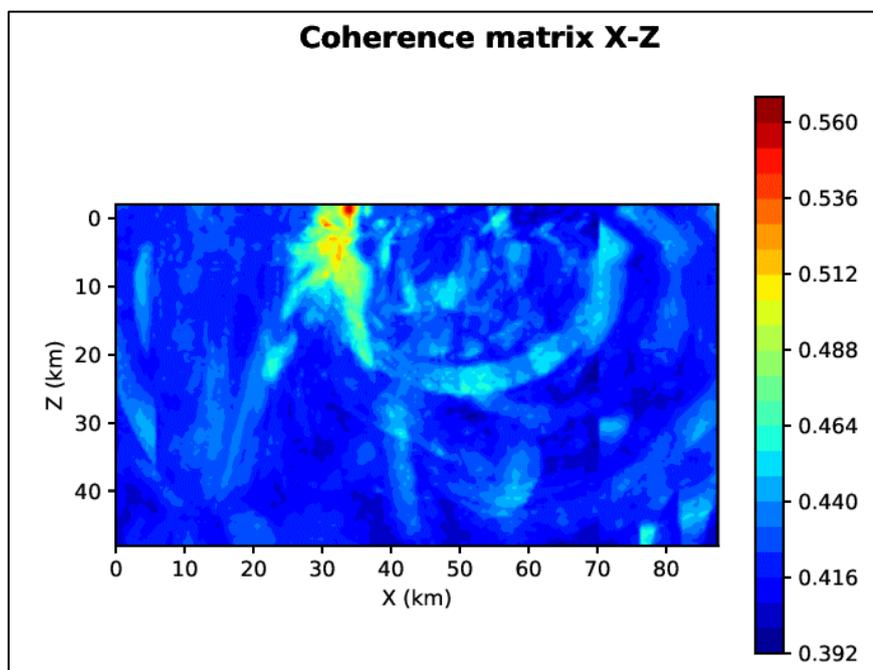


Figura 82: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

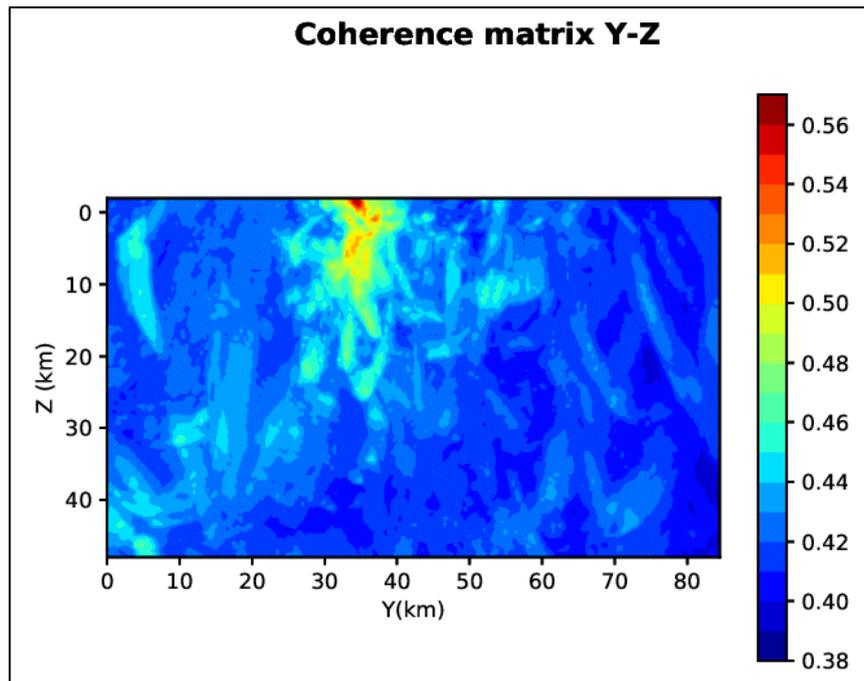


Figura 83: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.16. Evento 16: 29/12/2019 19:19:49 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
16	29/12/2019 19:19:49	40.54	15.95	22.69	0.53	1.4 ± 0.4	ACER MCEL PTRP PZUN SIRI SLCN

In Figura 84 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

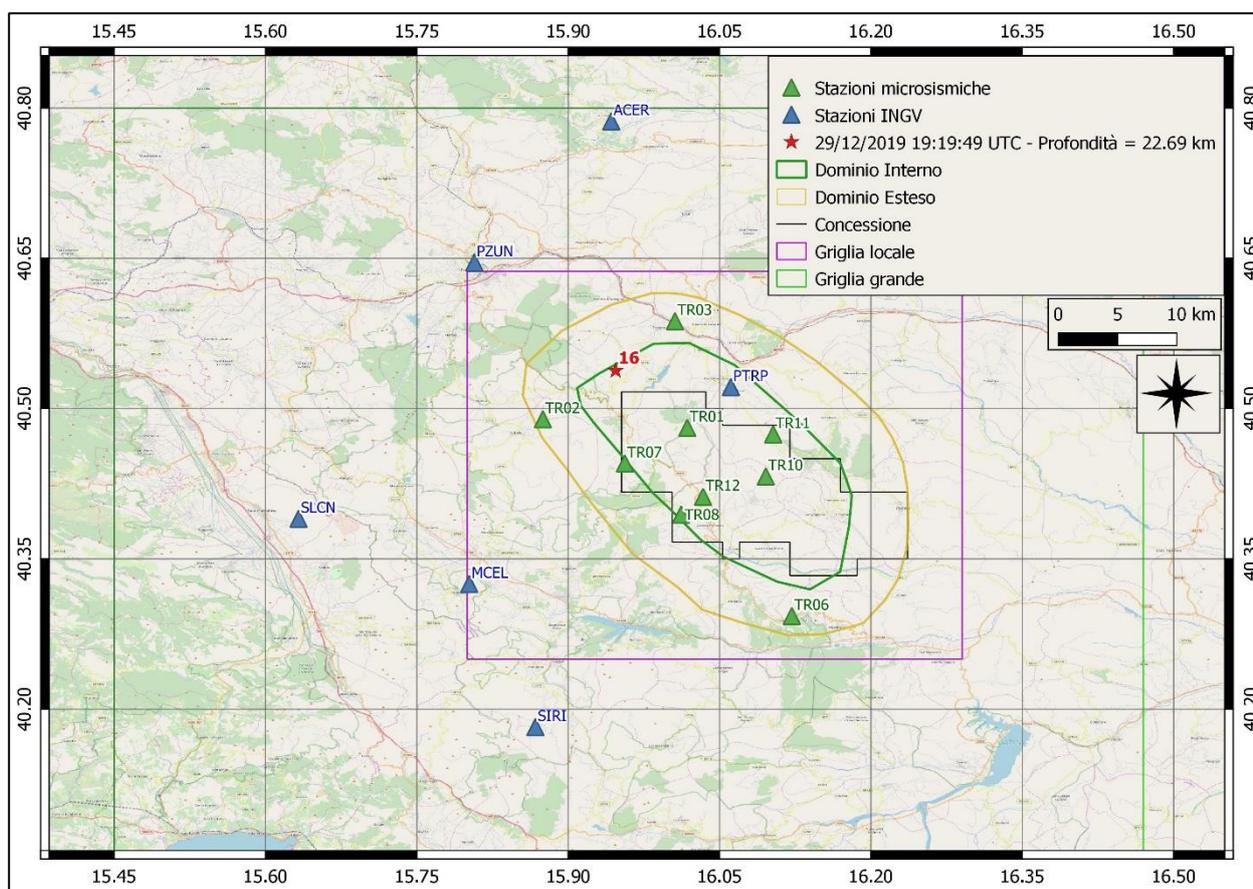
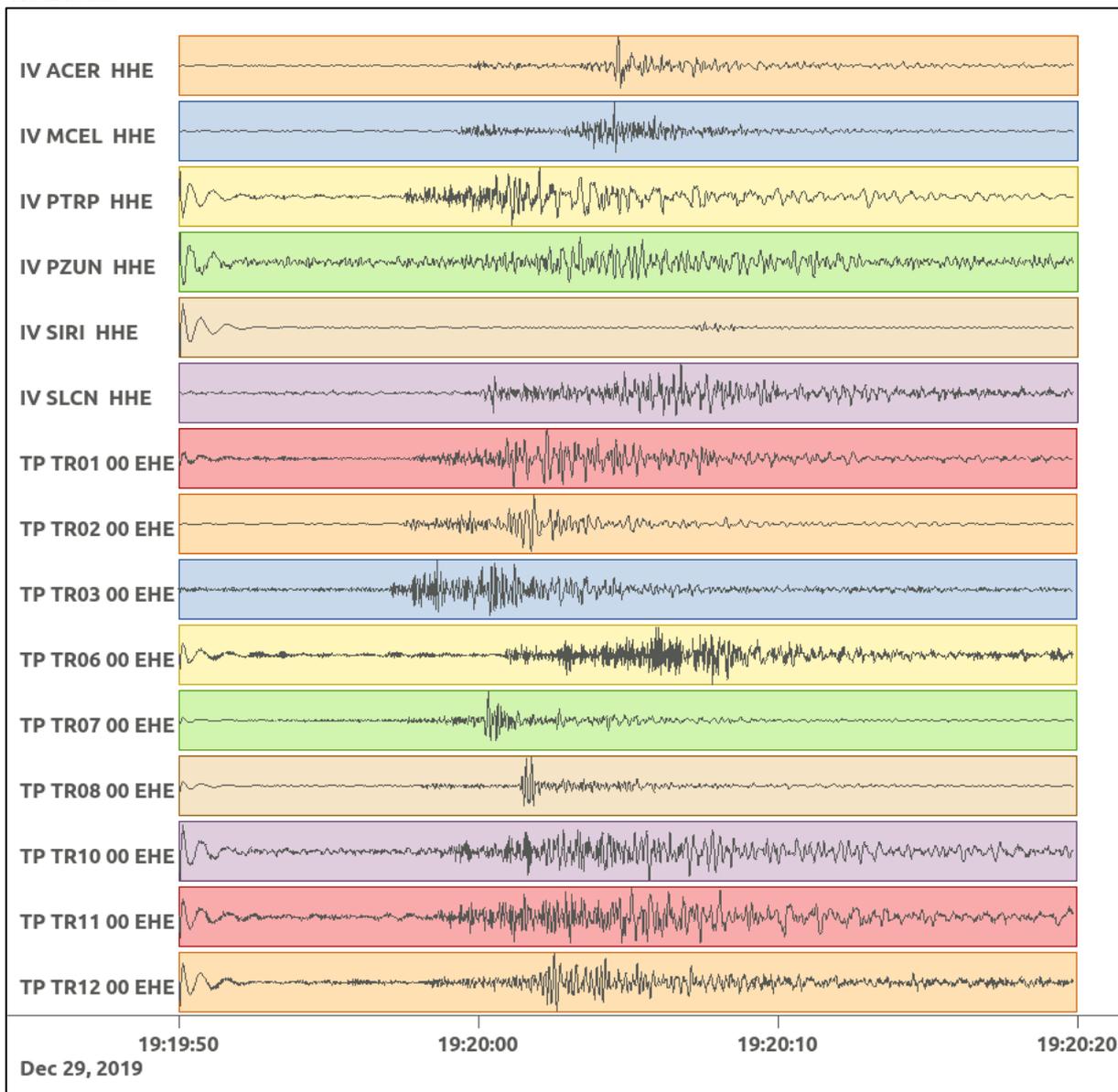
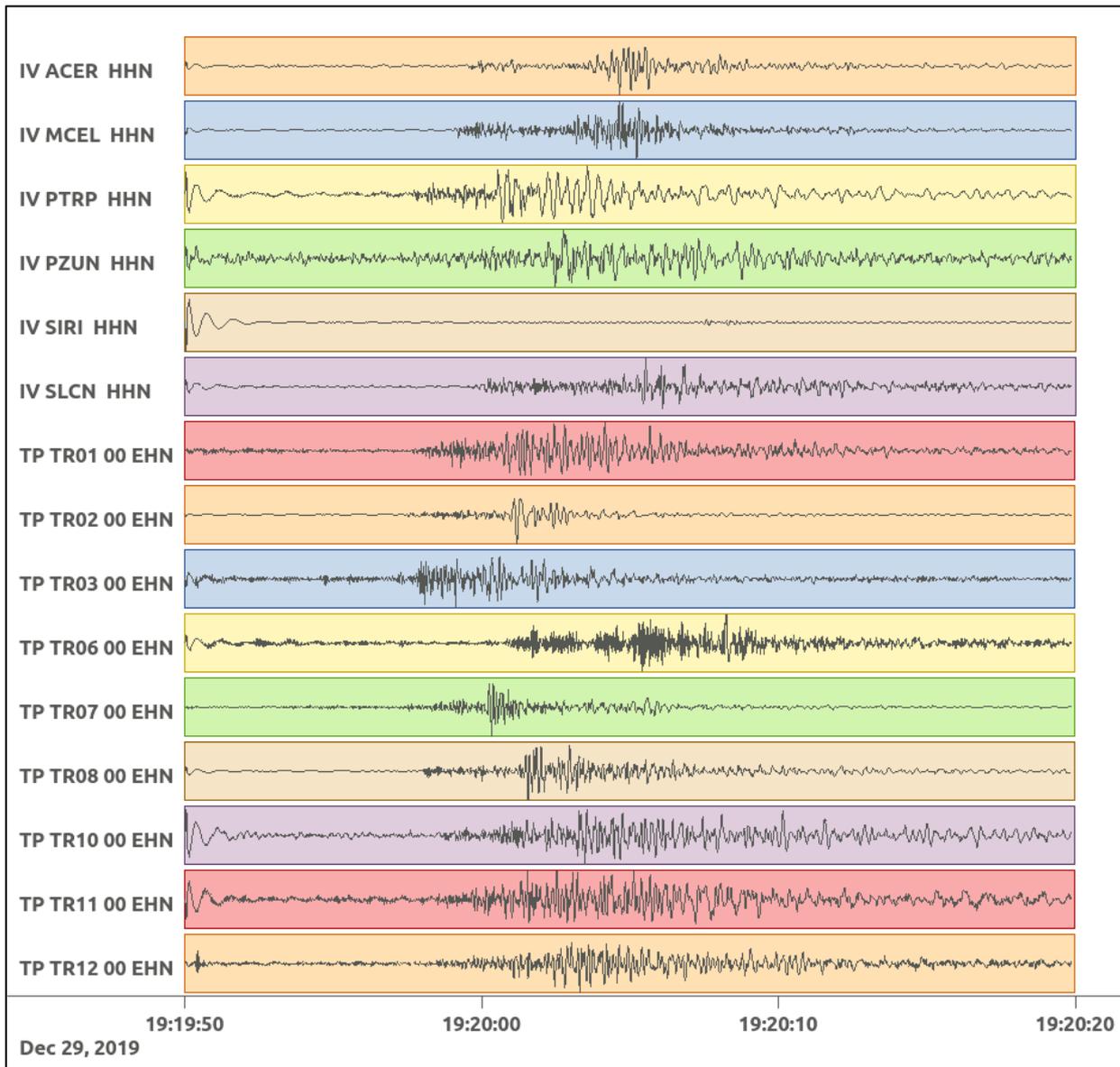


Figura 84: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 29/12/2019 19:19:49 UTC verificatosi a profondità 22.69 km

In Figura 85 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 16: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





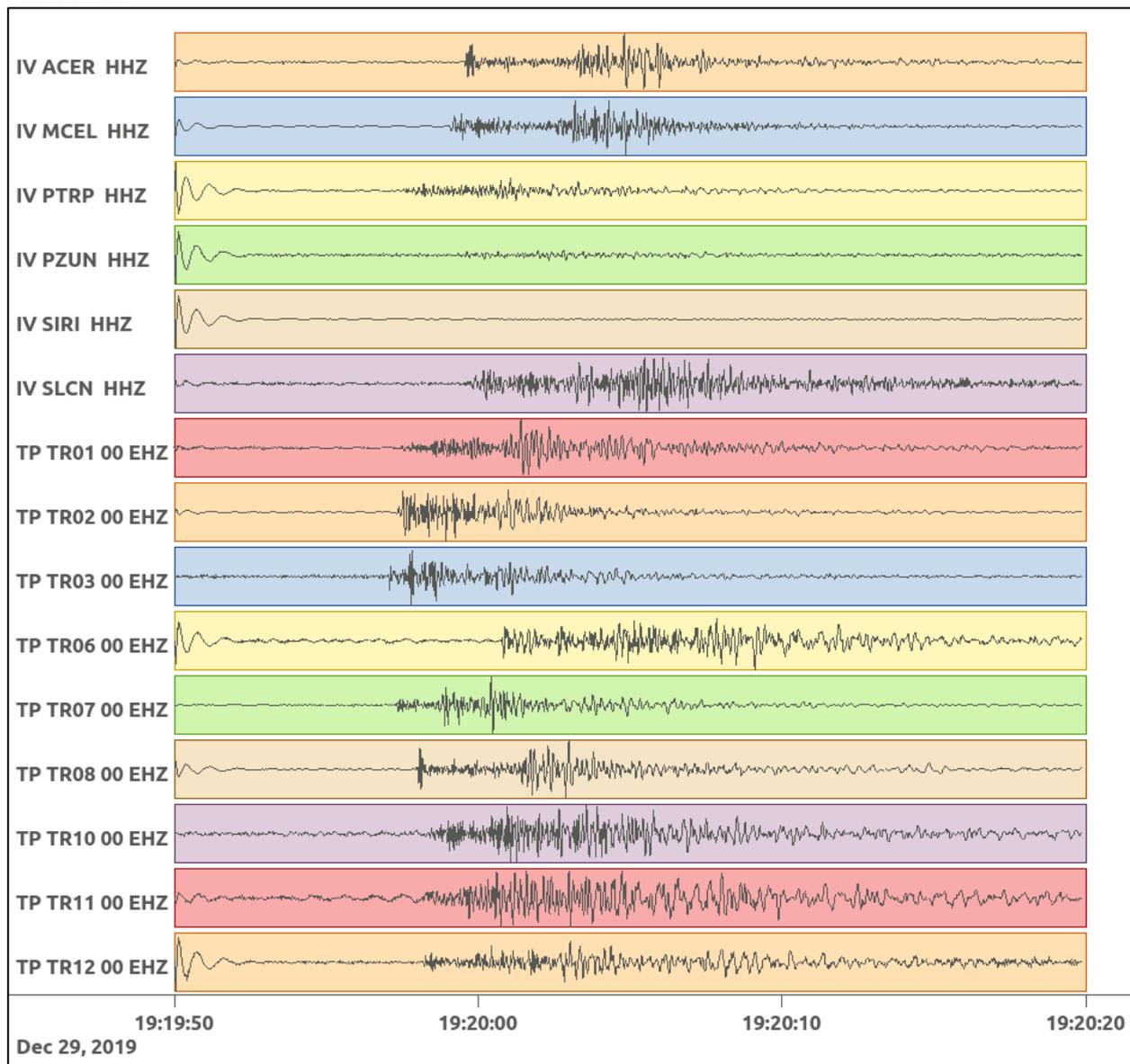


Figura 85: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 16, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

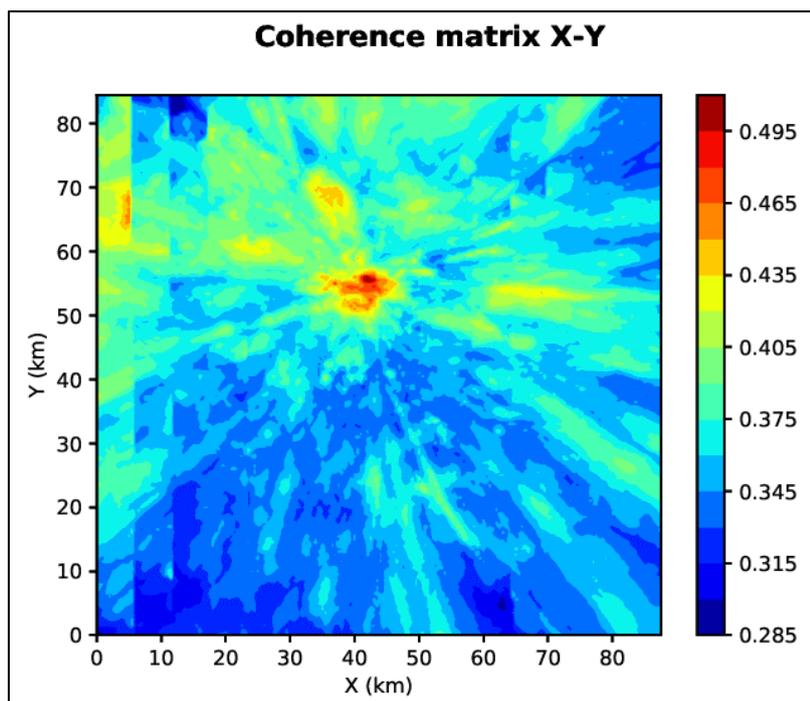


Figura 86: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

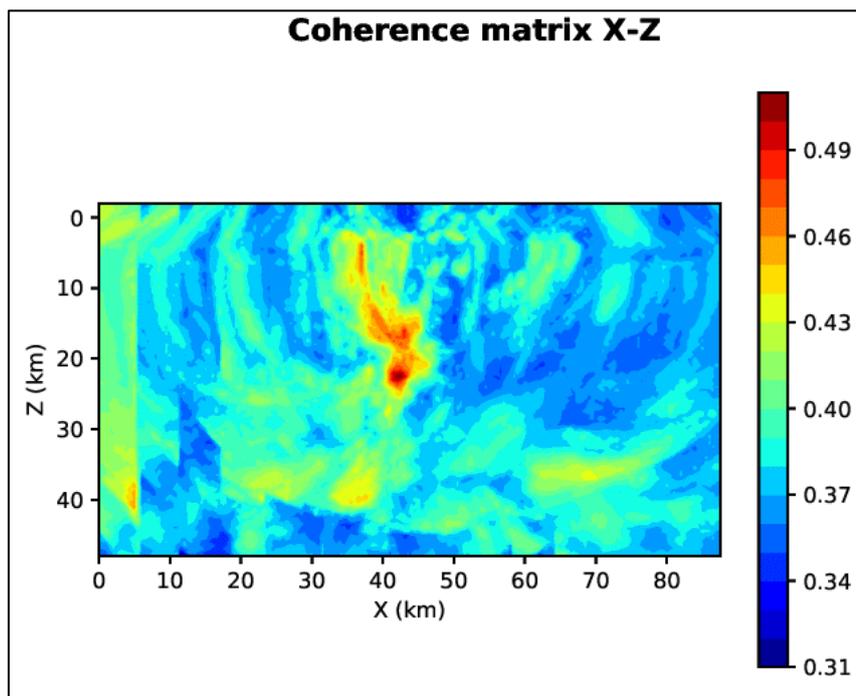


Figura 87: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

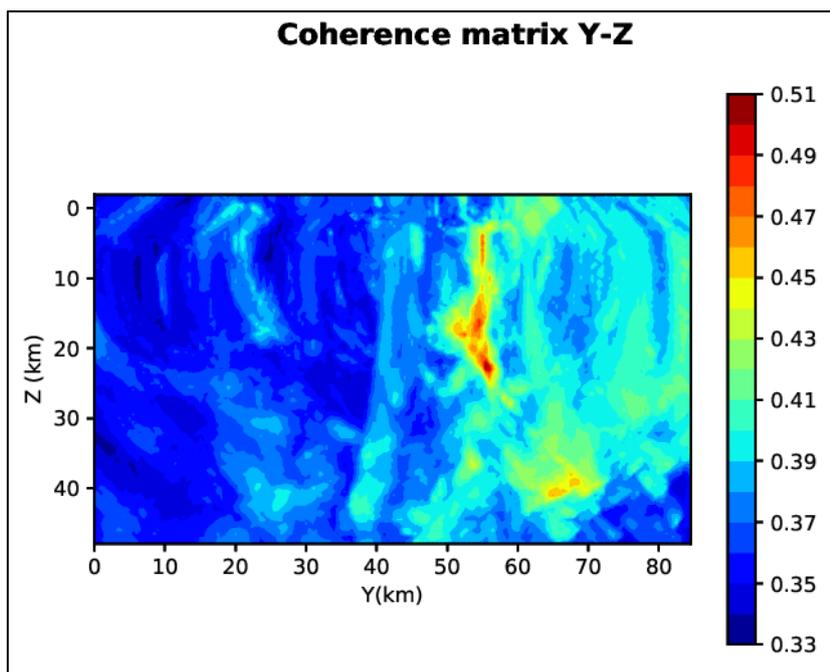


Figura 88: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.17. Evento 17: 30/12/2019 07:27:35 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
17	30/12/2019 07:27:35	40.48	15.93	16.06	1.75	1.6 ± 0.1	ACER MCEL MGR PTRP PZUN SLCN

In Figura 89 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

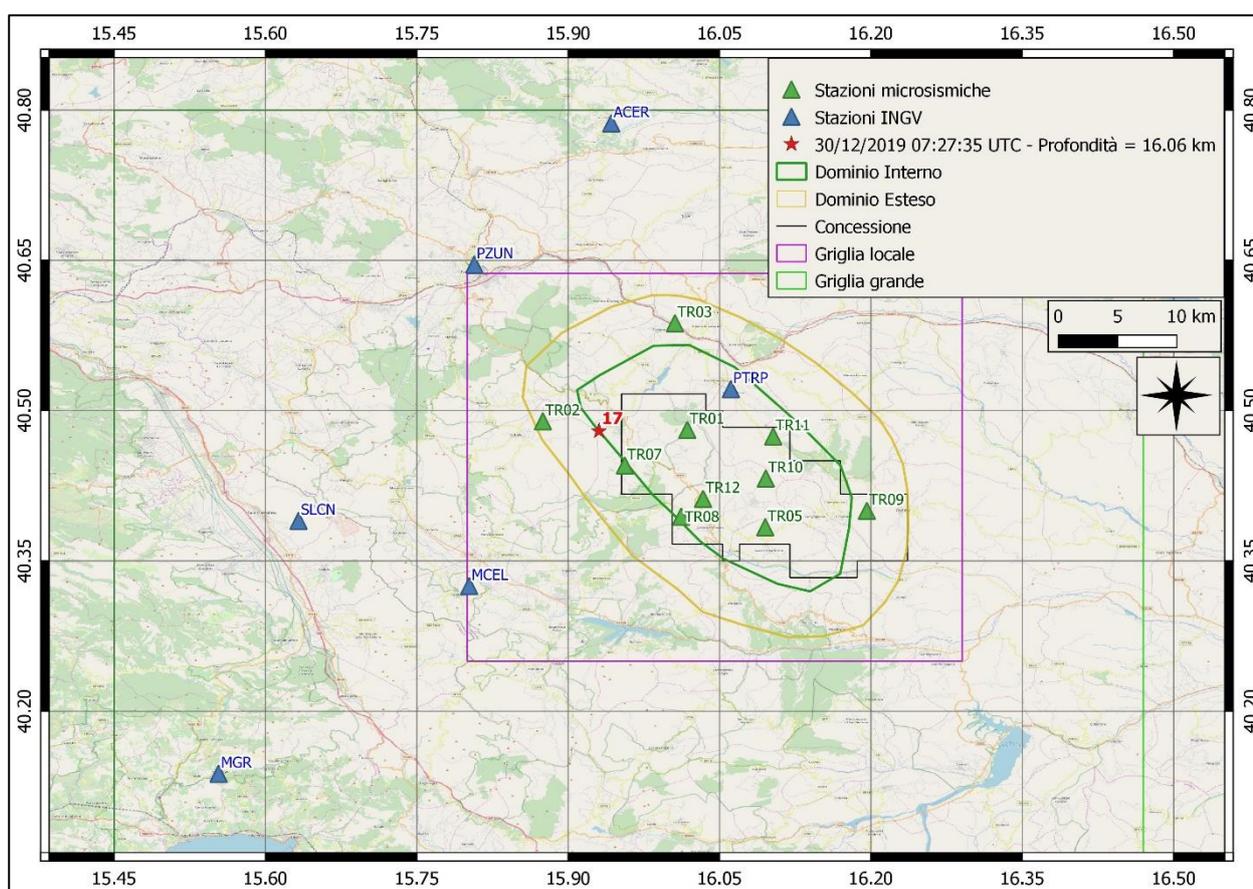
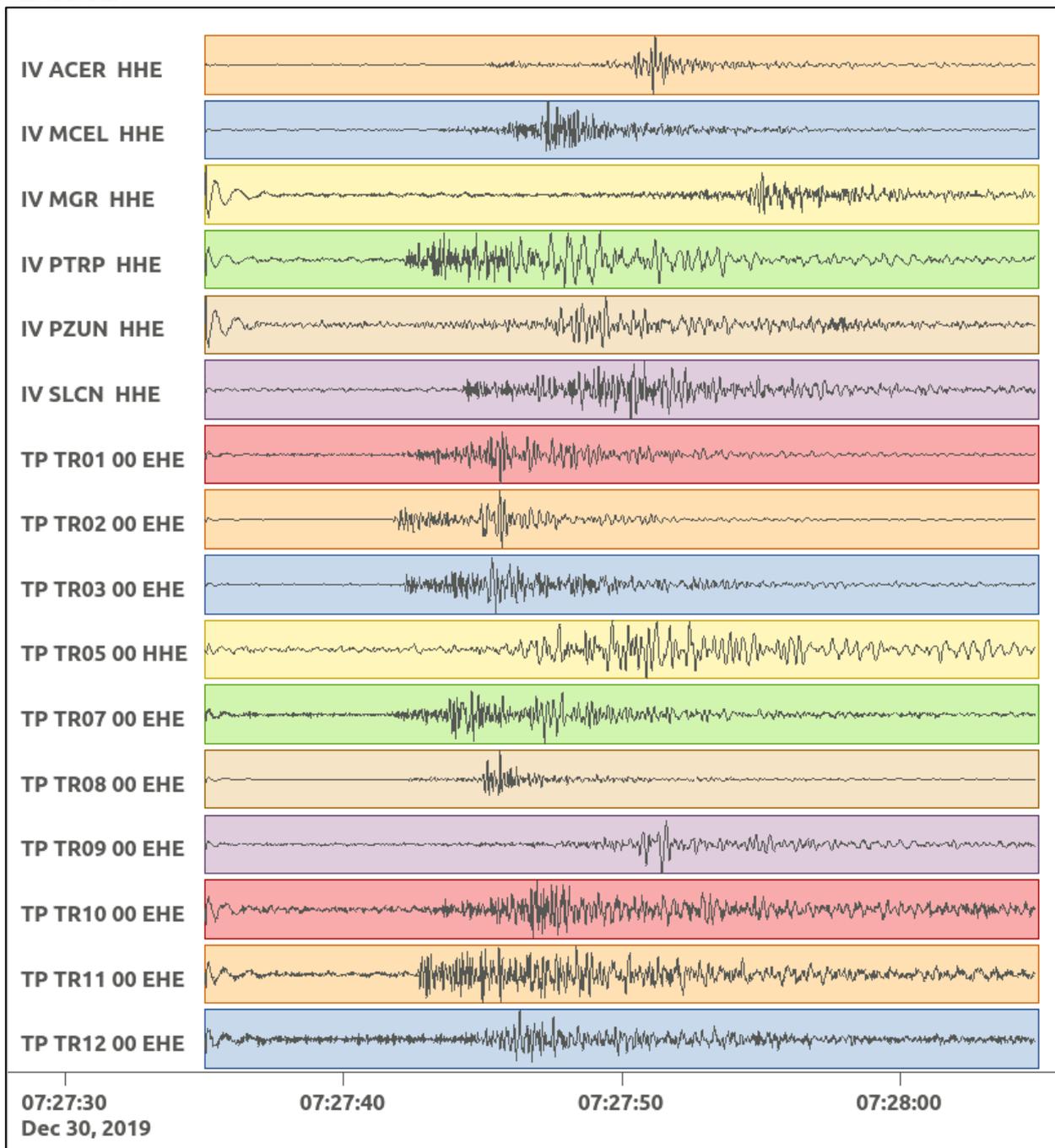
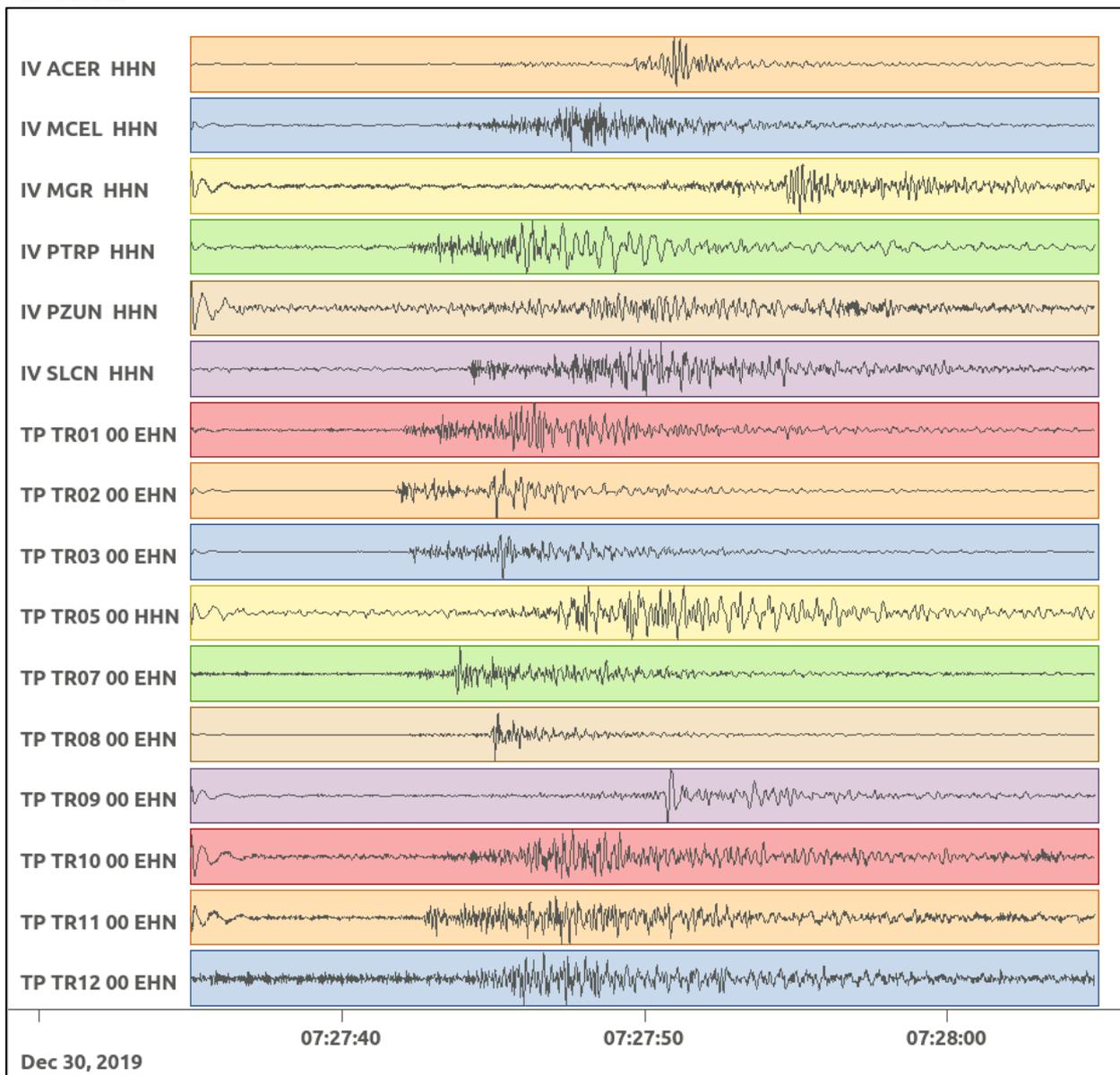


Figura 89: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 30/12/2019 07:27:35 UTC verificatosi a profondità 16.06 km

In Figura 90 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 17: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





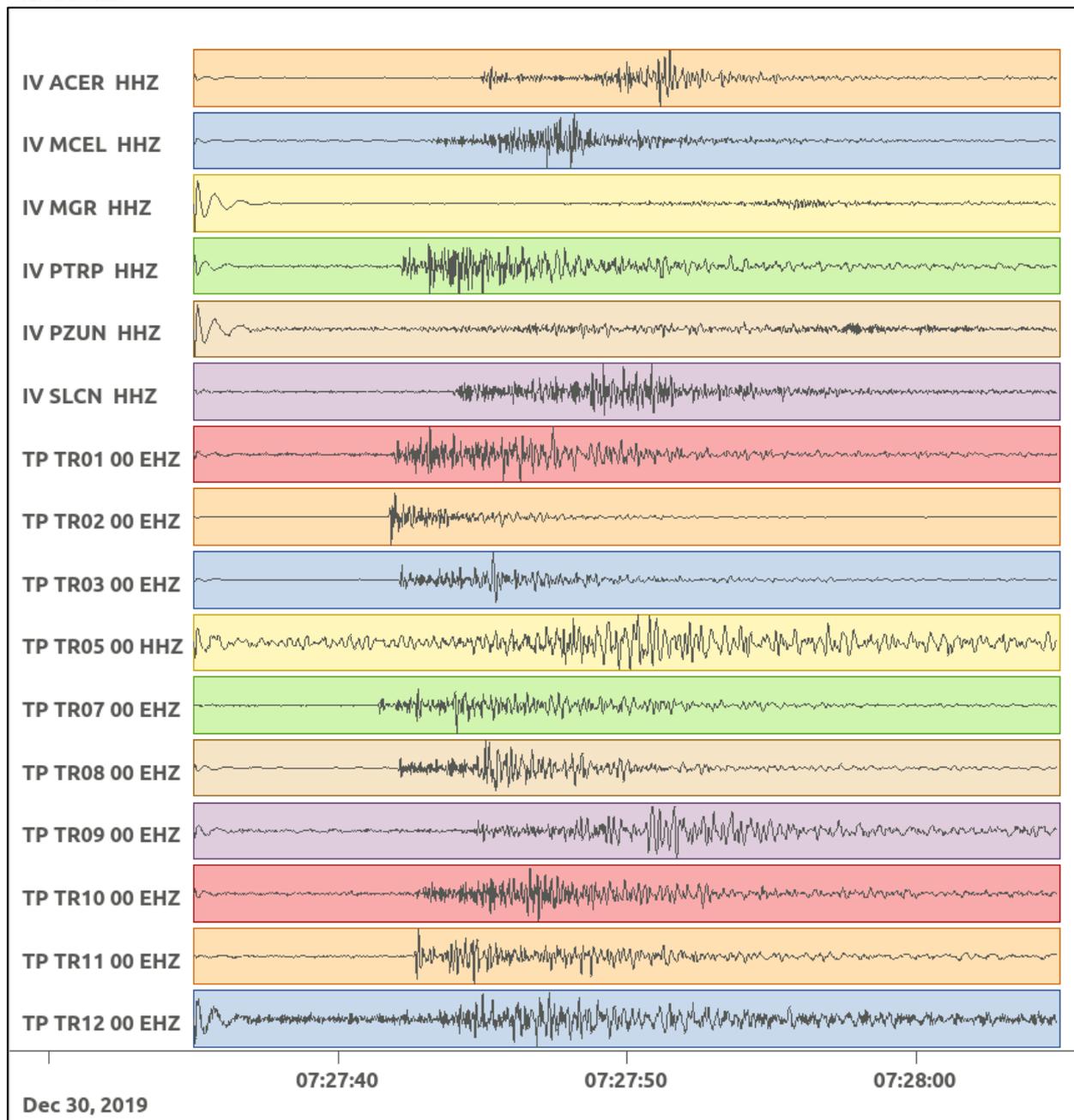


Figura 90: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 17, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

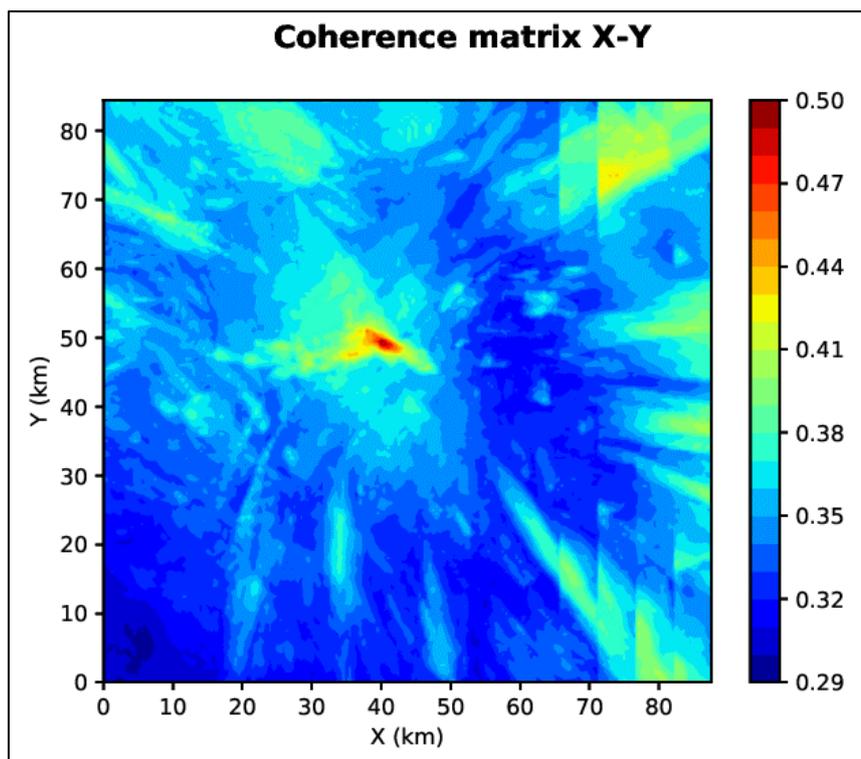


Figura 91: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

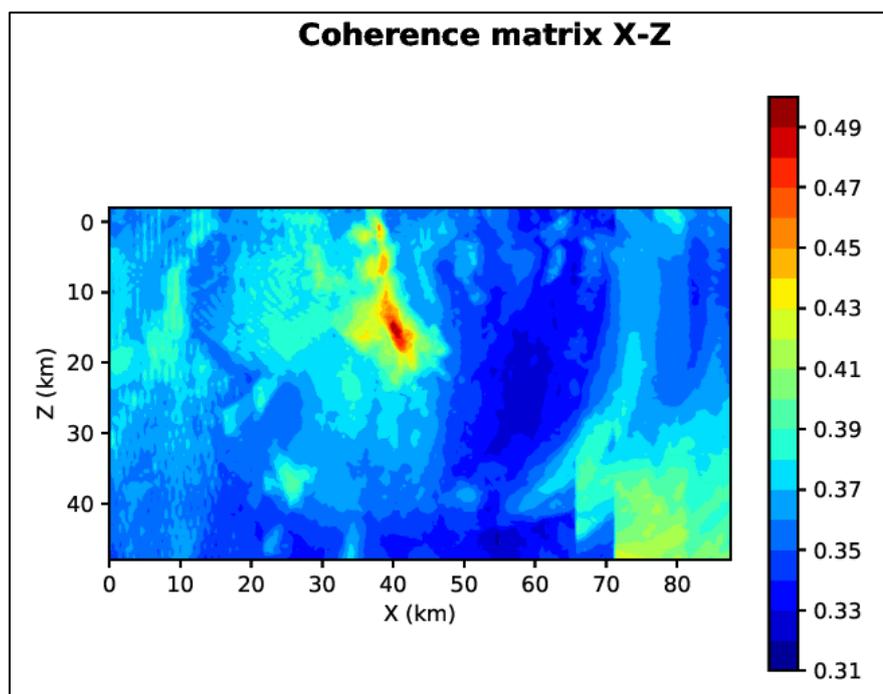


Figura 92: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

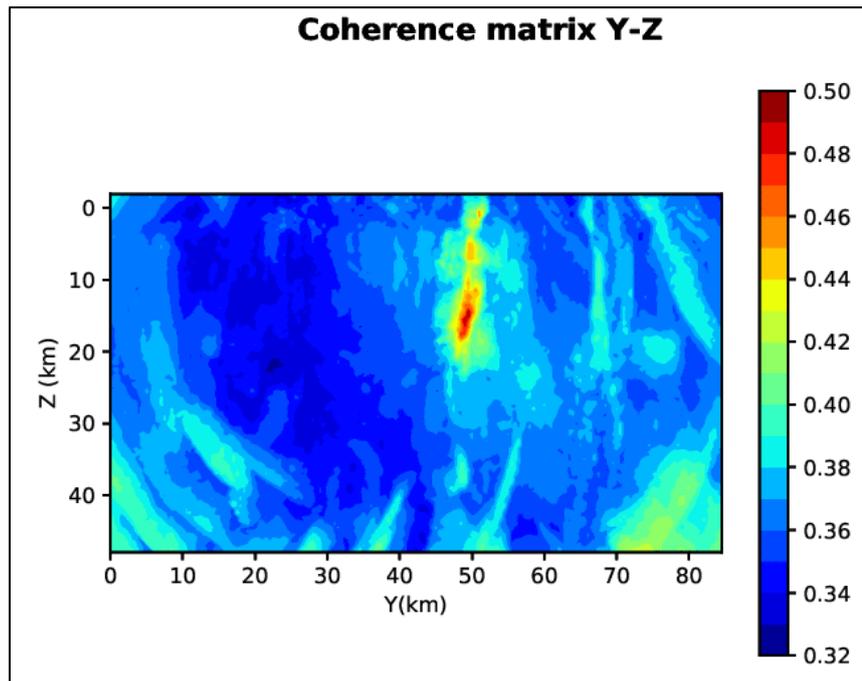


Figura 93: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

6.18. Evento 18: 31/12/2019 22:31:39 UTC

Id	Tempo Origine [gg/mm/aaaa hh:mm:ss UTC]	Lat. [°]	Long. [°]	Profondità [km]	Incertezza sulla localizzazione [km]	M _i	Stazioni INGV
18	31/12/2019 22:31:39	40.35	15.83	3.87	0.99	0.6 ± 0.1	ACER MCEL MGR SIRI SLCN

In Figura 94 sono mostrate le stazioni utilizzate per la localizzazione dell'evento sismico, l'epicentro e i limiti dei Domini di rilevazione e della Concessione.

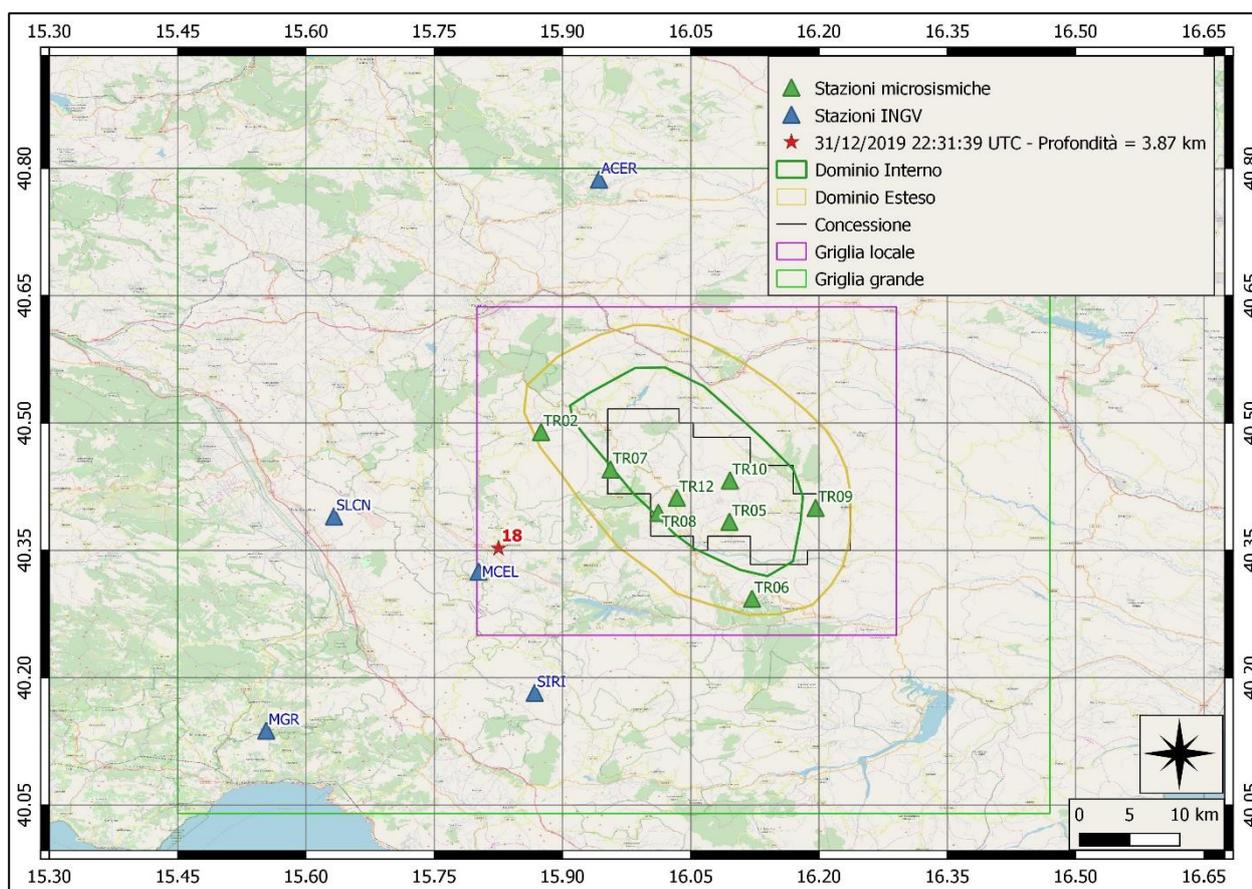
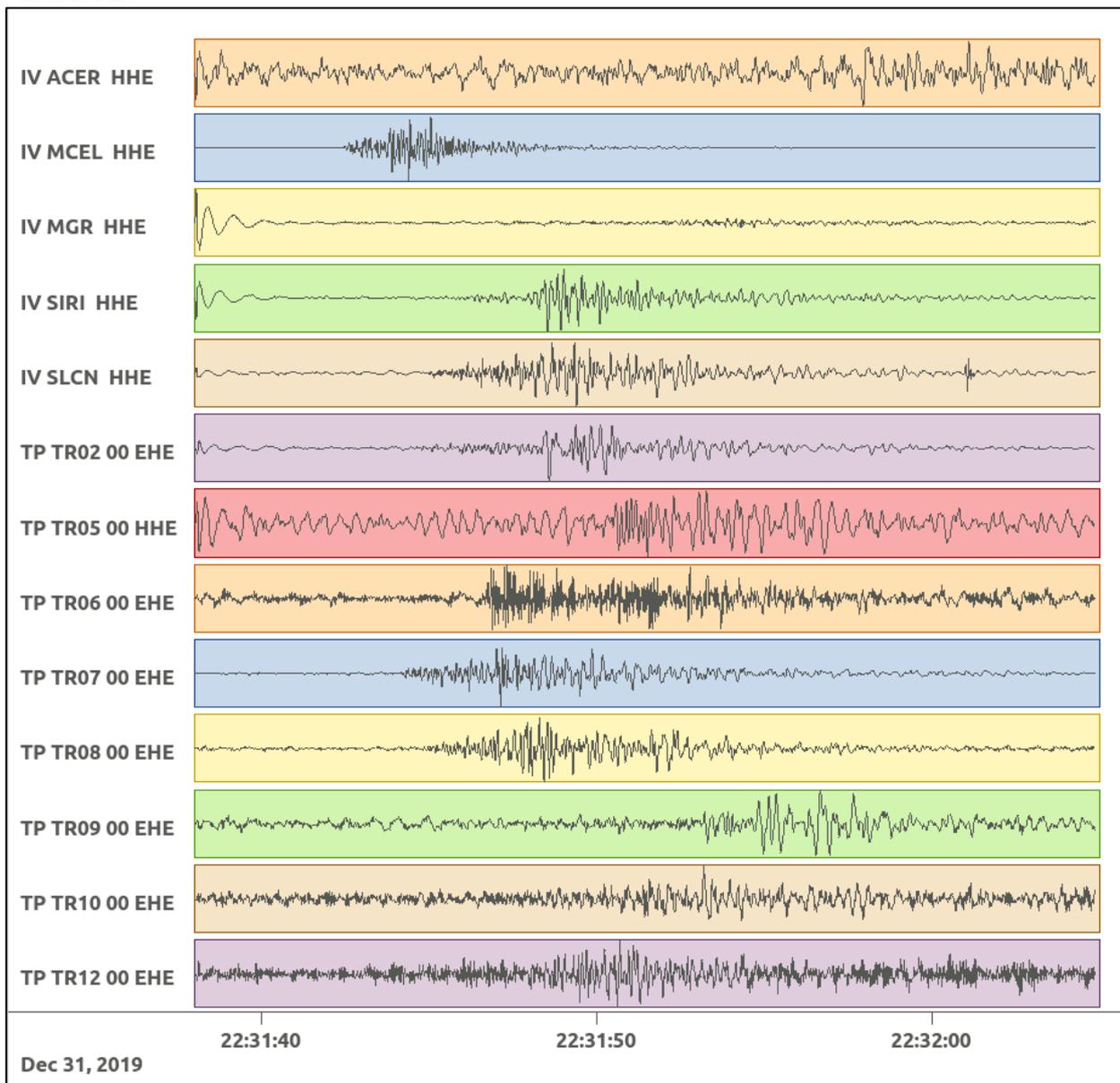
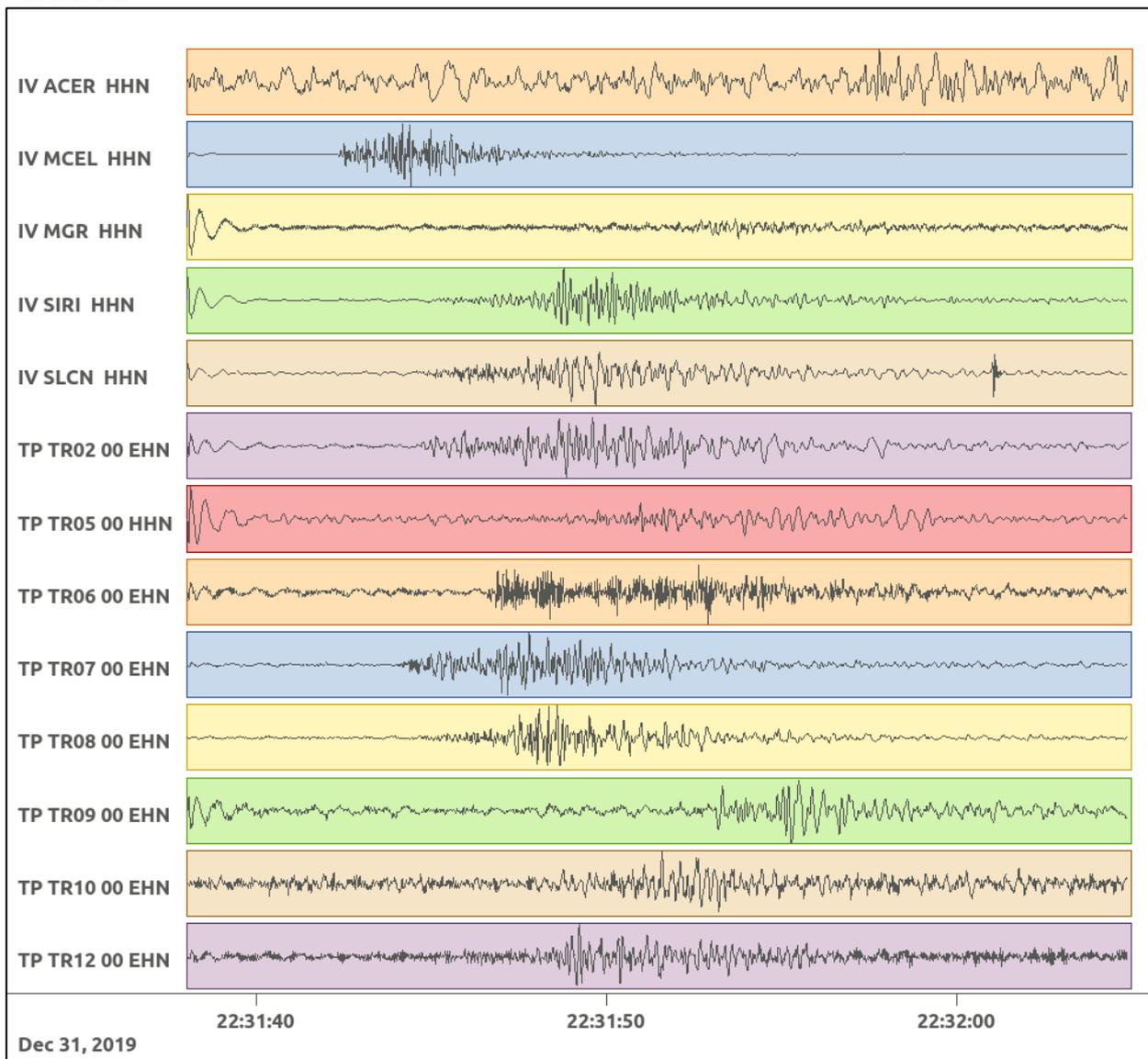


Figura 94: stazioni utilizzate per la localizzazione, epicentro dell'evento del 31/12/2019 22:31:39 UTC verificatosi a profondità 3.87 km

In Figura 95 sono mostrati i segnali acquisiti dalle stazioni usate per la localizzazione dell'evento 18: dall'alto verso il basso, componente E, N, Z.





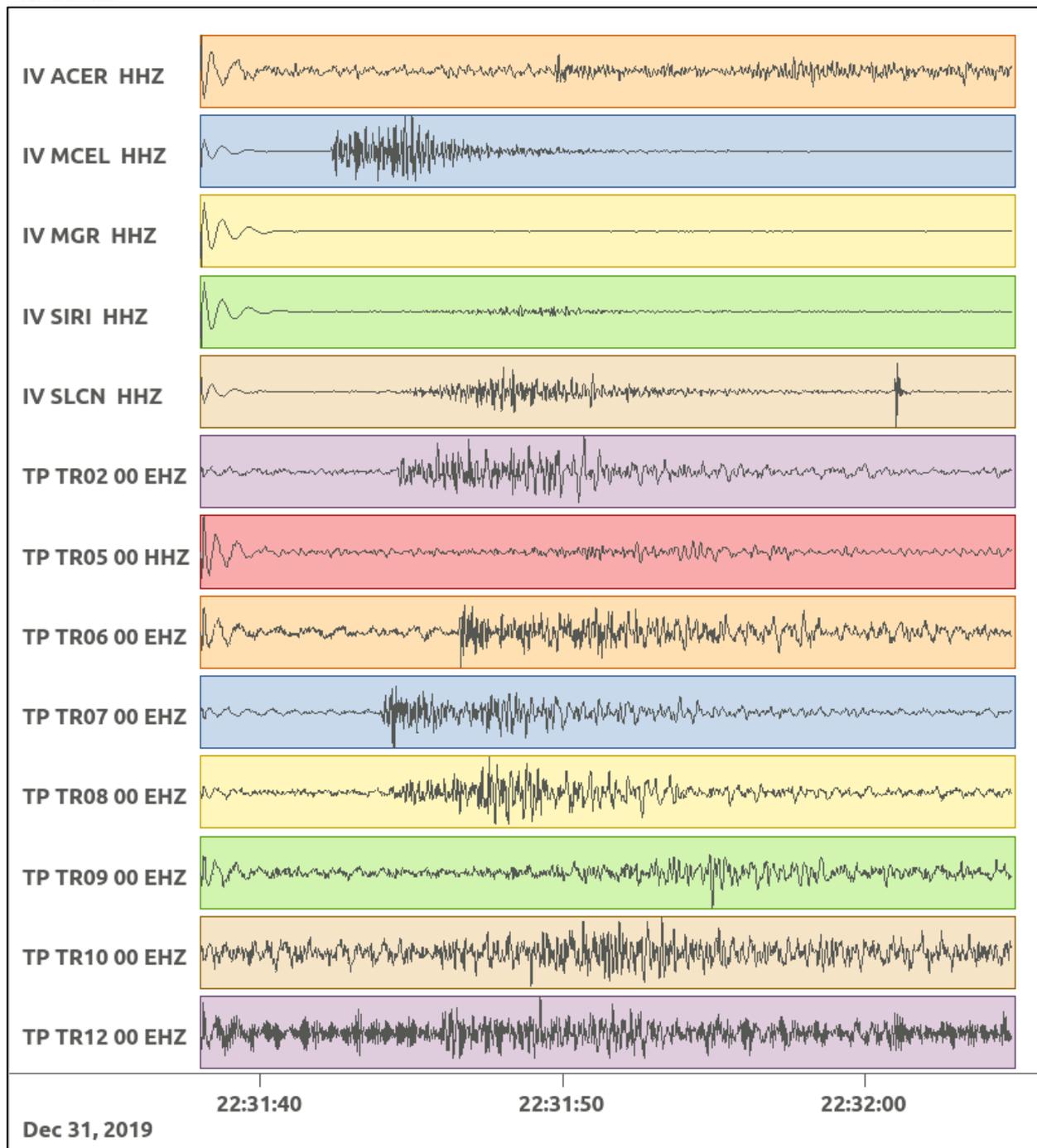


Figura 95: forme d'onda (segnale raw filtrato) dell'evento 18, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. Dall'alto, componenti E, N, Z.

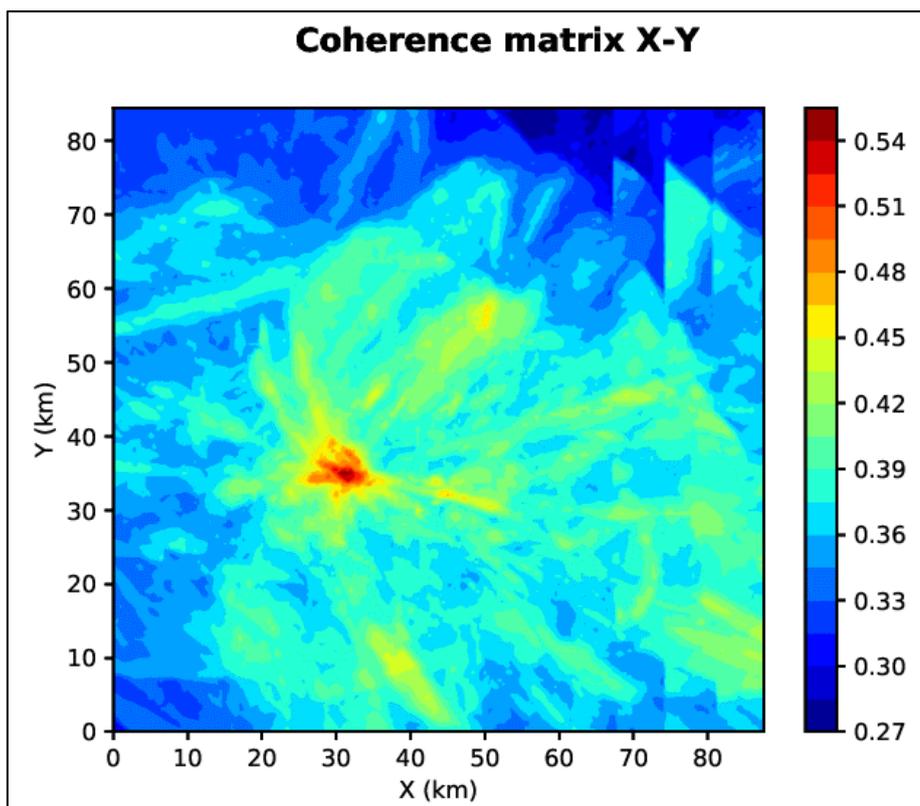


Figura 96: matrice di coerenza, piano X-Y. Lo zero degli assi è lo spigolo a sud-ovest della griglia grande.

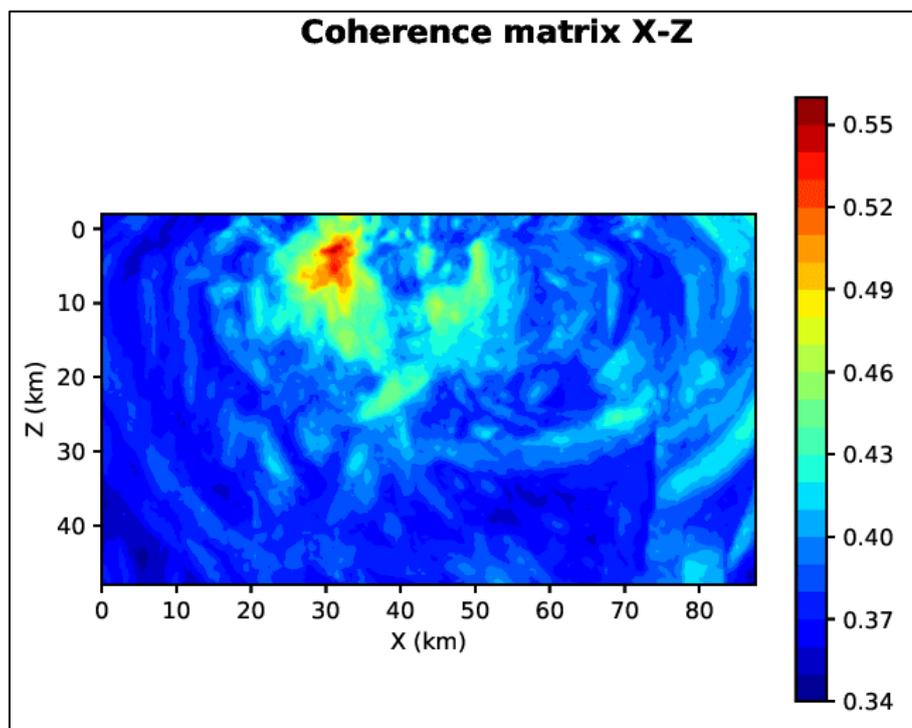


Figura 97: matrice di coerenza, piano X-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

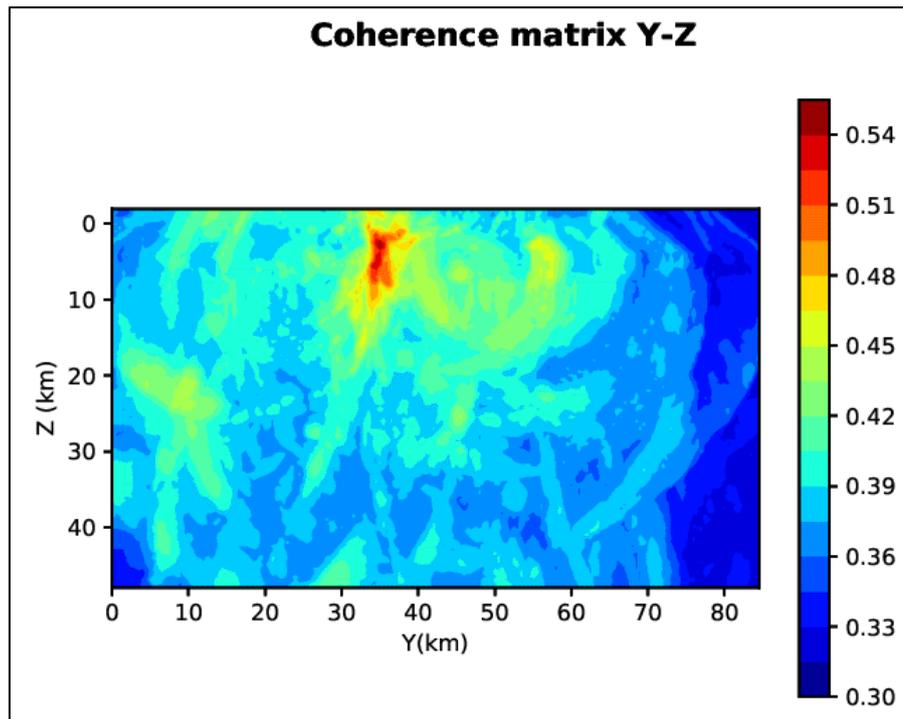


Figura 98: matrice di coerenza, piano Y-Z. Asse delle ordinate positivo verso il basso.

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 determinig 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