

Accordo Quadro 2024-2028

MiSE, Regione Basilicata, INGV, ENI, TotalEnergies

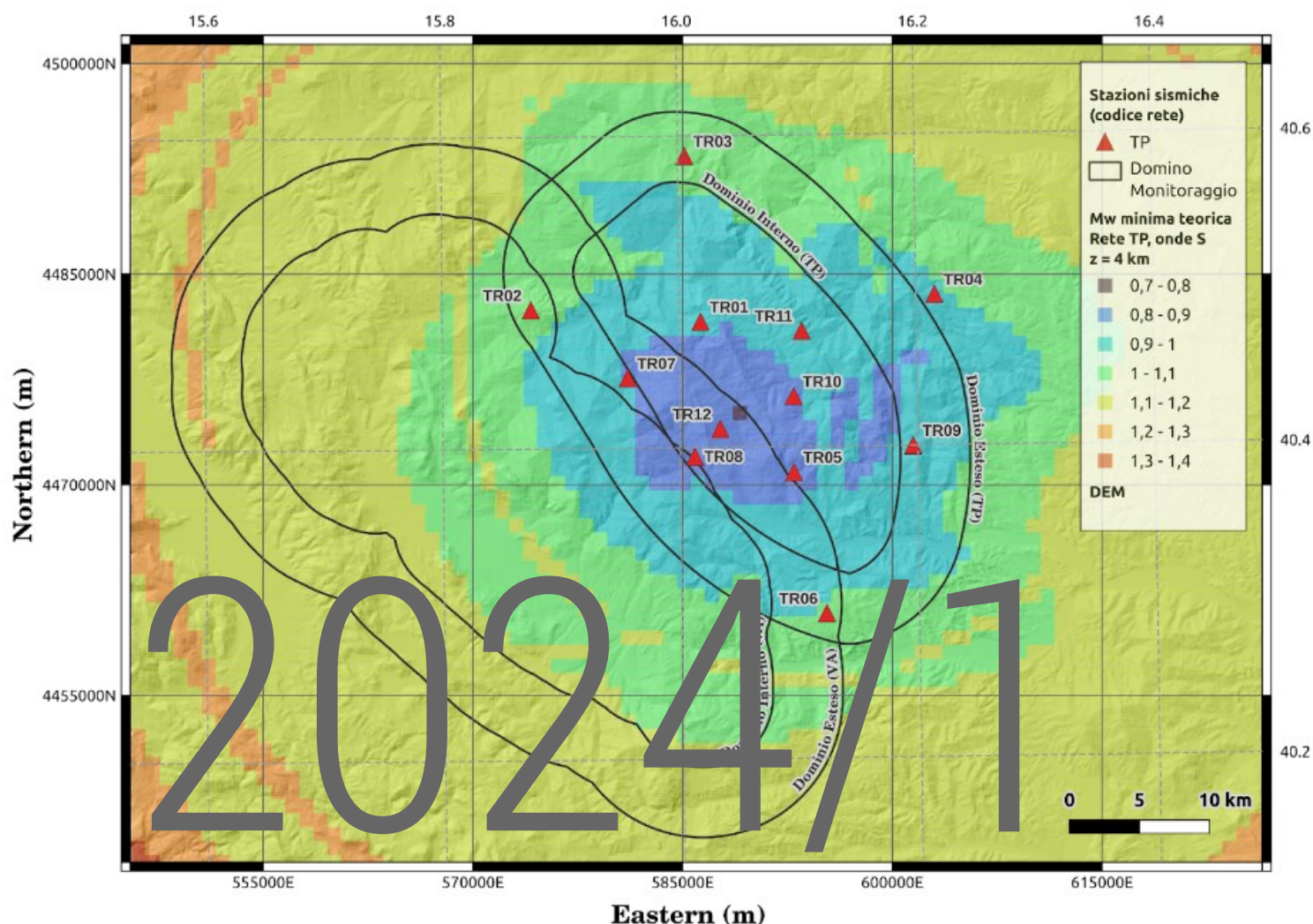
PROGETTO DI MONITORAGGIO INTEGRATO CONCESSIONI VAL D'AGRI E GORGOGNONE

Responsabili di Progetto: Thomas Braun, Alexander Garcia e Letizia Anderlini

Autori: A. Garcia, L. Anderlini, T. Braun, M. Errico, G. Zerbinato e M. Vassallo

Redazione: M. Errico

Revisione: G. Saccorotti e L. Zaccarelli



PREMESSA	5
1 TRASFERIMENTO DATI	7
1.1 TRASFERIMENTO DATI PREGRESSI DA ENI A INGV	7
1.2 TRASFERIMENTO DATI PREGRESSI DA TEPIT A INGV	7
2 PARAMETRI DI MONITORAGGIO	8
2.1 DEFINIZIONE PROVVISORIA DEI DOMINI DI RIFERIMENTO	8
2.2 SISTEMA A SEMAFORO: PARAMETRI, SOGLIE	9
3 VALIDAZIONE RETE SISMICA	11
3.1 DESCRIZIONE DELLA RETE SISMICA	11
3.2 SOGLIE DI DETEZIONE DALLO STUDIO DEL RUMORE SISMICO AMBIENTALE CONSIDERANDO RETI INDIPENDENTI ED INTEGRATE	14
3.2.1 Stazioni della rete VA considerata singolarmente	15
3.2.2 Stazioni della rete TP considerata singolarmente	16
3.2.3 Stazioni delle reti VA e TP integrate	18
3.2.4 Stazioni delle reti VA e TP integrate insieme a tutte le altre reti disponibili nella zona	19
3.3 CALCOLO DELLA MAGNITUDO DI COMPLETEZZA DAL CATALOGO SISMICO REGISTRATO	21
3.3.1 Stima della M_c nei domini di monitoraggio dai dati della RSN (INGV)	21
3.3.2 Stima della M_c nei domini di monitoraggio della rete VA	23
3.3.3 Stima della M_c nel dominio DR del pozzo Costa Molina2	24
3.3.4 Stima della M_c nei domini di monitoraggio della rete TP	24
4 VALIDAZIONE RETE GPS	29
4.1 DESCRIZIONE RETE GNSS	29
4.2 ANALISI DELLE INTERDISTANZE	31
4.3 ANALISI DELLA MONUMENTAZIONE DEI SITI GNSS	34
4.4 ANALISI DI QUALITÀ DEI DATI GPS	36
5 MONITORAGGIO SISMICO E ANALISI DATI	41
5.1 DISPONIBILITÀ DELLE STAZIONI	41
5.2 ANALISI DELLA SISMICITÀ LOCALIZZATA DALLA SPM NEI DOMINI DI MONITORAGGIO (DE, DI) DELLA CONCESSIONE VAL D'AGRI: 15 APRILE - 15 OTTOBRE 2024	43
5.3 DOMINIO DI RIFERIMENTO INTORNO AL POZZO DI REINIEZIONE CM2	47
5.4 VALORI DI PGA E PGV REGISTRATI NEI DOMINI DI MONITORAGGIO DELLA CONCESSIONE VAL D'AGRI	50
5.5 ANALISI DELLA SISMICITÀ LOCALIZZATA DALLA SPM NEI DOMINI DI MONITORAGGIO (DE, DI) DELLA CONCESSIONE GORGOGNONE: 15 APRILE - 15 OTTOBRE 2024	51
5.6 VALORI DI PGA E PGV REGISTRATI NEI DOMINI DI MONITORAGGIO DELLA CONCESSIONE GORGOGNONE	57
6 MISURE DI DEFORMAZIONE	59
6.1 ELABORAZIONE DEL DATO	60
6.2 SERIE TEMPORALI DI SPOSTAMENTO	61
6.3 CAMPO DI VELOCITÀ	64
6.4 CONSIDERAZIONI FINALI	67
6.4.1 Rete Val d'Agri	67
6.4.2 Rete Gorgoglione	68
7 DATI DI PRESSIONE E PORTATA	70
7.1 PRODUZIONE IN VA	70
7.2 PRESSIONE E PORTATA IN CM2	72
7.3 PRODUZIONE IN TP	74
8 COMUNICAZIONE E DISSEMINAZIONE	76
	3

9	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	78
	APPENDICE A – SOGLIE DI DETEZIONE DALLO STUDIO DEL RUMORE SISMICO AMBIENTALE CONSIDERANDO RETI INDIPENDENTI ED INTEGRATE	81
	A.1 STAZIONI DELLA RETE VA CONSIDERATA SINGOLARMENTE - PROFONDITÀ 0-10 KM	81
	A.2 STAZIONI DELLA RETE TP CONSIDERATA SINGOLARMENTE - PROFONDITÀ 0-10 KM	86
	A.3 STAZIONI DELLE RETI VA E TP INTEGRATE	91
	A.4 STAZIONI DELLE RETI VA E TP INTEGRATE INSIEME A TUTTE LE ALTRE RETI DISPONIBILI NELLA ZONA	96
	APPENDICE B – PARAMETRI DI QUALITÀ PER LE STAZIONI DELLE RETI GNSS ENI E TEPIT	101
	APPENDICE C – BOLLETTINO DI MONITORAGGIO SISMICO (VAL D'AGRI E GORGOGNONE)	115
	APPENDICE D – SERIE TEMPORALI DI SPOSTAMENTO PER LE STAZIONI DELLE RETI GNSS ENI E TEPIT RISPETTO IL SISTEMA DI RIFERIMENTO EURASIA FISSO	117
	APPENDICE E – DISPONIBILITÀ DEI DATI NEGLI ULTIMI SEI MESI DELLE STAZIONI DELLE RETI SISMICHE ENI E TEPIT	130
	DISPONIBILITÀ DATI RETE ENI	130
	DISPONIBILITÀ DATI RETE TEPIT	136
	APPENDICE F – SEZIONI VERTICALI DELLA SISMICITÀ LUNGO ALTRI PROFILI NEI DOMINI DI MONITORAGGIO DELLA CONCESSIONE VAL D'AGRI	139
	GLOSSARIO	141
	BIBLIOGRAFIA	143
	ELENCO DELLE FIGURE	145
	ELENCO DELLE TABELLE	153

Accordo Quadro 2024-2028
MiSE, Regione Basilicata, INGV, ENI

PROGETTO DI MONITORAGGIO INTEGRATO
CONCESSIONI VAL D'AGRI E GORGOGLIONE
Relazione semestrale n.1

Alexander Garcia¹, Letizia Anderlini¹, Thomas Braun^{2,3}, Maddalena Errico¹, Giampaolo Zerbinato¹, Maurizio Vassallo³

¹ INGV, Sezione di Bologna, Italia; ² INGV, Osservatorio Sismologico Arezzo Italia;

³ INGV, Sezione di Roma 1, Italia.

27/11/2024

Premessa

La presente relazione descrive le attività nell'ambito del Progetto di Monitoraggio che l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) è designato a svolgere in conformità agli "Indirizzi e Linee Guida per il Monitoraggio della sismicità delle deformazioni del Suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche" (ILG) nell'area di concessione della Val d'Agri.

Per completezza si ripercorre la cronologia essenziale:

- In data 25/01/2017 è stato sottoscritto l'Accordo Quadro (AQ Rep n. 28) tra il Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE), Regione Basilicata (RB) e INGV nel quale INGV viene nominato Struttura Preposta al Monitoraggio (SPM) per la concessione di idrocarburi in Val d'Agri (VA) da intendersi come da ILG.
- In data 30/03/2020 con nota di Prot. n. INGV 0003997, INGV ha recepito la proroga dell'AQ fino al 25/04/2022.
- Nel biennio 26/04/2019 - 25/04/2021 è stata realizzata la fase di sperimentazione degli ILG per la concessione VA. Causa situazione pandemica (COVID-19) è stato ritenuto opportuno, e di comune accordo tra i soggetti coinvolti, di estendere la

fase di sperimentazione di ulteriori 12 mesi, fino al 25/04/2022 per assicurare continuità alle necessarie attività di monitoraggio.

- In data 29/03/2021 sono formalmente iniziati i turni di reperibilità presso la Sala di Monitoraggio del CMS per la sorveglianza sismica delle aree di concessione. L'obbligo del monitoraggio da parte della SPM termina in data 25/04/2022 con la fine del periodo della sperimentazione.
- In data 16/02/2022, nell'ambito della riunione di Comitato, il MiTE propone, e le parti presenti confermano la propria disponibilità, per l'unificazione dei Comitati per il monitoraggio delle concessioni attigue Val d'Agri e Gorgoglione, e la stipula di un Accordo Quadro congiunto.
- In data 16 Maggio 2023 viene firmato "l'ACCORDO QUADRO per l'applicazione integrata degli Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro – (ILG) alle concessioni di coltivazione di idrocarburi denominate "Val d'Agri" e "Gorgoglione" in Basilicata".
- In data 11/04/2024, la Giunta Regionale firma l'approvazione dell'accordo "per l'applicazione integrata degli ILG alle concessioni di coltivazione di idrocarburi denominate "VAL D'AGRI" e "GORGOGLIONE" in Basilicata; e approva lo schema di protocolli tra Regione, Concessionari e INGV. Tale data rappresenta l'inizio dell'applicazione degli ILG per il monitoraggio delle concessioni in Basilicata e la ripresa dei turni di reperibilità presso la Sala di Monitoraggio del CMS per la sorveglianza sismica delle aree di concessione.

Trattandosi del primo rapporto semestrale redatto nell'ambito dell'ultimo AQ attualmente in vigore, l'obiettivo principale di questa relazione riguarda principalmente la validazione delle reti di monitoraggio integrate secondo i requisiti richiesti dagli ILG, sia per la rete sismica che per quella geodetica. Inoltre sono riportati anche i risultati del monitoraggio dei primi sei mesi di progetto.

1 Trasferimento dati

1.1 Trasferimento dati pregressi da ENI a INGV

Data	Evento
11 Luglio 2022	Trasmissione dati CGPS aggiornati al 30/06/2022
24 Gennaio 2023	Trasmissione dati CGPS aggiornati al 31/12/2022
18 Luglio 2023	Trasmissione dati CGPS aggiornati al 30/06/2023
26 Gennaio 2024	Trasmissione dati CGPS aggiornati al 31/12/2023
29 Gennaio 2024	Trasmissione dati InSAR per il periodo 01/2012-04/2023 (RADARSAT-2) e 10/2014-05/2023 (SENTINEL-1)
09 Maggio 2024	Trasmissione tramite server ftp in tempo reale dei dati CGPS disponibili dal 01 marzo 2024 in poi
27 Maggio 2024	Trasmissione dati CGPS aggiornati al 29/02/2024
Dal 28 Maggio 2024	Trasmissione quotidiana dei parametri di reiniezione al pozzo CM2
Dal 10 Luglio 2024	Trasmissione quotidiana dei parametri di produzione di Olio, gas, acqua
23 Settembre 2024	Trasmissione dei parametri di reiniezione al pozzo CM2 pre-trasmissione quotidiana
26 Ottobre 2024	Trasmissione delle coordinate dei pozzi di produzione

1.2 Trasferimento dati pregressi da TEPIT a INGV

Data	Evento
31 Luglio 2024	Trasmissione di dati richiesti dalla SPM (prot. Prot. 000868/24 di TotalEnergies, TEPIT): ➤ Ubicazione dei pozzi di estrazione ➤ Ubicazione delle stazioni della rete sismica, rapporto di installazione, metadati e certificazioni ➤ Ubicazione delle stazioni della rete geodetica, rapporto di installazione, certificazioni ➤ Caratteristiche geometriche del giacimento ➤ Delimitazione dei Domini di Monitoraggio come elaborati dalla scrivente ad uso interno nelle more della definizione prevista dagli ILG ➤ Figure a supporto
26 Settembre 2024	Trasmissione dati InSAR per il periodo 04/2015-06/2024 (SENTINEL-1)
15 ottobre 2024	Trasmissione di dati di produzione e pressioni (pozzi), Prot. 001148/24 di TotalEnergies)

2 Parametri di monitoraggio

Gli ILG prescrivono la redazione di un Documento di Gestione Operativa del Monitoraggio (DGOM) che specifica i parametri di monitoraggio per ogni singola concessione. Precedentemente alla ratifica del DGOM, come per esempio durante le fasi di esplorazione o di sperimentazione, sono gli ILG a definire le modalità di monitoraggio delle deformazioni del suolo, della pressione di poro e dell'attività sismica nelle vicinanze delle operazioni. I primi due task hanno l'obiettivo di controllare variazioni spazio-temporali a medio-lungo termine rispetto a dei valori di fondo (*background*), mentre il monitoraggio della sismicità deve essere realizzato e comunicato in tempo quasi-reale (entro 24/48 ore). Generalmente il monitoraggio sismico si avvale di un sistema a semaforo (*Traffic Light System* - TLS) che ha l'obiettivo di calcolare e comunicare alcuni parametri di monitoraggio (*communication scheme*), utili a variare i parametri operativi della concessione ai fini di limitare il verificarsi di eventi sismici di origine antropogenica (*reaction scheme*).

La struttura di un sistema a semaforo è oggetto di regolamentazioni nazionali o regionali e si basa sui seguenti parametri:

- Domini di monitoraggio
- Parametri sismici
- Livelli e colori di allerta (*threshold level*)

2.1 Definizione provvisoria dei domini di riferimento

Nelle more della definizione del “Documento di Gestione Operativa del Monitoraggio”, sono stati adottati dei domini di monitoraggio prendendo in considerazione definizioni già esistenti. I domini considerati sono riportati nella Figura 2.1; in particolare, per la concessione Val d'Agri sono stati utilizzati i domini definiti nella fase di sperimentazione per i quali si rimanda ai rapporti relativi a tale periodo. Per la concessione Gorgoglione sono stati adottati i domini preventivamente definiti dall'operatore, TotalEnergies. In questo caso, data la geometria del giacimento e nell'assenza di una definizione del “*oil-water contact*”, l'operatore ha definito i domini prendendo in considerazione l'intersezione tra le faglie che delimitano il giacimento (Thrust W, Thrust E, F17, e F18), ed il top della piattaforma Apula. È importante sottolineare che una definizione condivisa dei domini di monitoraggio è rimandata alla fase di preparazione dei DGOM.

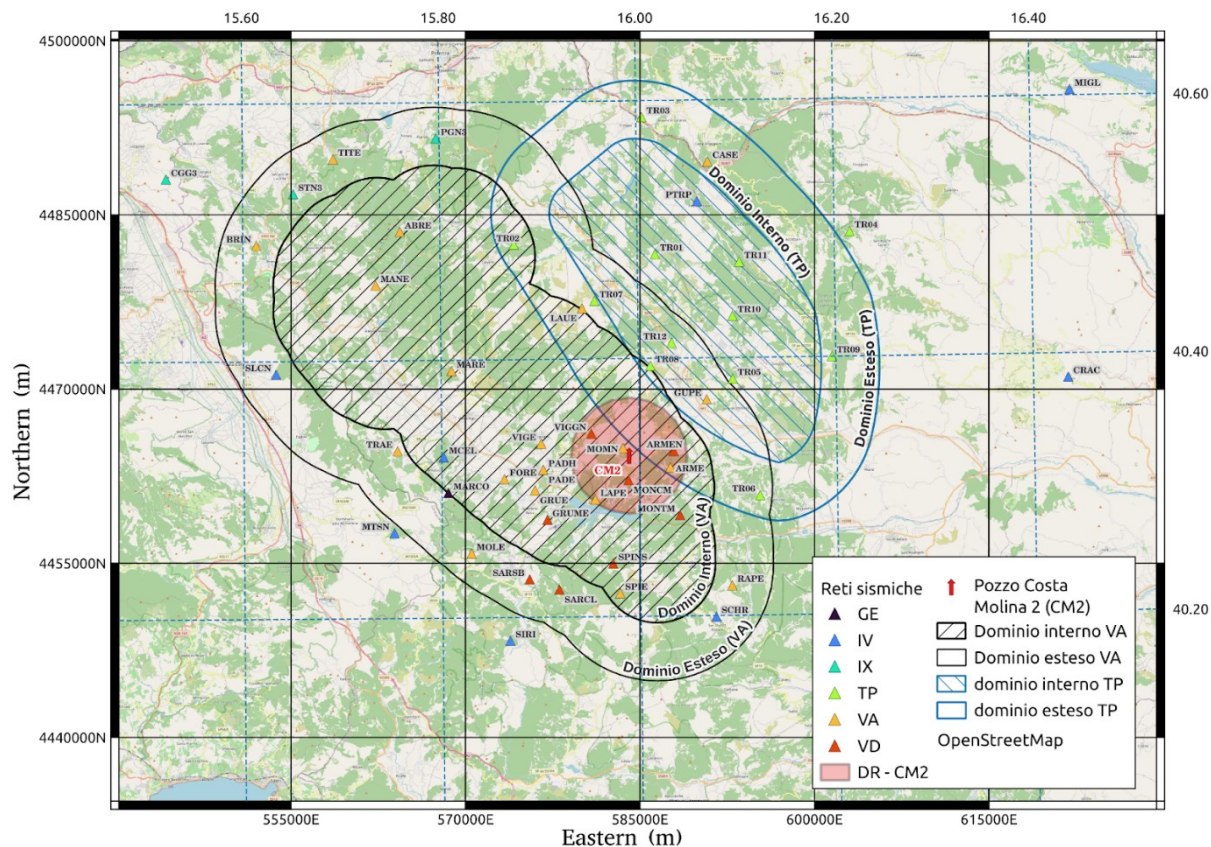


Figura 2.1. Domini di monitoraggio provvisori adottati in questo rapporto (DI, DE e DR per la concessione Val d'Agri, e DI e DE per la concessione Gorgoglione), e mappa delle stazioni sismiche attive nell'area del monitoraggio in Basilicata. La rete integrata è composta da stazioni delle reti VA (Eni spa), TP (TotalEnergies spa), IV (INGV - rete sismica nazionale), GE (GFZ), VD (CNR), e IX (U. Federico II di Napoli).

2.2 Sistema a semaforo: Parametri, Soglie

Il sistema di gestione del monitoraggio proposto negli ILG si basa sull'implementazione di un sistema a semaforo (*Traffic Light System*, TLS) che, in linea generale, si avvale dei seguenti parametri sismici:

- Coordinate ipocentrali (per valutare la localizzazione della sorgente sismica rispetto ai domini del monitoraggio).
- Magnitudo dell'evento (M_L , M_W).
- *Peak Ground Velocity* (PGV) - ampiezza massima della velocità del moto del suolo.
- *Peak Ground Acceleration* (PGA) - ampiezza massima dell'accelerazione del moto del suolo.
- Intensità macrosismica.

La scelta di quali dei parametri sismici siano da includere nella definizione di un TLS dipende sia dalle condizioni geodinamiche e geomeccaniche del sito, sia da regolamentazioni amministrative specifiche e possono variare da concessione a

concessione. Come esempio, in Germania la legge nazionale sulle miniere si basa esclusivamente su PGV e non include la magnitudo. La PGV viene misurata a stazioni singole e fornisce un'informazione solamente al sito di misura, che può essere anche soggetto a fenomeni di amplificazione locale. Il calcolo della magnitudo si basa sull'ampiezza del moto del suolo rilevato a multiple stazioni ed è un parametro per la stima dell'energia della sorgente sismica. La magnitudo assume un ruolo importante, se misure di PGV non sono disponibili. In tal caso può essere utile rilevare l'intensità del risentimento (EMS98). Nel caso che singoli valori di PGV superino un livello di attivazione del TLS, può essere utile consultare la magnitudo per una verifica del livello di allerta.

Il TLS proposto dagli ILG si basa sulle coordinate ipocentrali rispetto ai domini di monitoraggio (interno o esterno al DI), la magnitudo, PGV e PGA, con dei livelli di soglia in genere definire caso per caso. Tuttavia, gli ILG suggeriscono alcune soglie generiche per le attività di reiniezione che sono presentate nella Figura 2.2. E' sufficiente che uno dei parametri misurati superi il valore limite di allerta (*threshold*) per dichiarare il livello successivo.

Figura 2.2. Livelli di attivazione e parametri sismici definiti negli ILG [Dialuce et al., 2014], §9 Tabella 3. Nel documento originale l'unità fisica di PGV è stata erroneamente indicata in cm/s^2 (Dialuce et al., 2014).

Livello di attivazione	Semaforo	$M_{\max}$	PGA (% g)	PGV (cm/s)
0	Verde	$M_{\max} \leq 1.5$	-	-
1	Giallo	$M_{\text{verde}} \leq M_{\max} \leq 2.2$	0.5	0.4
2	Arancio	$M_{\text{giallo}} \leq M_{\max} \leq 3.0$	2.4	1.9
3	Rosso	$M_{\text{arancio}} < M_{\max}$	6.7	5.8

I quattro livelli del TLS (schema di comunicazione) possono essere riassunti in maniera sintetica, come segue (Dialuce et al., 2014):

- **Ordinario** – modo operativo normale.
- **Attenzione** – segnalazione superamento livello di soglia 0.
- **Riduzione** – riduzione della pressione/portata.
- **Sospensione** – Stop o interruzione della reiniezione.

3 Validazione rete sismica

Gli ILG prevedono che “Dopo due anni consecutivi di attività, la SPM valuterà le prestazioni della rete di monitoraggio ed eventuali criticità del sistema di analisi ed elaborazione dei dati adottato” (§ 5.3, ILG).

In particolare la rete di monitoraggio sismico deve essere in grado di:

- “1. nel *dominio interno di rilevazione* (DI), rilevare e localizzare i terremoti a partire da magnitudo locale M_L compresa tra 0 e 1 ($0 \leq M_L \leq 1$) e con incertezza nella localizzazione dell'ipocentro di alcune centinaia di metri;
2. nel *dominio esteso di rilevazione* (DE), migliorare di circa 1 unità il livello di magnitudo di completezza delle rilevazioni effettuate dalle reti nazionali o regionali che svolgono servizio di monitoraggio sismico per finalità di protezione civile a livello nazionale o regionale, con incertezza nella localizzazione dell'ipocentro contenuta entro circa 1 km;
3. determinare l'accelerazione e la velocità del moto del suolo provocata da eventuali terremoti (deboli e forti) presso i punti di misurazione;
4. integrarsi opportunamente con le reti di monitoraggio esistenti (ovvero: rete nazionale, reti regionali e ulteriori eventuali reti locali) al fine di migliorare l'accuratezza e la completezza della rilevazione della sismicità.” (§ 5.3, ILG)

3.1 Descrizione della rete sismica

In accordo con quanto disposto al § 5.3, punto 4 degli ILG, la SPM acquisisce in tempo reale presso la Sala di Monitoraggio del CMS i dati in continuo di tutte le reti pubbliche presenti nell'area, oltre a quelli delle reti sismiche installate dai concessionari.

Allo stato attuale il monitoraggio sismico nei domini relativi all'Accordo Quadro per l'applicazione integrata degli ILG alle concessioni di coltivazione di idrocarburi “Val d'Agri” e “Gorgoglione”, in Basilicata (nel seguito AQ), è costituita da 57 stazioni sismiche che appartengono a 6 reti diverse. L'elenco completo è riportato in Tabella 3.1 e la loro posizione è visibile nella mappa di Figura 2.1. Si tratta di 21 stazioni della rete VA (rete di proprietà Eni, dedicata al monitoraggio della concessione Val d'Agri, e di cui una, PADH, in pozzo), 12 stazioni della rete TP (rete di proprietà TotalEnergies, dedicata al monitoraggio della concessione Gorgoglione), e altre 25 stazioni da altre reti pubbliche e/o di ricerca: 12 stazioni della rete IV, rete sismica nazionale dell'INGV; 8 stazioni della rete VD, *High Agri Valley geophysical Observatory* del CNR; 4 stazioni

della rete IX (Gestite dall'Università Federico II di Napoli); e 1 stazione della rete GE (gestita dal GFZ - Potsdam).

Tabella 3.1. Stazioni sismiche impiegate nel monitoraggio sismico in Basilicata, tranne la stazione ANZE che non è stata utilizzata per le analisi di questo report.

Stazione	Latitudine (°N)	Longitudine (°E)	Quota (m)	Rete
ABRE	40.5000	15.7594	1542	VA
ANZE	40.5218	15.9125	999	VA
ARME	40.3153	16.0311	989	VA
BRIN	40.4900	15.6136	935	VA
CASE	40.5522	16.0722	703	VA
FORE	40.3075	15.8631	570	VA
GRUE	40.2986	15.8939	550	VA
GUPE	40.3678	16.0686	674	VA
LAUE	40.4394	15.9433	1090	VA
LAPE	40.2910	15.9549	568	VA
MANE	40.4586	15.7344	1188	VA
MARE	40.3917	15.8106	1061	VA
MOLE	40.2500	15.8292	1153	VA
MOMN	40.3306	15.9834	1157	VA
PADE	40.3144	15.9025	610	VA
PADH	40.3144	15.9025	470	VA
RAPE	40.2232	16.0923	769	VA
SPIE	40.2181	15.9789	1319	VA
TITE	40.5567	15.6922	676	VA
TRAE	40.3299	15.7553	714	VA
VIGE	40.3347	15.9006	816	VA
CGG3	40.5420	15.5225	1067	IX
PGN3	40.5722	15.7967	882	IX
SRN3	40.4861	15.4580	1067	IX
STN3	40.5300	15.6515	832	IX
MARCO	40.2972	15.8063	890	GE
ARMEN	40.3280	16.0345	880	VD
GRUME	40.2757	15.9062	602	VD
MONCM	40.3058	15.9886	802	VD
MONTM	40.2782	16.0404	652	VD
SARCL	40.2215	15.9175	881	VD

SARSB	40.2296	15.8876	745	VD
SPINS	40.2411	15.9722	882	VD
VIGGN	40.3421	15.9516	1043	VD
TR01	40.4808	16.0180	1200	TP
TR02	40.4893	15.8749	1091	TP
TR03	40.5872	16.0058	511	TP
TR04	40.4968	16.2156	614	TP
TR05	40.3836	16.0953	718	TP
TR06	40.2929	16.1216	829	TP
TR07	40.4451	15.9561	850	TP
TR08	40.3943	16.0120	723	TP
TR09	40.4000	16.1960	735	TP
TR10	40.4323	16.0958	877	TP
TR11	40.4743	16.1032	1212	TP
TR12	40.4119	16.0337	896	TP
MIGL	40.6044	16.4410	440	IV
ACER	40.7867	15.9427	690	IV
CRAC	40.3814	16.4350	384	IV
MCEL	40.3249	15.8019	960	IV
SCHR	40.1992	16.0759	968	IV
MTSN	40.2663	15.7515	1056	IV
SLCN	40.3900	15.6328	986	IV
SIRI	40.1821	15.8675	1063	IV
ORI	40.0510	16.4504	375	IV
MMN	39.8910	15.9904	921	IV
SALB	39.8772	16.3459	1200	IV
PTRP	40.5215	16.0612	1077	IV

3.2 Soglie di detezione dallo studio del rumore sismico ambientale considerando reti indipendenti ed integrate

Il rumore sismico registrato dalle differenti stazioni operanti in Sud Italia nell'area di interesse per l'AQ, fornisce uno strumento utile per ricavare informazioni sullo stato di salute delle stazioni stesse e sulle loro prestazioni in termini di capacità di rilevazione di eventi sismici di piccola magnitudo. Il livello di rumore registrato ad una stazione viene quantificato dalla densità spettrale di potenza sismica *Power Spectral Density* (PSD). A partire dalle stime di PSD calcolate su diverse finestre temporali, vengono effettuate analisi statistiche volte alla definizione delle funzioni densità di probabilità (*Probability Density Function*, PDF) dalla quale è possibile ricavare la statistica dei livelli di spettrali di rumore caratteristici per la stazione.

I dati acquisiti in modalità continua dalle stazioni utilizzate dal CMS in Basilicata vengono analizzati attraverso una procedura automatica che ogni notte calcola le curve di PSD sui dati acquisiti il giorno precedente e ricava, dalle curve spettrali di un determinato periodo, le relative PDF. L'analisi è estesa a tutte le stazioni operanti nell'area e a tutte le componenti. I software che effettuano queste analisi automatiche utilizzano le routine Obspy (Krischer et al., 2015) basate sul metodo di Cooley e Tukey (1965) per la stima delle PSD e sul metodo proposto da McNamara e Buland (2004) per la stima delle PDF.

Abbiamo utilizzato le PDF relative alle diverse stazioni operanti nell'area soggetta al monitoraggio calcolate su un mese di dati per valutare le prestazioni dell'intera rete sismica in termini di soglie di detezione, cioè in termini di magnitudo minima che un terremoto deve avere affinché possa essere rilevato e ben localizzato sfruttando i dati acquisiti dalle stazioni della rete. In particolare, abbiamo preso in considerazione diversi scenari di configurazione di rete:

- A. Le prestazioni delle reti dedicate (i.e., VA e TP) prese in considerazione singolarmente;
- B. La performance delle due reti integrate (VA e TP);
- C. La performance di tutte le 6 reti integrate (VA, TP, IV, VD, IX, e GE).

Per stimare le soglie di detezione abbiamo seguito un approccio indiretto basato sul confronto del livello di rumore registrato alle stazioni sismiche con gli spettri teorici associati a modelli di rottura per piccoli terremoti (McNamara et al., 2004; Marzorati e Bindi, 2006; Vassallo et al., 2012). È stato utilizzato il modello di sorgente di Brune (1970) in un mezzo omogeneo per rappresentare gli spettri di ampiezza delle fasi P e S per terremoti di momento sismico e distanza ipocentrale prefissati. Lo spettro di Brune viene calcolato dopo aver definito i parametri che caratterizzano la sorgente

sismica e il mezzo di propagazione come lo *stress-drop*, la densità, le velocità delle onde P e S, l'attenuazione anelastica. In accordo con la letteratura scientifica disponibile e relativa all'area indagata, sono stati adottati i seguenti parametri: *stress-drop* $\Delta\sigma = 2.0$ MPa (Margheriti e Zollo, 2010; Vassallo et al., 2012), attenuazione $Q = 60$ (Wcislo et al., 2017), $V_p = 5.700$ m/s, $V_s = 3.000$ m/s, densità $\rho = 2.6$ g/cm³ (Improta et al., 2017). Adottando tali parametri, l'ampiezza teorica delle onde P e S dipenderà dalla distanza sorgente-ricevitore, cioè dalla posizione del terremoto rispetto alle stazioni. Per ogni stazione della rete, la possibilità di discriminare il segnale prodotto da un terremoto dipenderà quindi dal rapporto fra l'ampiezza spettrale delle onde di volume e quella del rumore di fondo.

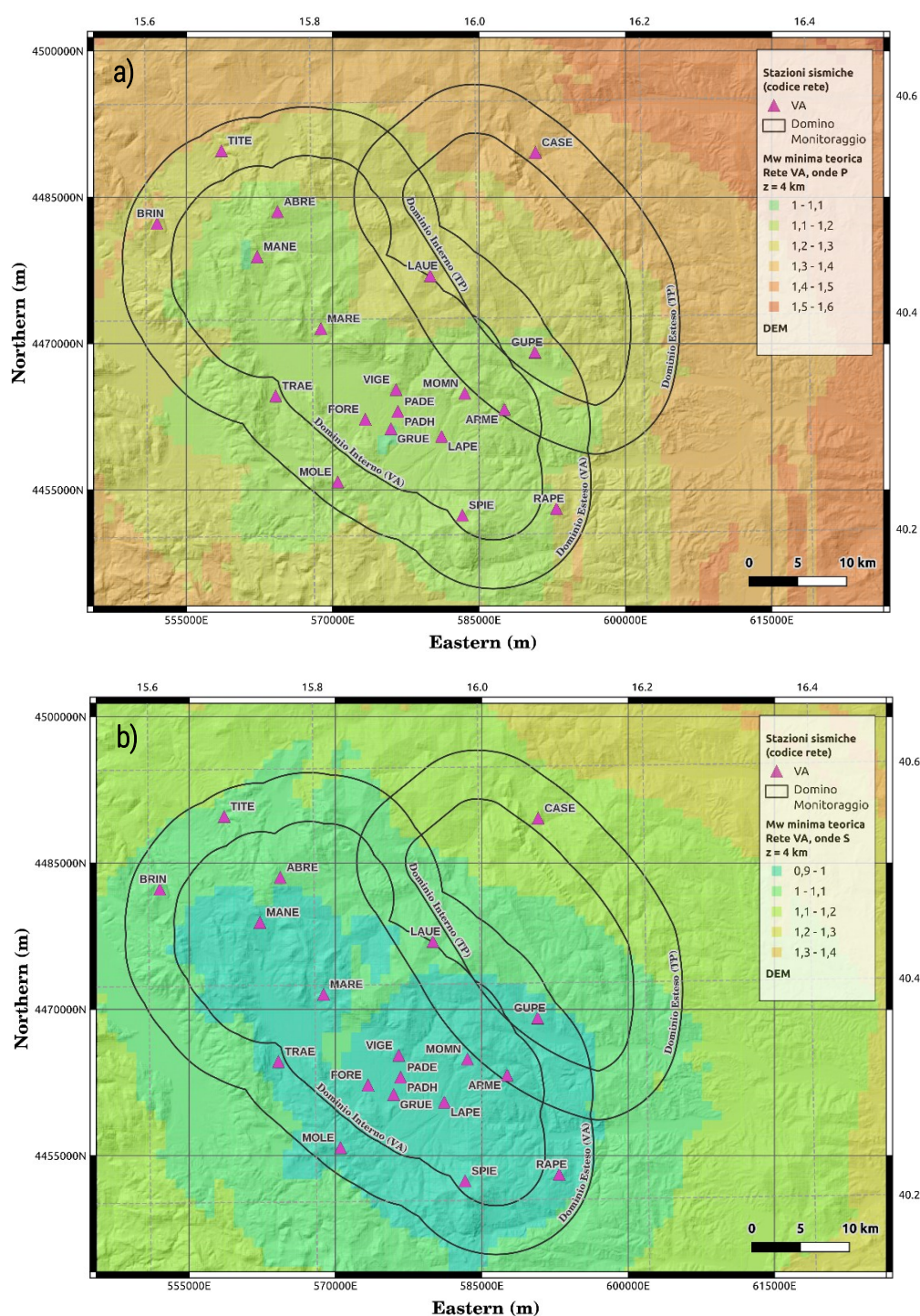
Al fine di indagare la dipendenza areale della soglia di deteazione, il volume investigato è stato discretizzato utilizzando una griglia cubica regolare con celle di dimensioni $1 \times 1 \times 1$ km³. Per ogni nodo, abbiamo calcolato la più piccola magnitudo momento (M_w) che un evento sismico deve avere per essere registrato da almeno quattro stazioni con un rapporto segnale-rumore (SNR) superiore a 5. Il SNR è stato calcolato comparando gli spettri di sorgente con i livelli di rumore nella banda 1-40 Hz relativi al 90° percentile ottenuti dall'analisi statistica delle PSD sia per le componenti verticali che per le componenti orizzontali. Dalle componenti verticali sono state ricavate le soglie di deteazione per le fasi P mentre dall'analisi condotta sulle componenti orizzontali sono state calcolate le soglie di deteazione per le fasi S. I livelli del 90-esimo percentile adottato per la stima del SNR e il numero di stazioni minimo assunto per stimare la rilevabilità di un evento (pari a 4) sono stati scelti in modo tale da avvicinarsi alla configurazione del sistema di elaborazione di dati utilizzato per l'identificazione automatica di eventi; inoltre, questi valori dovrebbero fornire una stima robusta della soglia di deteazione e approssimare la magnitudo di completezza dell'area (Vassallo et al., 2012).

3.2.1 Stazioni della rete VA considerata singolarmente

La rete VA è stata installata dal concessionario (Eni spa) per il monitoraggio della microsismicità nei domini della concessione Val d'Agri. Allo stato attuale, la rete è composta da 20 stazioni sismiche che coprono l'area dei domini provvisoriamente definiti per il monitoraggio (Figura 2.1). La Figura 3.1 (a,b) mostra le mappe delle soglie di deteazione determinate per l'area della Val D'Agri, per le onde P e S rispettivamente. Le mappe si riferiscono alla M_w minima teorica di rilevamento (da intendersi come magnitudo teorica di completezza) alla profondità ipocentrale di 4 km, che prendiamo come riferimento; tuttavia, nell'Appendice A si presentano le mappe per diverse profondità (da 0 a 10 km). Le più piccole magnitudo momento rilevabili utilizzando

soltanto la rete VA in qualsiasi punto del DI e del DE della concessione sono comprese tra 1.1 e 1.2 per le onde P e tra 0.9 e 1.0 per le onde S considerando le profondità da 0 a 10 km (Figura 3.1 e Appendice A).

Figura 3.1. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 4 km considerando almeno 4 stazioni della rete VA e considerando fase P (a) e fasi S (b).

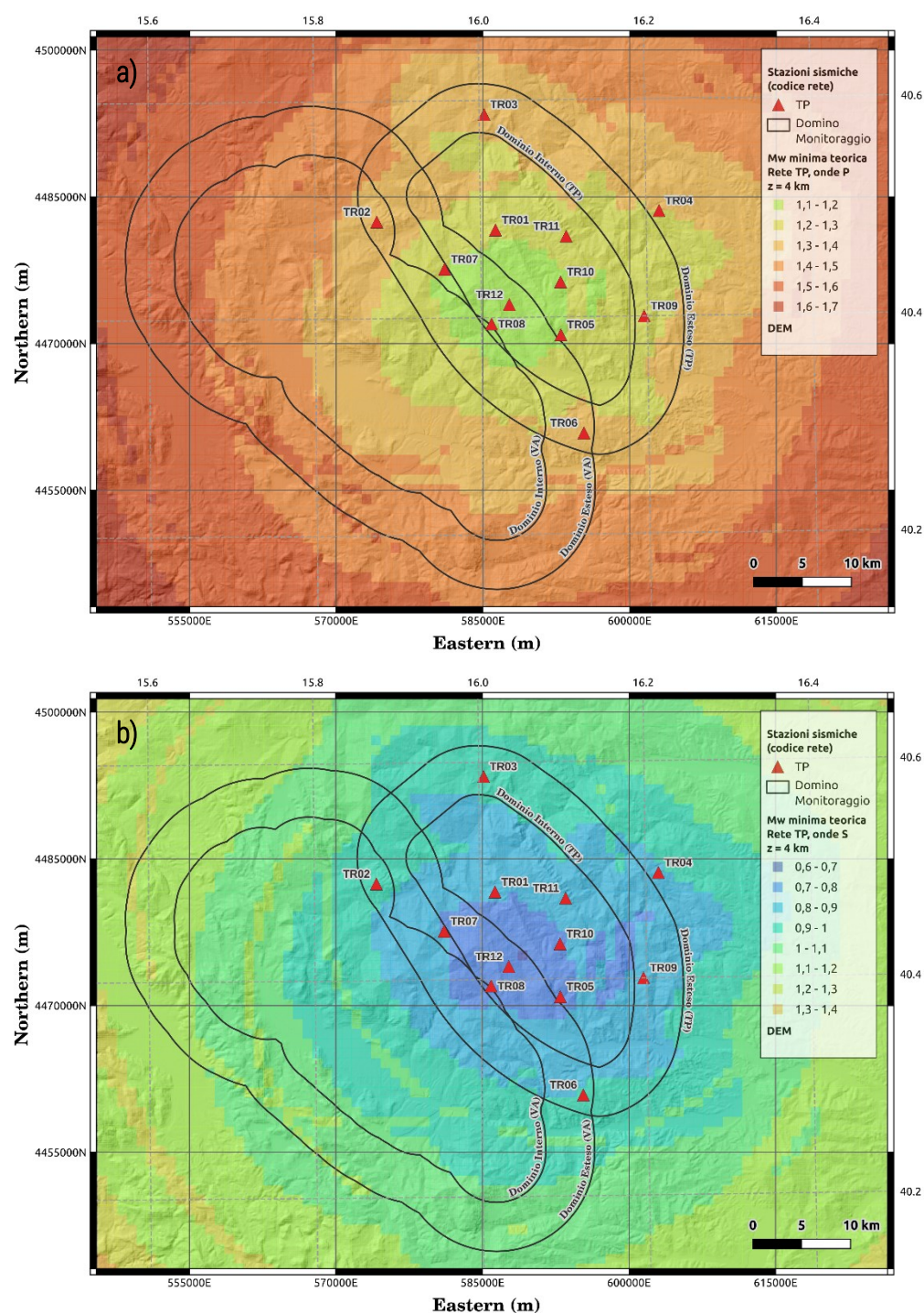


3.2.2 Stazioni della rete TP considerata singolarmente

La rete TP è stata installata dal concessionario (TotalEnergies spa) per il monitoraggio della microsismicità nei domini della concessione Gorgoglione. Allo stato attuale, la rete è composta da 12 stazioni sismiche che coprono l'area dei domini

provvisoriamente definiti per il monitoraggio (Figura 2.1). La Figura 3.2 (a,b) mostra le mappe delle soglie di detezione (in termini di M_w minima teorica di completezza) determinate per l'area della Val D'Agri prendendo in considerazione una profondità di 4 km per le onde P e S rispettivamente. Nell'Appendice A si presentano le mappe per diverse profondità (da 0 a 10 km). Per la singola rete TP, le più piccole magnitudo momento rilevabili in qualsiasi punto del DI e del DE della concessione Gorgoglione sono comprese tra 1.1 e 1.4 per le onde P e tra 0.7 e 0.9 per le onde S considerando le profondità da 0 a 10 km (Figura 3.2 e Appendice A).

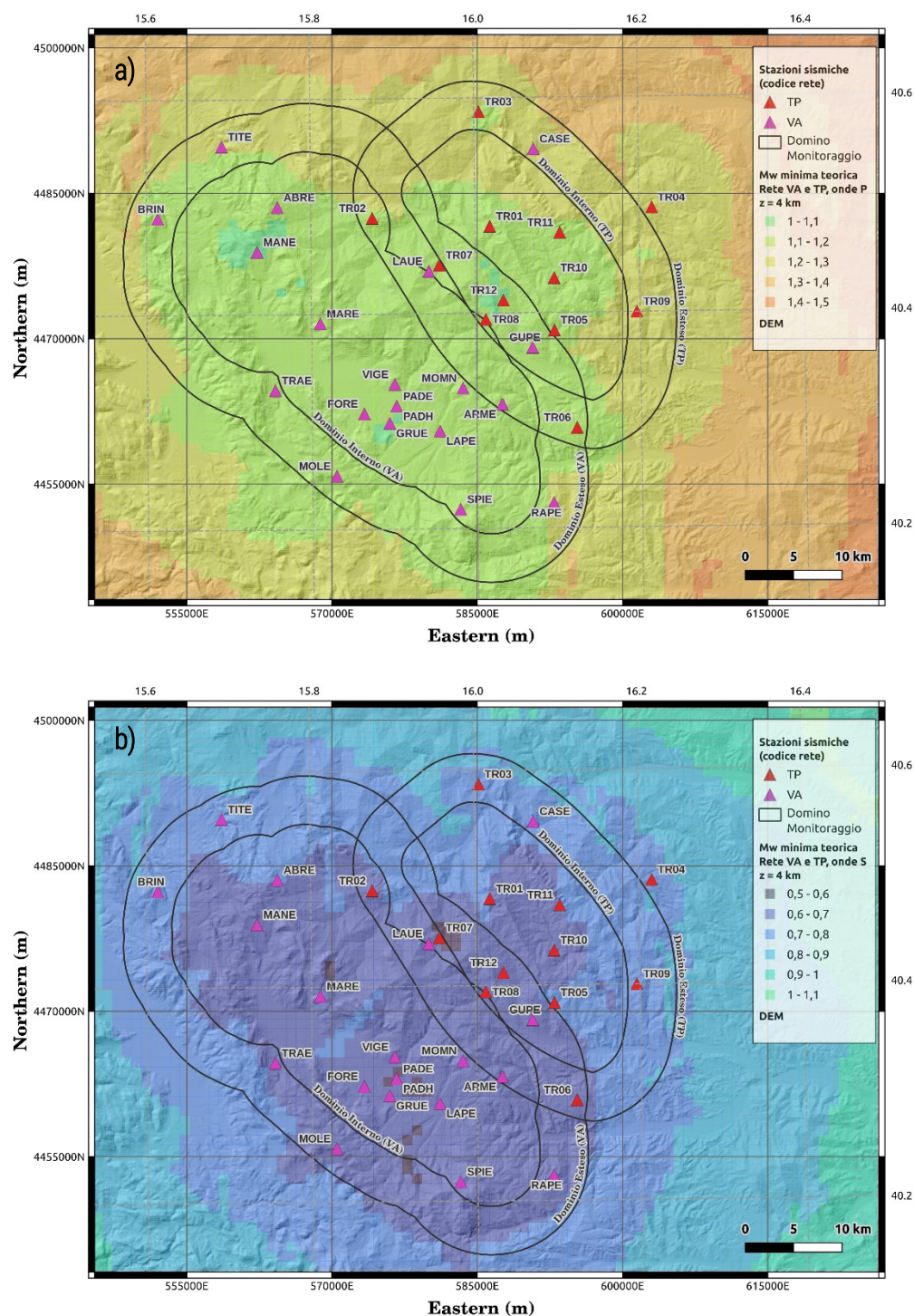
Figura 3.2. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 4 km considerando almeno 4 stazioni della rete TP e considerando fase P (a) e fasi S (b).



3.2.3 Stazioni delle reti VA e TP integrate

In questa sezione si mostrano le mappe di soglia di detezione (in termini di M_w minima teorica di completezza), sempre alla profondità di 4 km, prendendo in considerazione le reti VA e TP insieme. In tali mappe, si osserva come le più piccole magnitudo momento rilevabili nei DI e DE delle due concessioni siano comprese negli intervalli [1.1-1.3] e [0.6-0.9] per le onde P ed S, rispettivamente. (Figura 3.3 e Appendice A).

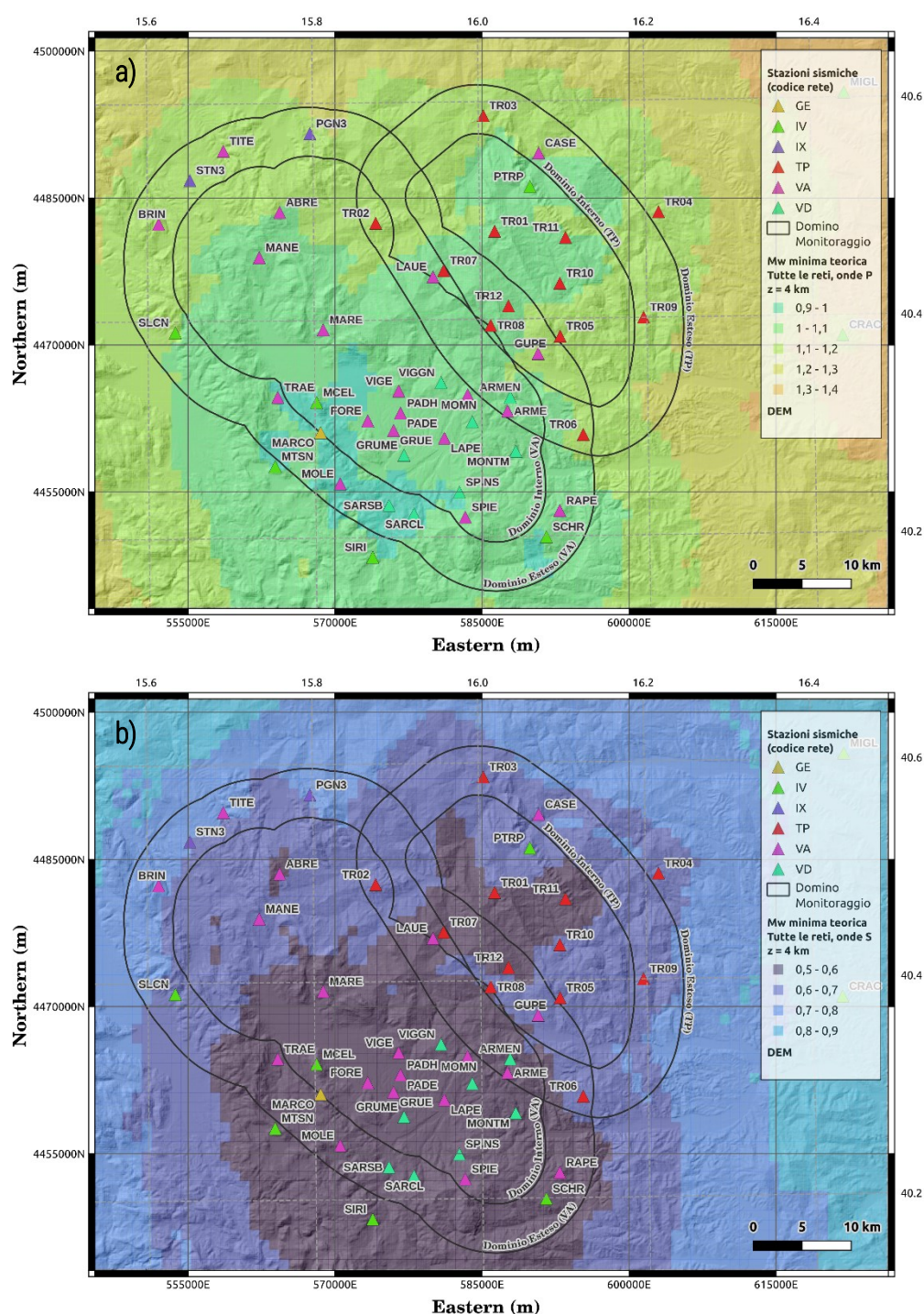
Figura 3.3. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 4 km considerando almeno 4 stazioni delle reti VA e TP e considerando fase P (a) e fasi S (b). Mappe con le soglie per alte profondità (da 0 a 10 km) si trovano nell'Appendice A.



3.2.4 Stazioni delle reti VA e TP integrate insieme a tutte le altre reti disponibili nella zona

L'ultima configurazione analizzata consiste nell'integrazione delle due reti installate per il monitoraggio delle concessioni con tutte le altre stazioni per le quali è possibile accedere in tempo reale ai dati (e.g., Figura 2.1). I risultati, in termini di M_w minima teorica di completezza vengono mostrati nella Figura 3.4-a) per le fasi P e Figura 3.4-b) per le fasi S. Si osserva come le stazioni aggiuntive aumentino significativamente la densità di stazioni all'interno dell'area centrale del DI della concessione Val d'Agri,

Figura 3.4. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 4 km considerando almeno 4 stazioni di tutte le reti prese in esame, e considerando fase P (a) e fasi S (b).



facendo scendere la M_W minima teorica di completezza a valori che vanno da 0.9 a 1.0 per le fasi P e 0.4 - 0.6 per le fasi S alle diverse profondità (vedere Figura 3.4 e Appendice A).

Occorre sottolineare che le stime di detezione ottenute con queste analisi sono in termini di magnitudo momento M_W che rappresenta l'energia associata ai terremoti di piccola magnitudo modellati attraverso lo spettro di sorgente. Per poter confrontare le soglie di detezione con le magnitudo di completezza dei cataloghi dei terremoti fino ad ora individuati e localizzati nei domini DI e DE delle concessioni Val d'Agri e Gorgoglione, è necessario convertire la magnitudo momento in magnitudo locale M_L (la magnitudo che viene solitamente calcolata per questo tipo di terremoti di bassa energia). Poiché in letteratura non sono disponibili relazioni che collegano M_W con M_L per l'area di indagine, per una conversione di questo tipo si può sfruttare la legge M_W vs M_L proposta nel lavoro Zollo et al. (2014) che è stata ricavata per micro-terremoti relativi all'Appennino Campano-Lucano e rilevati/localizzati utilizzando i dati provenienti dalla rete sismica IX (ISNet, *Irpinia Seismic Network*). Gli autori ricavano la seguente relazione fra M_W e M_L :

$$M_W = 0.74 (\pm 0.01) M_{L-INGV} + 0.66 (\pm 0.02).$$

dove M_{L-INGV} è la magnitudo locale riportata dai cataloghi INGV. Questa relazione è valida per terremoti caratterizzati da M_L compresa tra 0.1 e 3.4. Utilizzando tale relazione risulta che per eventi con $M_L < 2.5$, la magnitudo locale sottostima la magnitudo momento con differenze che aumentano al diminuire dell'energia del terremoto. Considerando che $M_{L-ISNET} = 0.92 M_{L-INGV} + 0.28$ (Bobbio et al., 2009) è possibile calcolare i valori di M_W corrispondenti alle magnitudo di completezza ricavate per il DI e per il DE delle concessioni Val d'Agri e Gorgoglione.

Tenendo conto delle conversioni sopra riportate, si conclude che la soglia teorica di rilevamento calcolata (in M_W) utilizzando la rete integrata corrispondono, in linea generale, a soglie in M_L nei domini di monitoraggio dell'ordine di 0.3 - 0.6 (considerando la M_{L-INGV}). Come detto in precedenza, la soglia di detezione teorica dovrebbe essere confrontabile con la magnitudo di completezza ottenuta dai dati.

Questo risultato dimostra il valore aggiunto offerto dall'integrazione dei dati delle reti sismiche, sia pubbliche che private, nella zona monitorata. Inoltre, com'è possibile vedere nella sezione successiva, questi valori teorici sono in accordo con le soglie di completezza effettivamente misurate dal catalogo sismico finora registrato.

3.3 Calcolo della magnitudo di completezza dal catalogo sismico registrato

In questo paragrafo si presentano i risultati delle analisi di completezza del catalogo sismico compilato come risultato delle attività di monitoraggio della SPM in Basilicata. Le stime della magnitudo di completezza (M_c) sono state effettuate utilizzando i metodi integrati nell'infrastruttura Europea EPOS (*European Plate Observing System*), *Thematic Core Service "Anthropogenic Hazards"* (TCS-AH, Orlecka-Sikora et al., 2020). In pratica, con l'obiettivo di ottenere una misura dell'incertezza epistemica nella stima di M_c , per ogni *dataset* analizzato è stato valutato un insieme di soluzioni utilizzando diversi metodi frequentemente usati in letteratura quali il metodo di massima curvatura (MaxC, Wiemer & Wyss 2000), il metodo di "Goodness of Fit" considerando due diverse significatività (gftN, Wiemer & Wyss 2000), e il metodo "Goodness of Fit modificato" (mgft, Leptokaropoulos et al. 2013). Prendendo la soluzione più conservativa possibile, la M_c è selezionata considerando il valore più alto tra tutti i metodi utilizzati.

Gli ILG suggeriscono che l'idoneità dell'infrastruttura di monitoraggio realizzata debba essere valutata su base prestazionale, ovvero per la sua capacità di soddisfare i punti sopra enunciati. Si noti che, in accordo con quanto previsto dagli ILG § 5.4 - "Configurazione 0", la Sala Sismica del CMS calcola la magnitudo locale secondo la relazione di Bakun e Joyner (1984), in questo Report contrassegnata con la notazione M_{Lbj} :

$$M_{Lbj} = \log A + 1.00 \log(R/100) + 0.00301(R - 100) + 3.0$$

dove: A = massima semi-ampiezza della traccia in mm, misurata sulle componenti orizzontali, dopo simulazione di un sismografo Wood-Anderson sintetico; R = distanza ipocentrale in km.

3.3.1 Stima della M_c nei domini di monitoraggio dai dati della RSN (INGV)

Le localizzazioni degli eventi registrati dal 01/01/2021 al 15/10/2024 dalla RSN si trovano nella Figura 3.5, dove gli eventi sono stati differenziati in funzione della loro profondità rispetto alla profondità dei rispettivi domini estesi. La stima della magnitudo di completezza e dei parametri della relazione di Gutenberg-Richter (GR, Gutenberg e Richter, 1944) sono stati calcolati in prima istanza utilizzando i dati che ricadono sopra la profondità del DE di ogni concessione (321 su 424 eventi nel DE della Val d'agri, e 14 su 109 eventi nel DE di Gorgoglione). Il numero di eventi registrati dalla RSN che ricadono nel DE di Gorgoglione è troppo basso per ottenere una stima robusta

della GR e quindi della M_c ; per quanto riguarda gli eventi nel DE di Val d'Agri, la completezza con i dati della RSN è di $M_c=1.3$ (prendendo il risultato più conservativo). Infine, una ulteriore stima di M_c è stata ottenuta eliminando il limite della profondità (i.e., prendendo tutti gli eventi con epicentro dentro ai DE di entrambe le concessioni); i risultati di questo esercizio sono illustrati nella Figura 3.6, dove è possibile vedere che la completezza considerando tutto lo spessore crostale è di $M_c=1.3$ per i DE di entrambe le concessioni (prendendo come riferimento le soluzioni più conservative).

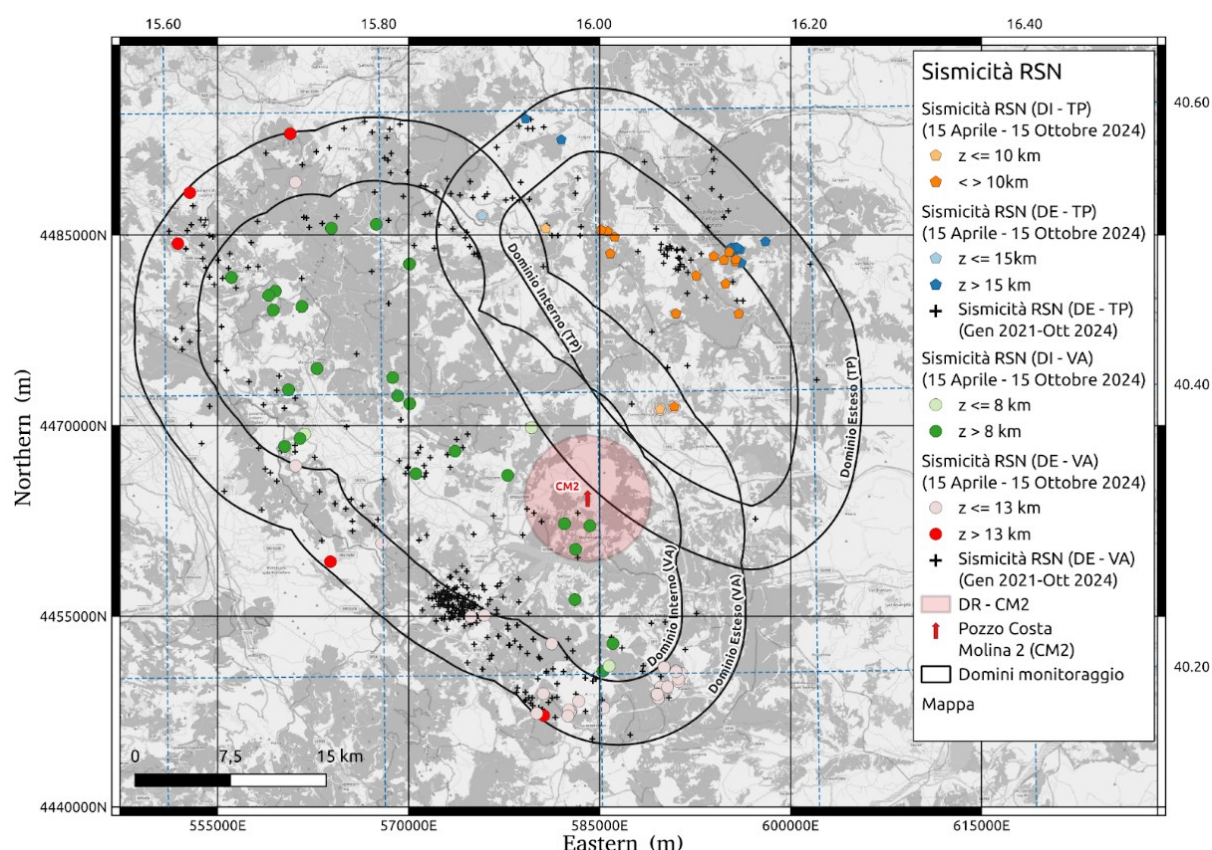


Figura 3.5. Localizzazione degli eventi sismici registrati dalla sala sismica di sorveglianza nei domini di monitoraggio delle concessioni Val d'Agri e Gorgoglione. Le croci nere mostrano gli eventi rilevati nel periodo precedente a questo rapporto (i.e., Gennaio 2021 - Aprile 2024). I simboli colorati identificano gli eventi nel periodo 15 aprile - 15 ottobre 2024 (vedere la legenda della mappa per la spiegazione dei colori)

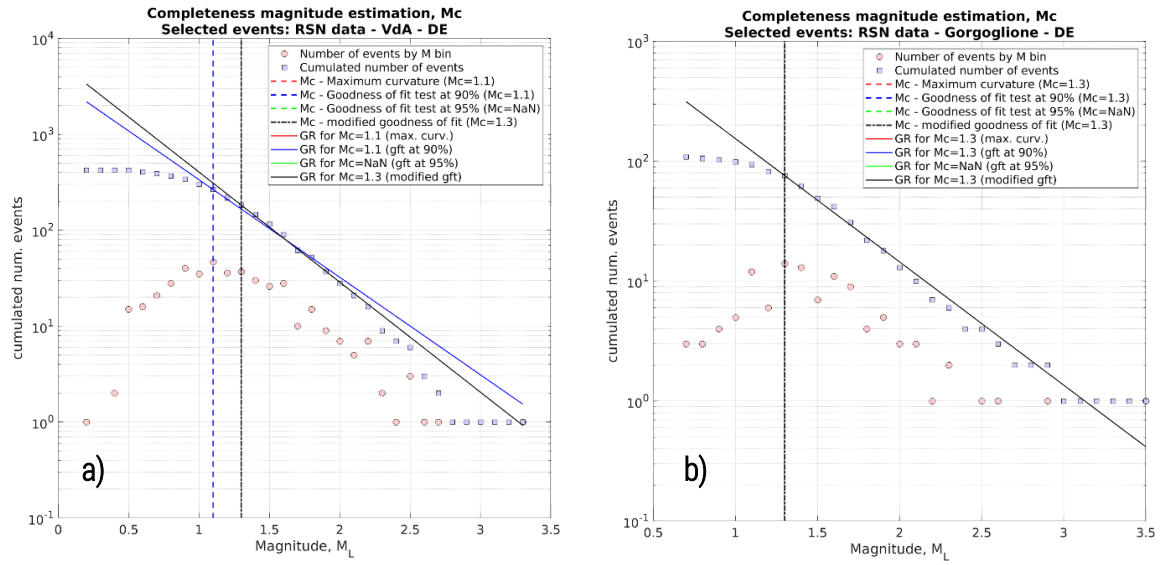


Figura 3.6. Magnitudo di completezza stimata per la sismicit  registrata dalla Rete Sismologica Nazionale nei domini estesi delle concessioni (a) Val d'Agri e (b) Gorgoglione, senza limiti di profondit .

3.3.2 Stima della M_c nei domini di monitoraggio della rete VA

La Figura 3.7 mostra le stime di M_c e le curve di distribuzione GR relative agli eventi localizzati dalla Sala di Monitoraggio CMS nei domini (a) DE e (b) DI della concessione Val d'Agri dal 01/01/2021 al 15/10/2024. Il riassunto delle diverse stime di M_c , e del relativo parametro b della relazione GR (calcolato utilizzando il metodo di *maximum Likelihood* di Aki 1965) si trova nella Tabella 3.2. I valori di M_c e b presi come riferimento (i.e., le stime pi  conservative) sono evidenziati in grassetto. La magnitudo di completezza in entrambi i domini di monitoraggio della Val d'Agri (DE e DI) risultano essere $M_c = 0.1$, con una stima del b della GR di $b=1.2$ per il DE e $b=1.4$ per il DI.

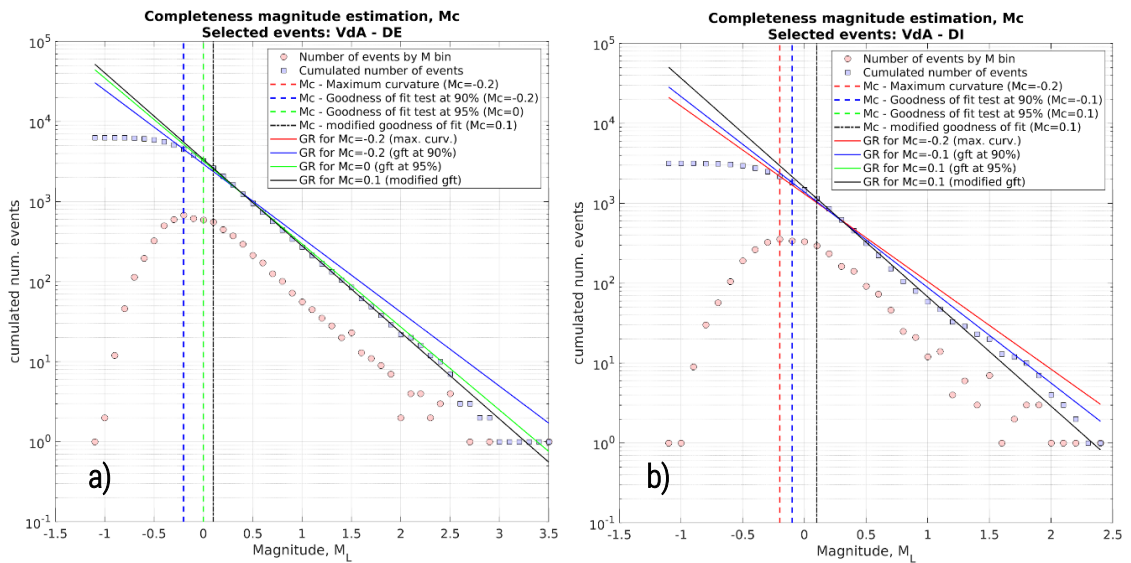
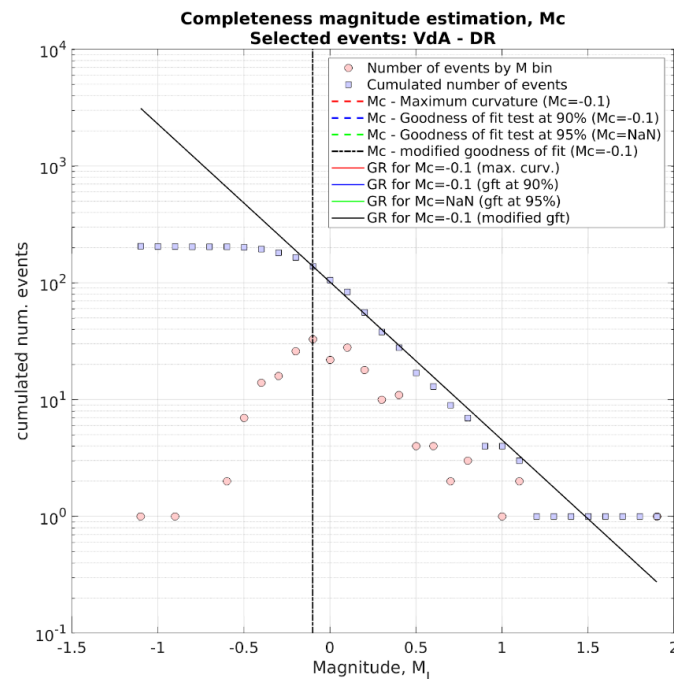


Figura 3.7. Magnitudo di completezza stimata per la sismicit  registrata dalla sala di monitoraggio del CMS nel (a) DI e nel (b) DE della concessione Val d'Agri, Basilicata.

3.3.3 Stima della M_C nel dominio DR del pozzo Costa Molina2

In Figura 3.8 si presentano le stime di M_C e le curve di distribuzione GR relative agli eventi localizzati dalla Sala di Monitoraggio CMS nel DR definito attorno al pozzo di reiniezione Costa Molina2, nella concessione Val d'Agri, utilizzando i dati registrati tra il 01/01/2021 e il 15/10/2024. Il riassunto delle diverse stime di M_C , e del relativo parametro b della relazione GR (calcolato utilizzando il metodo di *maximum Likelihood* di Aki 1965) si trova nella Tabella 3.2. I valori di M_C e b più conservativi sono evidenziati in grassetto. La magnitudo di completezza nel DR risulta essere $M_C = -0.1$, con una stima del b della GR di $b=1.35$.

Figura 3.8. Magnitudo di completezza stimata per la sismicità registrata dalla sala di monitoraggio del CMS nel DR definito per il pozzo di reiniezione Costa Molina 2 della concessione Val d'Agri, Basilicata.



3.3.4 Stima della M_C nei domini di monitoraggio della rete TP

La Figura 3.9 mostra le stime di M_C e le curve di distribuzione GR relative agli eventi localizzati dalla Sala di Monitoraggio CMS nei domini (a) DE e (b) DI della concessione Gorgoglione dal 01/01/2021 al 15/10/2024. Il riassunto delle diverse stime di M_C , e del relativo parametro b della relazione GR (calcolato utilizzando il metodo di *maximum Likelihood* di Aki 1965) si trova nella Tabella 3.2. I valori di M_C e b presi come riferimento (i.e., le stime più conservative) sono evidenziati in grassetto. La magnitudo di completezza in entrambi i domini di monitoraggio di Gorgoglione (DE e DI) risulta essere $M_C = 0.4$, con una stima del b della GR di $b=1.1$ per il DE e $b=1.3$ per il DI.

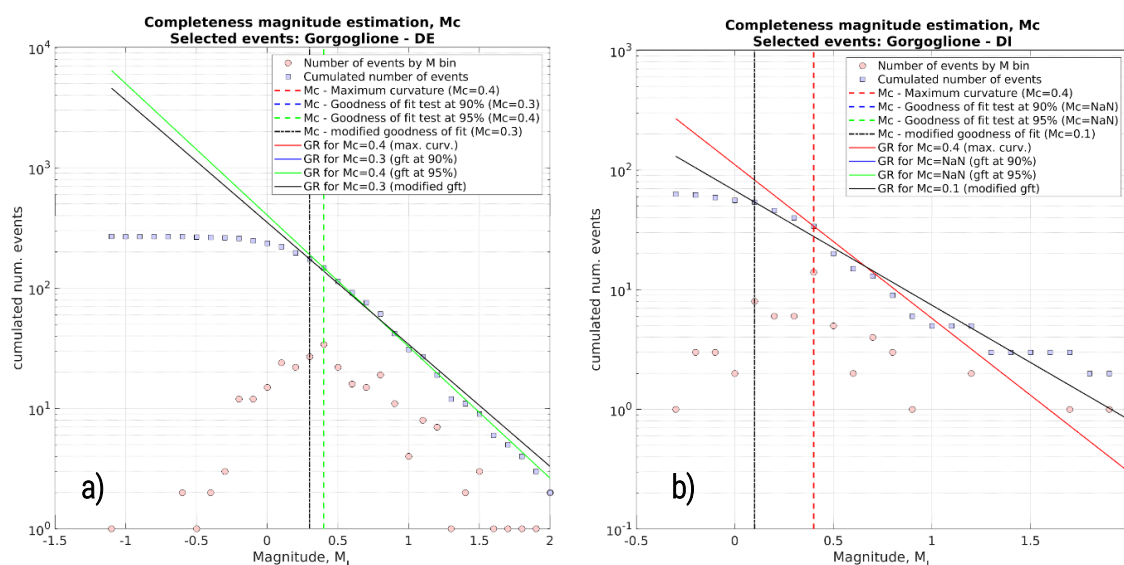


Figura 3.9. Magnitudo di completezza stimata per la sismicit  registrata dalla sala di monitoraggio del CMS nel (a) DI e nel (b) DE della concessione Val d'Agri, Basilicata.

Area / M_c b (metodo)	MaxC M_c b	gft (10%) M_c b	gft (5%) M_c b	Mgft M_c b
VA - DE	-0.2 0.86	-0.2 1.20	0.1 --	0.1 1.20
VA - DI	-0.2 1.10	-0.1 1.20	0.1 1.37	0.1 1.37
VA - DR	-0.1 1.35	-0.1 1.35	-- --	-0.1 1.35
TP - DE	0.4 1.09	0.3 1.01	0.4 1.09	0.3 1.01
TP - DI	0.4 1.28	-- --	-- --	0.1 0.96

Tabella 3.2. Stima della M_c nei diversi domini di monitoraggio in Basilicata utilizzando diversi metodi: metodo di massima curvatura (MaxC, Wiemer & Wyss 2000), il metodo di "Goodness of Fit" considerando la significativit  al 90% (gft10) e 95% (gft5, Wiemer & Wyss 2000), e il metodo "Goodness of Fit modificato" (mgft, Leptokaropoulos et al. 2013). In blu si presentano i valori del parametro b della GR calcolato utilizzando il metodo di *maximum likelihood* di Aki (1965).

Relativamente alla magnitudo di completezza, e confrontando i risultati di M_c per le due concessioni con quelli ottenuti con i dati della RSN, si pu  concludere che la rete integrata utilizzata per il monitoraggio delle concessioni Val d'Agri e Gorgoglione consente di raggiungere allo stato attuale i requisiti prestazionali previsti dagli ILG (§ 5.3 punti 1 e 2).

Per quanto concerne la richiesta degli ILG relativamente all'incertezza delle localizzazioni (§ 5.3 punti 1 e 2), si riporta in Figura 3.10 una rappresentazione della distribuzione degli errori di localizzazione ipocentrale (orizzontali a destra e verticali a sinistra) per gli eventi localizzati nel DI, nel DE, e nel DR nella concessione di Val d'Agri,

mentre gli istogrammi degli errori per le localizzazioni nei domini DI e DE di Gorgoglione sono riportati nella Figura 3.11.

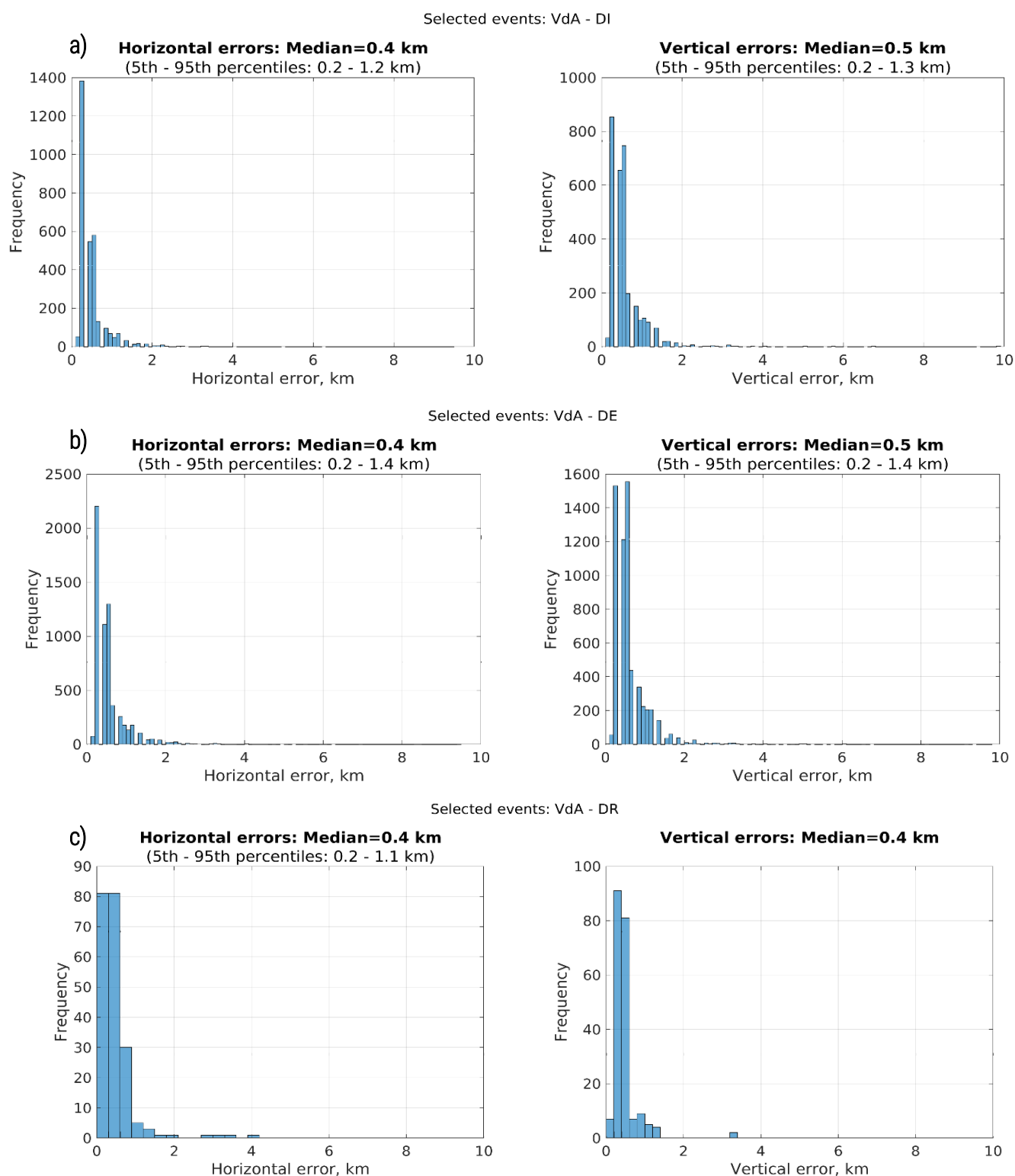


Figura 3.10. Distribuzione degli errori di localizzazione, orizzontali e verticali, relativamente agli eventi localizzati nel periodo 01/01/2021 - 15/10/2024 nei domini della concessione Val d'Agri.

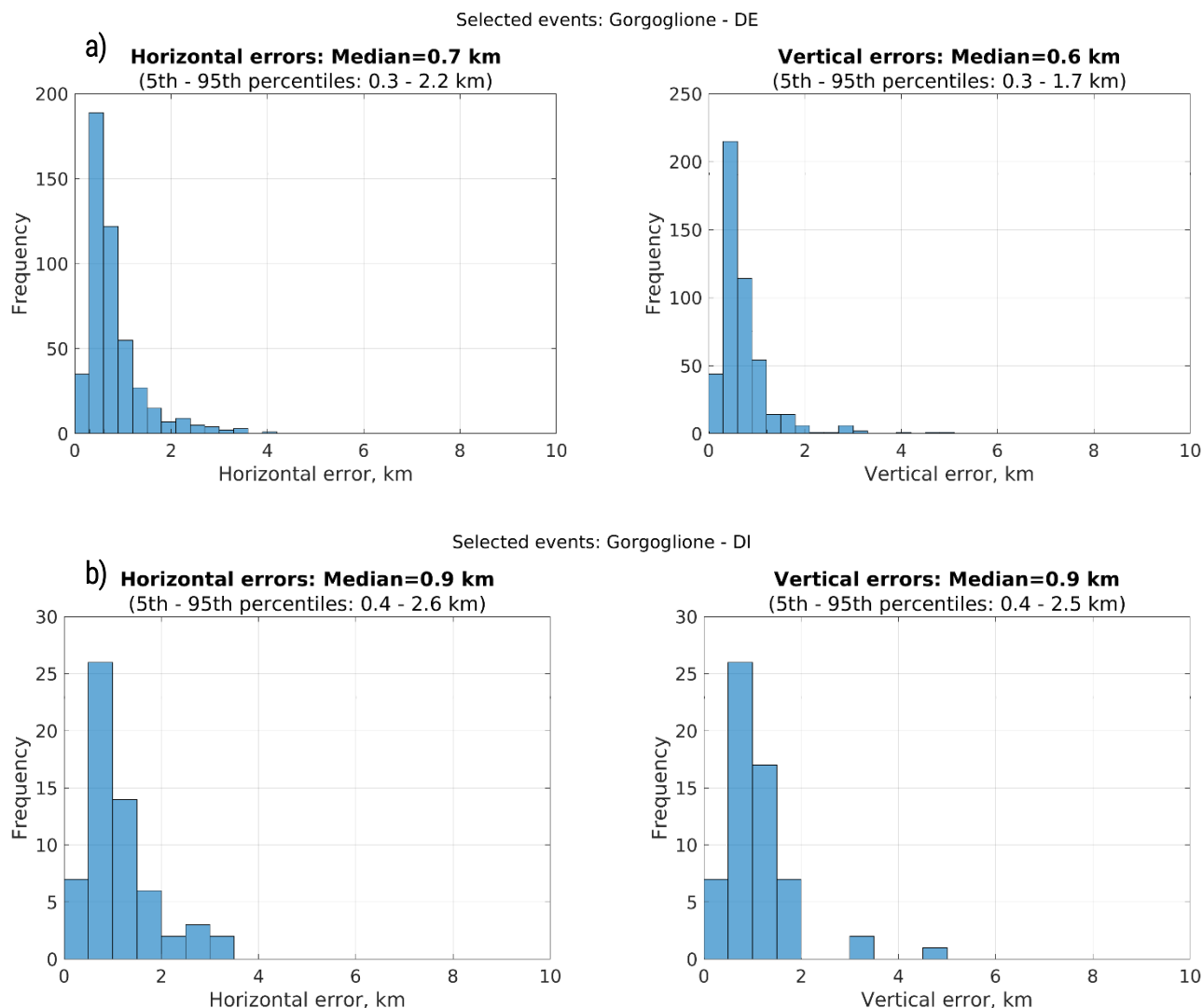


Figura 3.11. Distribuzione degli errori di localizzazione, orizzontali e verticali, relativamente agli eventi localizzati nel periodo 01/01/2021 - 15/10/2024 nei domini della concessione Gorgoglione.

Per ciò che concerne gli errori orizzontali di localizzazione, la mediana degli errori orizzontali e verticali varia tra 0.4 e 0.5 km nei domini della concessione Val d'Agri, e tra 0.7 e 0.9 km nei domini della concessione Gorgoglione (Figura 3.11 a,b). La Figura riporta anche due percentili della distribuzione empirica degli errori (5-o e 95-esimo) per delimitare l'intervallo di valori nei quali si trova il 90% delle incertezze; si noti che solo un 5% delle localizzazioni (in altre parole, eventi con errori sopra il 95-esimo percentile) nei domini della Val d'Agri ha incertezze superiori a 1.0 – 1.4 km, mentre nei domini di Gorgoglione la stessa percentuale si riferisce a eventi con errori superiori che vanno da 1.9 a 2.5 km.

Il calcolo della profondità di un evento sismico è in generale affetto da errori maggiori rispetto a quelli associati alla stima delle coordinate epicentrali. Ciò è dovuto sia alla definizione stessa del problema, che ad altri fattori fra i quali si ricordano le caratteristiche geometriche e prestazionali della rete sismica, il modello di velocità utilizzato per il calcolo dei tempi di tragitto delle onde sismiche, l'algoritmo di inversione, il numero e il peso delle fasi S utilizzate nella localizzazione e i relativi errori epistemici.

Allo stato attuale della sperimentazione, si possono ritenere raggiunti i requisiti al § 5.3 degli ILG:

- Requisito 1 - adeguatamente raggiunto,
- Requisito 2 - adeguatamente raggiunto.
- Requisito 4 - adeguatamente raggiunto.

Infine, si considera soddisfatto anche il requisito 3, in quanto le caratteristiche strumentali della rete sismica integrata hanno permesso la misura della velocità e accelerazione del moto del suolo provocata da terremoti di diversa magnitudo, come successivamente mostrato nei §§ 5.4 e 5.6) di questo rapporto.

4 Validazione rete GPS

4.1 Descrizione rete GNSS

In Tabella 4.1 è riportato l'elenco delle stazioni che compongono la rete di monitoraggio geodetico per la concessione Val d'Agri (Eni S.p.A.) con le corrispondenti caratteristiche tecniche, che è composta da 12 stazioni GNSS permanenti poste all'interno del DI. Analogamente in Tabella 4.2 sono riportate le caratteristiche della rete GNSS per la concessione di Gorgoglione (TEPIT), che è composta da 3 stazioni GNSS permanenti.

Al § 6.2, gli ILG indicano le caratteristiche tecniche del monitoraggio delle deformazioni del suolo, raccomandando che questo riguardi *"la porzione superficiale dei domini di rilevazione (interno ed esteso)"* e che rispetti certe caratteristiche sia per le misure GPS che InSAR. Se da un lato per il secondo tipo di misure non è necessaria un'infrastruttura fissa per ottenere le osservazioni necessarie per eseguire il monitoraggio richiesto, per quanto attiene invece le misure GPS è raccomandata la presenza di *"una rete GPS in continuo, preesistente o di nuova realizzazione"*, composta *"di stazioni permanenti di precisione (di tipo geodetico), distribuite opportunamente in funzione dell'estensione e delle caratteristiche dell'area da monitorare ed installate con un'adeguata monumentazione adatta a scopi geofisici (ad esempio UNAVCO). In particolare, si richiede che le stazioni abbiano interdistanze inferiori a 10-15 km e che una di esse sia co-locata con la stazione a banda larga della rete di monitoraggio sismico"*.

Si tratta di indicazioni generiche che necessitano di essere declinate in condizioni specifiche per una valutazione ottimale delle reti GNSS caso per caso. A questo scopo la SPM propone degli aspetti metodologici per la validazione delle reti partendo dagli spunti riportati nelle raccomandazioni degli ILG, ma una futura revisione degli ILG che permetta di caratterizzare meglio gli standard prestazioni che le reti GNSS devono rispettare sarebbe auspicabile.

Alla luce delle raccomandazioni sopra riportate, riteniamo perciò importante valutare la rete GNSS secondo le seguenti caratteristiche:

- la qualità della strumentazione utilizzata (che risulta conforme secondo gli strumenti riportati in Tabella 4.1 e Tabella 4.2);
- la copertura areale della rete di monitoraggio secondo le analisi delle interdistanze riportate nel successivo § 4.3;
- la qualità di registrazione del segnale da parte delle stazioni GNSS (in questo caso si considerano solo i segnali GPS) attraverso le analisi mostrate nel § 4.4;

- la corretta monumentazione/installazione delle stazioni che sia *“adatta a scopi geofisici”*, ossia solidale con il substrato roccioso in modo da poter registrare segnali dovuti a sorgenti profonde (deformazioni tettoniche, idrologiche, di giacimento, etc.).

Nome sito ENI	Nome sito INGV	Lon. (°E)	Lat. (°N)	Quota (m)	Data installazione	Antenna	Ricevitore
AGRI1	AGRI1	15.7482	40.4282	899	26/11/2021	LEIAR 20 LEIM	LEICA GR30
CEF8	CEF8	15.8330	40.4385	1165	22/04/2022	LEIAR 20 LEIM	LEICA GR30
CF34	CF34	15.7840	40.4717	1305	26/05/2022	LEIAR 20 LEIM	LEICA GR30
COST	COST	15.9833	40.3307	1218	26/11/2021	LEIAR 20 LEIM	LEICA GR30
GRUM	GRUM	15.9207	40.2755	660	25/11/2021	LEIAR 20 LEIM	LEICA GR30
INN2	INN2	15.7848	40.3626	647	19/06/2018	LEIAR 20 LEIM	LEICA GR10
					16/05/2019		LEICA GR30
MAE1	MAE1	15.9583	40.3067	653	06/04/2016	LEIAR 20 LEIM	LEICA GR10
ME10	ME10	15.8766	40.3798	1317	13/02/2024	STXSA1200 STXR	STONEX SC2200
TEVE	TEVE	16.0313	40.3153	1036	03/10/2019	LEIAR 20 LEIM	LEICA GR30
TLMA	TLMA	15.9789	40.3981	1132	18/12/2018	LEIAR 20 LEIM	LEICA GR30
VIGG	VIG3	15.8874	40.3132	633	14/12/2016	TPSCR4 TPSH	LEICA GR10
					14/10/2020		LEICA GR30
					22/04/2022		LEICA GRX1200
					13/02/2024		LEICA GR10
VOL1	VOL1	15.8669	40.4053	1295	12/10/2021	LEIAR 20 LEIM	LEICA GR30

Tabella 4.1. Elenco delle stazioni GNSS installate per la concessione Val d'Agri con coordinate, data di installazione e strumentazione in uso.

Nome sito	Lon. (°E)	Lat. (°N)	Quota (m)	Data installazione	Antenna	Ricevitore
TR04	16.2157	40.4969	616	18/09/2018	TRM59900.00	TRIMBLE NETR9
TR05	16.0952	40.3832	713	18/09/2018	TRM59800.00	TRIMBLE NETR9
TR07	15.9562	40.4452	850	19/09/2018	TRM59900.00	TRIMBLE NETR9

Tabella 4.2. Elenco delle stazioni GNSS installate per la concessione Gorgoglione con coordinate, data di installazione e strumentazione in uso.

Per quanto riguarda quest'ultimo punto, abbiamo a nostra disposizione alcune informazioni relative alla rete di Val d'Agri (soprattutto grazie al sopralluogo svolto a settembre 2020), anche se la rete era in fase di completamento, e alcune informazioni relative alla rete di Gorgoglione fornite dai report della concessionaria. Quest'ultimo aspetto sarà trattato nel § 4.3.

4.2 Analisi delle interdistanze

Per ciascuna delle reti GNSS è stata calcolata l'interdistanza tra le stazioni per verificare la condizione posta dagli ILG per la distribuzione dei siti, ossia che siano distanti tra di loro entro i 10-15 km. In Figura 4.1 (a, b) sono mostrate le interdistanze entro 15 km per ogni concessione e, secondo le indicazioni riportate dagli ILG, si possono trarre le seguenti considerazioni per la concessione Val d'Agri:

- La distribuzione delle stazioni GNSS è opportuna nella porzione centrale dell'area da monitorare dove le interdistanze delle stazioni sono inferiori a 10-15 km;
- È presente una stazione CGPS co-locata con una stazione sismica a banda larga, ossia la stazione TEVE (co-locata con la stazione sismica ARME);
- Sono state utilizzate stazioni permanenti di precisione, in quanto tutti i siti sono equipaggiati di antenna *choke ring* di tipo geodetico e di ricevitore a doppia frequenza.

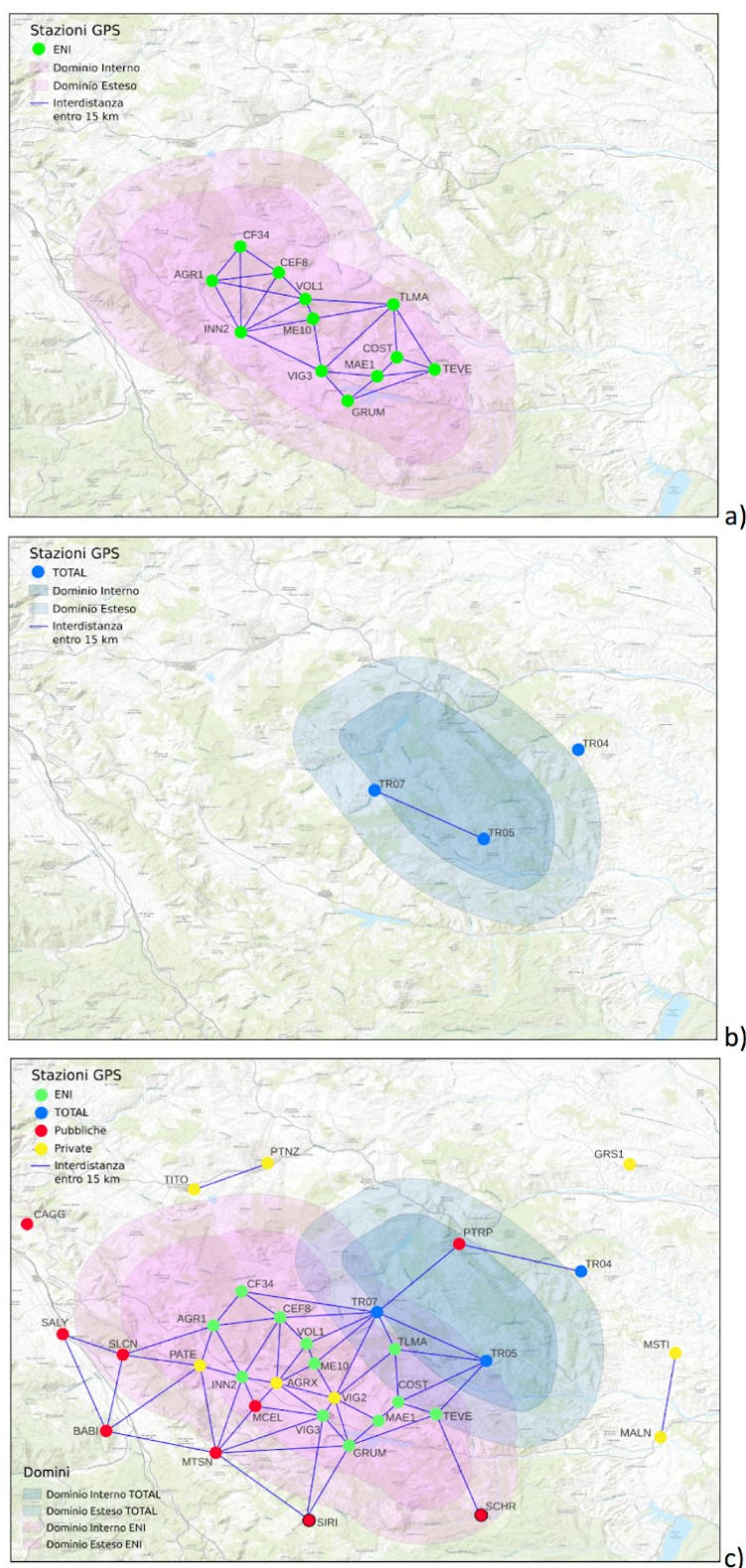
Per quanto riguarda la concessione Gorgoglione possiamo affermare quanto segue:

- La posizione delle stazioni GNSS non è opportunamente distribuita in funzione dell'area da monitorare e le interdistanze delle stazioni è superiore a 15 km;
- È presente una stazione CGPS co-locata con una stazione sismica a banda larga, ossia la stazione TR05;
- Sono state utilizzate stazioni permanenti di precisione, in quanto tutti i siti sono equipaggiati di antenna *choke ring* di tipo geodetico e di ricevitore a doppia frequenza.

Considerata la necessità di integrare le reti di monitoraggio e tenendo conto del “principio di valorizzazione dell'esistente” (come più volte indicato negli ILG), la SPM ha anche valutato se l'interdistanza tra le stazioni GNSS già presenti sul territorio allo stato attuale possa fornire una copertura adeguata o meno al monitoraggio dell'area, considerando anche quelle appartenenti non solo a reti pubbliche (come la RING), ma anche a reti geodetiche o topografiche private (tipo Italpos e Netgeo), integrate con quelle di ENI e di TEPIT, come mostrato in Figura 4.1 (c). Da questa analisi si osserva come il grado di copertura migliori ulteriormente per la concessione di Val d'Agri andando a coprire le aree orientali e occidentali del dominio esteso, anche se alcune parti del settore settentrionale e di quello meridionale rimangono scoperte dalla rete.

Per quanto riguarda invece la concessione di Gorgoglione la copertura del dominio interno migliora solo in parte, evidenziando la necessità di un'integrazione con ulteriori stazioni per tutto il dominio di monitoraggio. Si fa presente che il requisito richiesto dagli ILG di interdistanza minima di 15 km risulta comunque una condizione ben poco

Figura 4.1. Interdistanze entro i 15 km tra le stazioni GNSS. a) tra le sole stazioni della rete ENI in Val d'Agri; b) tra le sole stazioni GNSS della rete TEPIT per Tempa Rossa; c) tra tutte le stazioni attive per le due concessioni e integrando anche le stazioni pubbliche (rosse) e private (gialle) disponibili nell'area.



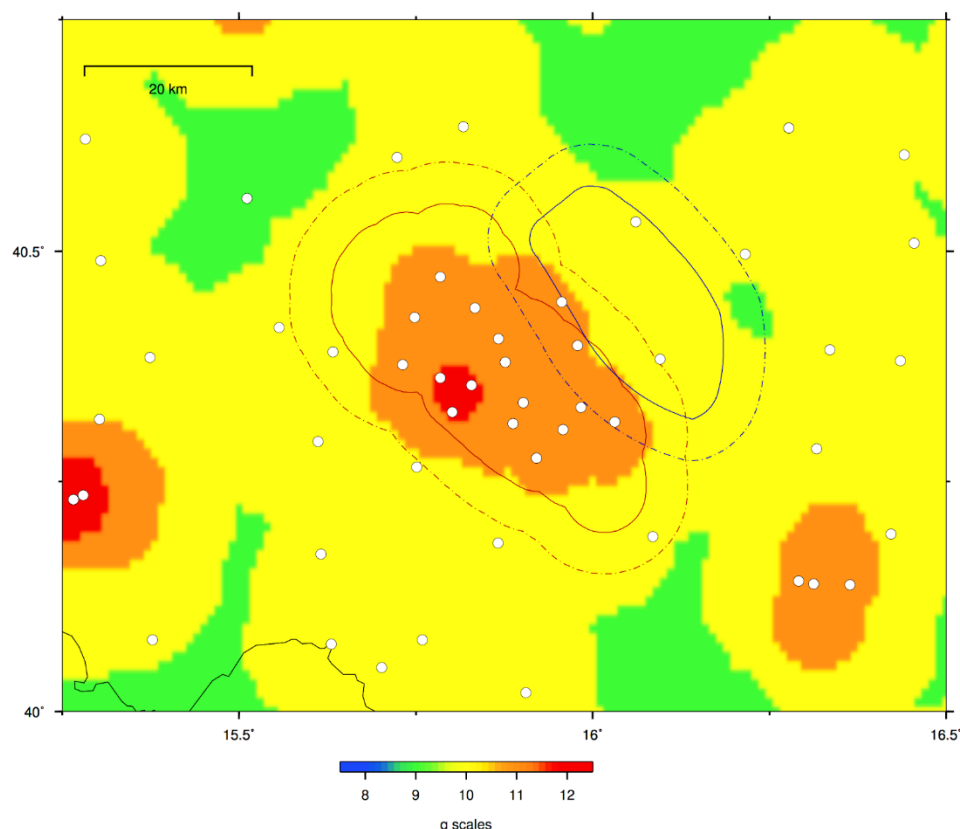
restrittiva ai fini del monitoraggio delle deformazioni del suolo per effetto delle attività industriali. Infatti solitamente questo tipo di deformazioni interessano lunghezze caratteristiche simili alle dimensioni trasversali del giacimento, che vanno da qualche km a massimo una decina di km. Per fornire una caratterizzazione spaziale delle lunghezze d'onda caratteristiche identificabili dalla rete è stata applicata un'analisi con *wavelet* sferiche (Tape et al., 2009) che fornisce una stima della risoluzione spaziale dei segnali da parte della distribuzione delle stazioni, come mostrato in Figura 4.2.

Il valore della scala q indica l'ordine di *wavelet* sferica riproducibile da parte della rete di stazioni, e maggiore è l'ordine, minore sarà la scala spaziale del segnale che può essere identificato in termini di semilunghezza d'onda del segnale, secondo la Tabella 4.3 che segue (da Tape et al., 2009):

Tabella 4.3. Scala spaziale delle *wavelet* sferiche che indicano la semi-lunghezza d'onda del segnale riprodotto

q	Semi-lunghezza (km)
7	87.2
8	43.6
9	21.8
10	11.4
11	5.8
12	2.9

Figura 4.2. Risoluzione spaziale in termini di valore massimo della scala q di *wavelet* sferiche riproducibile con la distribuzione spaziale di tutte le stazioni GNSS, corrispondente alla scala spaziale riportata in Tabella 4.3.



Si osserva pertanto che in corrispondenza della parte centrale della concessione Val d'Agri la rete GNSS sarebbe potenzialmente in grado di identificare segnali di deformazione con lunghezze d'onda dell'ordine di 10 km (grado q 11) vicino alle dimensioni del giacimento, anche grazie all'integrazione con ulteriori stazioni presenti nell'area di monitoraggio. Per ottenere un risultato simile su tutta l'area di monitoraggio sarebbe auspicabile un'integrazione della rete nelle estremità settentrionali e meridionali con ulteriori stazioni, dove le interdistanze risultano maggiori di 15 km.

Per quanto concerne invece la concessione di Gorgoglione la capacità di detezione dei segnali riguarda lunghezze d'onda maggiori, dell'ordine dei 20 km (grado q 10), rendendo molto difficile identificare potenziali segnali dovuti all'attività industriale del giacimento. Si raccomanda perciò di prevedere un'integrazione della rete che copra il dominio interno di monitoraggio con interdistanze tra le stazioni minori o uguali a 10 km.

4.3 Analisi della monumentazione dei siti GNSS

La validazione della rete in termini di monumentazione è un aspetto fondamentale perché solo i siti adeguatamente monumentati possono registrare eventuali segnali di deformazione dovuti all'attività di coltivazione che è l'obiettivo del monitoraggio delle deformazioni del suolo. A questo scopo una corretta monumentazione delle stazioni deve essere *"adatta a scopi geofisici"* e questo avviene solo se il sito è solidale con il substrato roccioso, che può avvenire tramite un ancoraggio che vada in profondità di alcuni metri se il substrato non è affiorante. Questa modalità è l'unica che garantisce di poter registrare segnali dovuti a sorgenti profonde (come deformazioni tettoniche, idrologiche e di giacimento per esempio) e non segnali superficiali di possibili instabilità locali (es. frane, compattazione di sedimenti sciolti, instabilità della piattaforma di appoggio, etc.) che potrebbero *"sporcare"* il segnale rendendo inutilizzabili i dati ai fini del monitoraggio.

Alla luce della precedente sperimentazione svolta per la concessione di Val d'Agri sono state tratte le seguenti considerazioni: *"alcune delle stazioni installate dalla concessionaria potrebbero non garantire la qualità richiesta dagli ILG. Infatti la maggior parte delle installazioni eseguite non è ancorata al substrato roccioso (eccetto la stazione MAE1) risultando perciò vincolata alla parte superficiale del terreno, condizione che potrebbe rischiare di risentire di instabilità locali (dovute sia al terreno che all'assestamento della monumentazione stessa) che possono coprire fortemente il segnale di deformazione da monitorare. Questo fenomeno purtroppo sembra essere presente per alcune stazioni alla luce dei risultati delle analisi dei dati."*

Per quanto riguarda le stazioni di recente installazione a partire dal 2022 non abbiamo a nostra disposizione né informazioni tecniche né immagini dei siti che potrebbero fornire un'indicazione della tipologia di monumentazione. In seguito alle raccomandazioni fatte nei precedenti report (già a partire da Novembre 2020) auspichiamo che questi nuovi siti siano stati realizzati seguendo le indicazioni fornite durante la sperimentazione.

Figura 4.3. Piazzola di installazione della stazione GNSS TR04.



Per quanto concerne invece la concessione di Gorgoglione abbiamo a disposizione delle relazioni tecniche che descrivono brevemente le scelte tecnico-strumentali di ciascun sito. In Figura 4.3 è mostrata l'area di installazione della stazione GNSS TR04 che dovrebbe essere rappresentativa della modalità di installazione eseguita per tutta la rete.

In questi casi è stato scelto di installare l'antenna della stazione GNSS in cima ad un *corner reflector* (utile per ottenere un'elaborazione coerente delle misure InSAR) e alla base di questo è stato installato un inclinometro biassiale per individuare eventuali deviazioni dalla verticale del *corner reflector* stesso.

Riteniamo che questa scelta di monumentazione sia abbastanza discutibile per diverse ragioni:

1. Dall'immagine non sembra che l'antenna sia ancorata al substrato roccioso ma agganciata ad una piazzola di cemento appoggiata sul terreno;
2. La posizione dell'antenna sopra il *corner reflector* non è stabile, come mostrato nei report disponibili sul sito internet (<https://ep.totalenergies.it/sicurezza-e-ambiente/monitoraggio-ambientale/monitoraggio-ambientale-deformazione-del->

[suolo](#)), ma è fortemente influenzata dall'inclinazione del *corner reflector* stesso, come misurato dagli inclinometri;

3. Le piazzole così impostate sono soggette a fenomeni di assestamento e compattazione del terreno di riporto (come evidenziato sempre nei report segnalati) che possono generare misure di deformazione di intensità superiore a quelle da dover monitorare, rendendo il segnale inutilizzabile.

Risulta pertanto evidente che queste tipologie di installazioni non sono adatte a eseguire monitoraggi delle deformazioni del suolo con la precisione necessaria che servirebbe per scopi geofisici, come indicato negli ILG. La SPM si raccomanda pertanto di adeguare i siti così configurati secondo le indicazioni finora fornite per evitare che le misure di deformazione non siano conformi alle indicazioni degli ILG.

4.4 Analisi di qualità dei dati GPS

Per ottenere misure di precisione per scopi geofisici è necessario che la stazione GNSS acquisisca i dati per il maggior tempo possibile e che l'antenna della stazione sia installata al di sopra di eventuali ostacoli locali che potrebbero bloccare o degradare i segnali satellitari in arrivo, come rocce o fogliame. Quando possibile, l'antenna dovrebbe anche essere posizionata sopra qualsiasi superficie riflettente per ridurre il *multipath* (segnale satellitare riflesso indesiderato che riduce la precisione del GPS).

Per valutare perciò la qualità delle acquisizioni geodetiche giornaliere (file RINEX) è stato utilizzato il software TEQC (<https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html>) ampiamente utilizzato per il trattamento standard di dati GNSS durante la fase di pre-processamento e sono state eseguite le seguenti analisi:

1. percentuale dei RINEX giornalieri disponibili per ciascun mese di acquisizione per ogni stazione della concessione Val d'Agri (Figura 4.4) e Gorgoglione (Figura 4.5) e il loro valore medio su tutto l'intervallo di acquisizione (Tabella 4.4)
2. valori medi giornalieri di *multipath* (ossia l'interferenza tra segnali satellitari diretti e riflessi) registrato per ciascuna portante del segnale satellitare (L1 e L2), in termini di MP1 e MP2, ossia la radice quadratica media, RMS, del *multipath* su ciascuna portante. In Tabella 4.4 sono riportati i valori medi per ciascuna stazione per tutto il periodo di acquisizione.
3. percentuale di osservazioni satellitari (o epoche) presenti nei RINEX rispetto alle osservazioni attese nello stesso intervallo di tempo giornaliero durante il quale la stazione è stata funzionante i cui valori medi per tutto il periodo di acquisizione sono riportati in Tabella 4.4.

L'analisi eseguita riguarda l'intervallo temporale che va dalla prima epoca di acquisizione per ciascuna stazione fino a metà ottobre 2024.

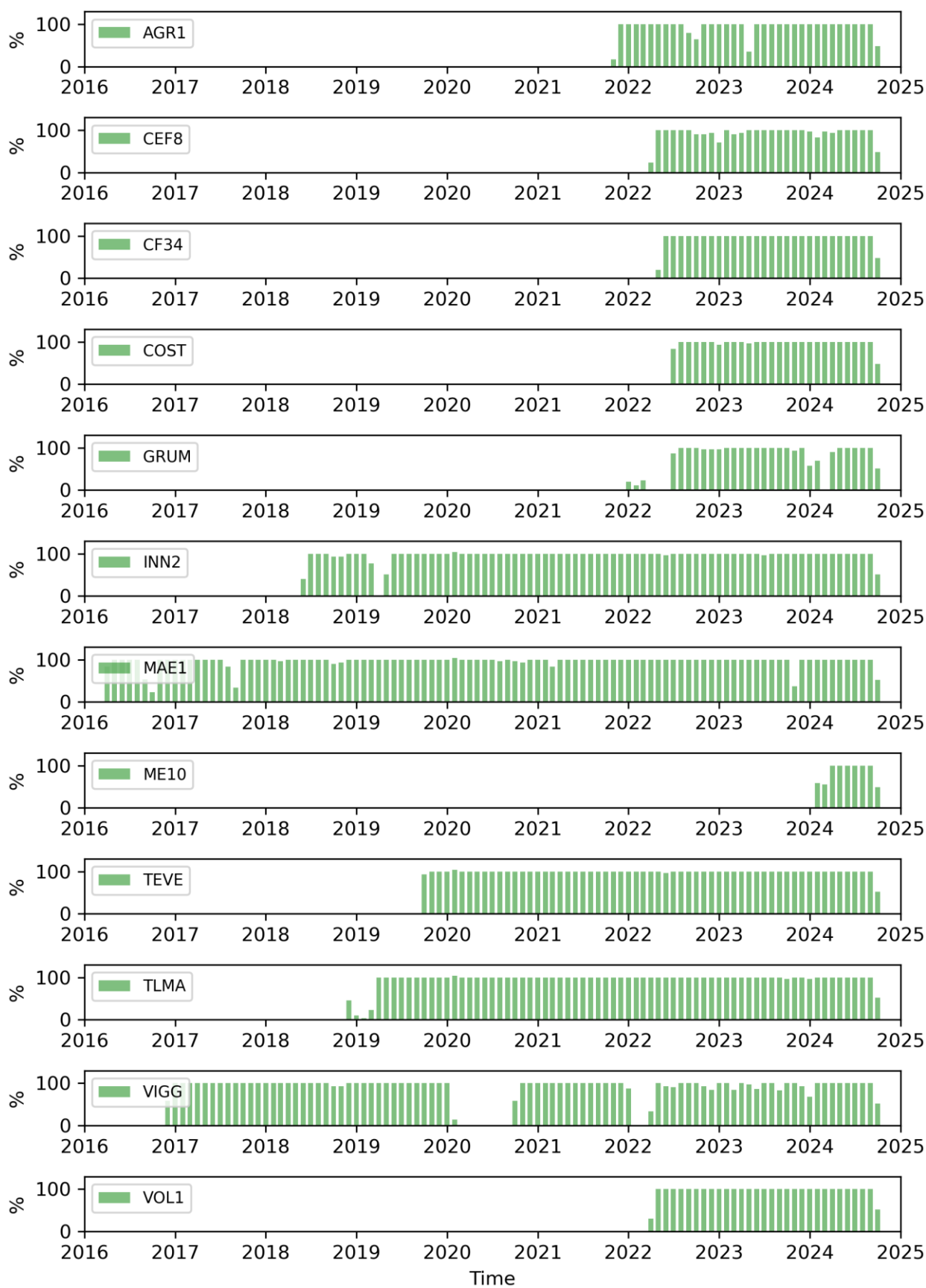


Figura 4.4. Percentuale di RINEX giornalieri disponibili per ciascun mese di acquisizione per ogni stazione della rete di Val d'Agri

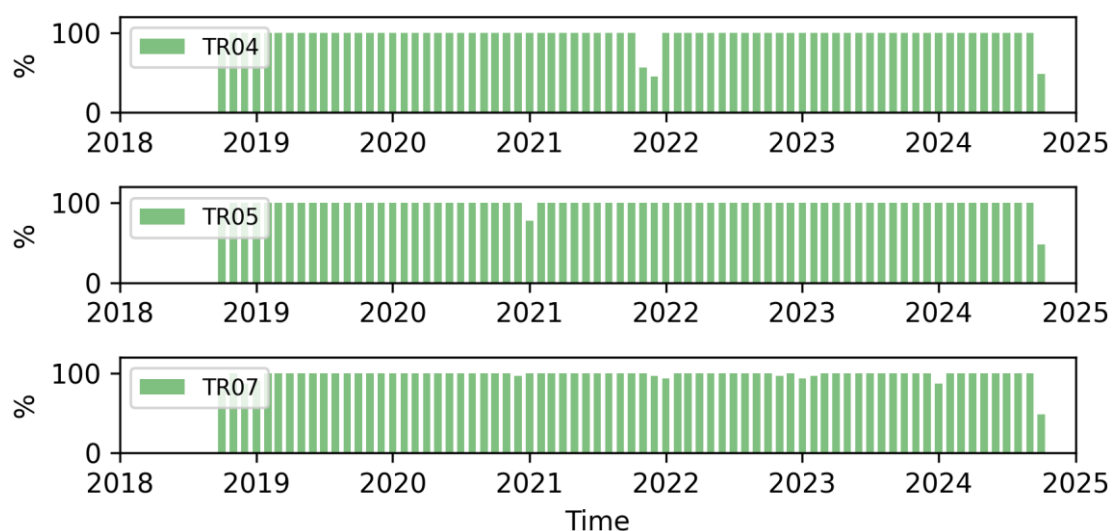


Figura 4.5. Percentuale di RINEX giornalieri disponibili per ciascun mese di acquisizione per ogni stazione della rete Gorgoglione.

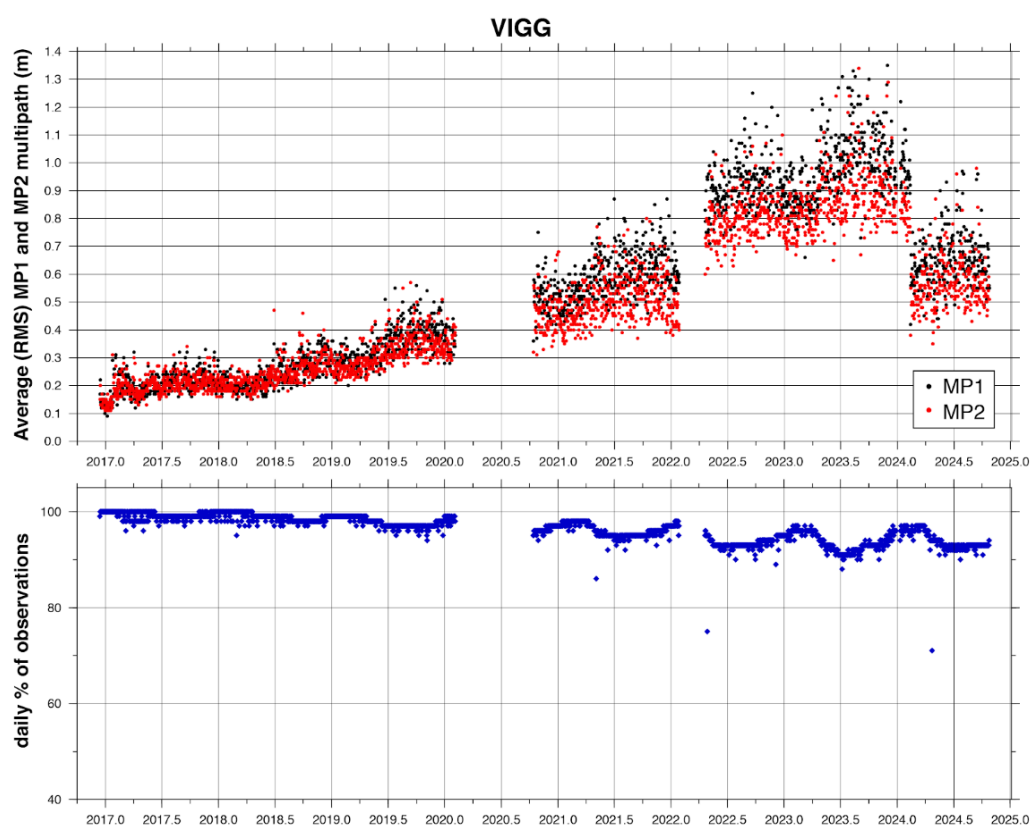
Nome sito	Intervallo temporale (anni)	% RINEX giornalieri disponibili	Valore medio di MP1 (metri)	Valore medio di MP2 (metri)	% media di osservazioni presenti nelle 24h
AGR1 - ENI	2.91	96.49	0.231	0.332	94
CEF8 - ENI	2.51	96.37	0.278	0.323	93.6
CF34 - ENI	2.41	100	0.23	0.337	94.4
COST - ENI	2.3	99.64	0.203	0.326	99.7
GRUM - ENI	2.74	79.48	0.353	0.426	93.9
INN2 - ENI	6.35	97.71	0.254	0.268	99.2
MAE1 - ENI	8.55	97.08	0.215	0.237	97.5
ME10 - ENI	0.69	94.31	0.389	0.34	90
TEVE - ENI	5.06	100	0.25	0.272	99.8
TLMA - ENI	5.85	99.95	0.604	0.534	96.7
VIGG - ENI	7.86	86.97	0.535	0.48	96.4
VOL1 - ENI	2.51	100	0.249	0.27	96.1
TR04 - TEPIT	6.03	97.79	0.413	0.509	92.1
TR05 - TEPIT	6.03	98.83	0.345	0.36	97.2
TR07 - TEPIT	6.03	98.33	0.349	0.347	96.8

Tabella 4.4. Tabella riassuntiva dei parametri di qualità per le acquisizioni disponibili delle stazioni ENI e TEPIT analizzate.

L'intervallo temporale su cui sono stati mediati tutti i parametri di qualità considerati (prima colonna di Tabella 4.4) è stato calcolato considerando come epoca di inizio quella corrispondente al primo RINEX disponibile e non la data ufficiale di installazione delle stazioni (Tabella 4.1 e Tabella 4.2) perché alcune di esse in fase di installazione hanno avuto problemi di alimentazione e hanno cominciato ad acquisire qualche mese più tardi (es. COST e VOL1). Per quanto riguarda il punto 1, dalla Figura 4.4 e Figura 4.5 si può osservare come la maggior parte delle stazioni mostri una buona continuità del dato, a parte alcune interruzioni di acquisizione dovute a cambi strumentali, come per esempio per INN2 e VIGG come riportato in Tabella 4.1.

Per quanto concerne invece il punto 2, ricordiamo che per stazioni di buona qualità i valori di MP1 e MP2 dovrebbero variare rispettivamente tra 0.1 - 0.4 m e 0.1 - 0.6 m. Dai valori riportati in Tabella 4.4 si osserva come per la maggior parte delle stazioni i valori medi di MP1 e MP2 rientrino negli intervalli su menzionati, tranne i valori di MP1 per le stazioni TLMA, VIGG e TR04. Questi valori di disturbo devono essere valutati anche nel tempo per verificare che non sussistano situazioni di peggioramento di acquisizione del dato. Si riporta come esempio il caso della stazione VIGG (Figura 4.6) che era stata già notata come stazione con diversi fattori di disturbo crescenti nel tempo (come la vegetazione rigogliosa nei pressi della stazione), che negli ultimi anni ha visto un notevole peggioramento, poi ridimensionato nel 2024 in seguito plausibilmente al cambio strumentale avvenuto a inizio anno (Tabella 4.1).

Figura 4.6. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione VIGG (Val d'Agri) in termini di valori di *multipath* MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).



Le possibili difficoltà di funzionamento ed acquisizione possono essere verificate anche con l'analisi del punto 3, ossia dall'analisi delle percentuali di acquisizioni satellitari eseguite rispetto a quelle attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo. Una buona stazione ha valori al di sopra della soglia del 95%, valore che non tutte le stazioni delle reti analizzate soddisfano (Tabella 4.4), tipo molte delle recenti stazioni in Val d'Agri (AGR1, CEF8, CF34, GRUM e ME10) e TR04 per la concessione di Gorgoglione. Questo può significare che la scelta dei siti potrebbe non essere ottimale in termini di visuale per la ricezione dei segnali satellitari per effetto della presenza di possibili elementi fissi e vegetativi che disturbano il segnale.

L'andamento nel tempo di questi parametri di qualità è stato valutato per tutte le stazioni delle due reti e sono mostrati nell'Appendice B. Si osserva che per la maggior parte delle stazioni questi valori sono prevalentemente costanti nel tempo, mentre alcune stazioni mostrano un andamento stagionale ciclico per entrambe le tipologie di misure che possono essere dovuti a possibili fattori di disturbo vegetativo o riflettenti che andrebbero indagati sito per sito. Per alcune stazioni è possibile osservare un salto nei valori di MP1 e MP2 che diminuiscono in modo significativo, portando quindi ad un miglioramento nelle acquisizioni, e questo potrebbe essere probabilmente dovuto ad un aggiornamento del firmware dei ricevitori delle stazioni. Si raccomanda pertanto di mantenere la strumentazione adeguatamente aggiornata per ottenere le misure il più possibile accurate.

5 Monitoraggio sismico e analisi dati

Per l'intervallo di tempo relativo a questo rapporto di monitoraggio (15/04/2024 - 15/10/2024), sono stati complessivamente localizzati 1915 eventi sismici nell'area di attenzione definita attorno ai domini di monitoraggio in Basilicata, che comprende un buffer spaziale di 20 km intorno all'intersezione dei DE delle concessioni Val d'Agri e Gorgoglione. Le localizzazioni all'interno del dominio di attenzione della SPM sono state calcolate nel sistema di acquisizione ed elaborazione SeisComp, con algoritmo di inversione Hypo71 e modello di velocità 1D presentato in Tabella 5.1, come da Improta et al. (2017). Infine, la stima della magnitudo degli eventi è calcolata utilizzando la scala di magnitudo locale secondo la relazione di Bakun e Joyner (1984), M_{Lbj} , presentata nel § 3.3.

Profondità strato (top) [km]	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	12.0	15.0	25.0
V_p [km/s]	4.2	4.8	5.2	5.6	6.0	6.1	6.2	6.25	6.3	6.48	6.9	7.12	7.5

Tabella 5.1. Modello 1D a strati su semispazio per la velocità V_p utilizzato presso la Sala di monitoraggio CMS per l'elaborazione dei dati di sismicità nell'area di monitoraggio in Basilicata (da Improta et al., 2017). Si riporta il valore V_p in km/s corrispondente al top di ogni strato e del semispazio. Il rapporto V_p/V_s è fissato a 1.9.

5.1 Disponibilità delle stazioni

La rete di monitoraggio sismico è composta da un totale di 57 stazioni sia private che pubbliche. Al fine di garantire l'attività di monitoraggio, quotidianamente viene controllato che le stazioni siano in costante acquisizione. La Tabella 5.2 e la Tabella 5.3 riportiamo la percentuale mensile di dati disponibili per le reti di proprietà, ENI e TEPIT, rispettivamente. Per entrambe le reti, la completezza delle registrazioni è generalmente superiore al 99%, suggerendo robustezza ed affidabilità di entrambi i sistemi.

Stazione	% dati maggio	% dati giugno	% dati luglio	% dati agosto	% dati settembre	% dati ottobre
ABRE	100	98.5	98.9	97.5	99.9	100
ARME	99.9	99.8	99.5	99.9	99.5	100
BRIN	99.2	99.7	100	100	99.8	99.7
CASE	99.1	99	100	100	99.4	99.9
FORE	99.7	99.9	99	100	99.9	100

GRUE	99.8	99.2	100	100	99.9	100
GUPE	99.8	99.9	100	100	100	96.7
LAPE	99.8	99.6	99.7	99.1	100	99.8
LAUE	99.8	99.9	99.9	99.6	99.3	99.7
MANE	99.6	99.8	99.9	99.2	98.9	99.7
MARE	99.7	99.6	99.7	99.8	99.2	100
MOLE	99.5	99.5	99.7	100	100	99.6
MOMN	99.6	99.6	99.4	99.6	99.7	98.6
PADE	99.6	99.9	100	100	100	100
PADH	99.7	99.6	99.6	100	99.9	99.5
RAPE	97.4	99.4	99.8	99.6	99.8	100
SPIE	99.7	99.7	100	99.6	99.5	100
TITE	99.8	100	98.8	99	99.6	99.7
TRAE	98.9	99.9	99.7	99.5	99.5	99.8
VIGE	99.6	99.8	99.8	99.7	99.4	99.9

Tabella 5.2. Percentuale della disponibilità dei dati delle stazioni della rete VA negli ultimi sei mesi.

Stazione	% dati maggio	% dati giugno	% dati luglio	% dati agosto	% dati settembre	% dati ottobre
TR01	100	100	100	100	100	100
TR02	100	100	100	100	100	100
TR03	100	100	100	100	100	100
TR04	100	100	100	100	100	100
TR05	100	100	100	100	100	99.9
TR06	100	100	100	100	100	100
TR07	100	100	100	100	100	100
TR08	100	100	100	100	100	100
TR09	100	100	100	100	100	100
TR10	100	94.2	100	100	100	100
TR11	100	100	100	100	52.1	100
TR12	100	100	100	100	100	100

Tabella 5.3. Percentuale della disponibilità dei dati delle stazioni della rete TP negli ultimi sei mesi.

5.2 Analisi della sismicità localizzata dalla SPM nei domini di monitoraggio (DE, DI) della concessione Val d'Agri: 15 Aprile - 15 Ottobre 2024

Nel periodo di riferimento del presente rapporto (15/04/2024 - 15/10/2024), sono stati localizzati 1127 eventi dentro al DE, dei quali 349 eventi all'interno del DI. La Tabella 5.4 mostra alcuni valori statistici significativi per i due domini di monitoraggio. In particolare, si presenta un confronto tra il numero di eventi (e le magnitudo min/max) registrati dalla sala di monitoraggio del CMS ed il numero di eventi registrati dalla RSN, dal quale si evince che il numero di eventi localizzato dalle due sale di monitoraggio differisce per oltre un ordine di grandezza. Inoltre, siccome le soluzioni della sala sismica della rete nazionale in genere tendono a essere più profonde rispetto a quelle della sala sismica del CMS (principalmente a causa del differente modello di velocità utilizzato), nella tabella sono stati anche inseriti i numeri di eventi dentro ai contorni dei domini senza tener conto della profondità delle soluzioni della RSN; anche in questo caso, il numero di eventi rilevati dalla SPM è chiaramente superiore. Le localizzazioni degli eventi dal bollettino della sala di sorveglianza nei diversi domini di monitoraggio sono presentati nella Figura 3.5.

Periodo di riferimento: 15/04/ - 15/10 2024	Dominio Interno	Dominio Esteso	DR (Costa Molina2)
Catalogo – Sala Sismica CMS, rete sismica integrata			
Numero di eventi localizzati - sala sismica CMS	349	1127	85
M _{Lbj} minima (CMS)	-1,1	-1,1	-1,1
M _{Lbj} massima (CMS)	1,9	2,5	1,9
Numero di eventi sopra la magnitudo di completezza (CMS) [M _C =0,1 in DI e DE; M _C =-0,1 in DR]	113	370	55
Catalogo – Sala Sismica Nazionale, Rete Sismica Nazionale* (*Nota: In parentesi considerando gli eventi senza limite di profondità dei domini)			
Numero di eventi localizzati - Rete Sismica Nazionale	3 (27*)	42 (61*)	0 (3*)
M _L minima	0,7 (0,7*)	0,5 (0,5*)	0 (0,8*)
M _L massima	1,1 (2,6*)	2,5 (2,6*)	0 (1,8*)

Tabella 5.4. Riassunto del numero di eventi registrati nei domini di monitoraggio della concessione Val d'Agri (incluso il DR associato al pozzo di reiniezione Costa Molina 2), nel periodo di riferimento di questo rapporto.

La Figura 5.1 mostra gli epicentri della sismicità rilevata e localizzata nei domini della concessione Val d'Agri nel periodo di riferimento di questo rapporto; il Bollettino completo degli eventi localizzati dalla SPM è riportato nell'Appendice C – Bollettino di

monitoraggio sismico (VAL D'AGRI E GORGOGNONE). I colori dei cerchi indicano la profondità dell'evento, mostrando in nero gli eventi che ricadono sotto il limite del dominio esteso (profondità > 13 km); le dimensioni dei cerchi sono scalati in funzione della magnitudo. Infine, le croci nere mostrano localizzazioni di eventi SPM precedenti al periodo di riferimento (dal 01/01/2021), calcolate dalla SPM durante la sperimentazione. La Figura 5.1 mostra un ingrandimento della mappa nell'area del pozzo di reiniezione Costa Molina 2, con la sismicità localizzata nel DR definito utilizzando un raggio di 5 km attorno al pozzo e un limite di profondità di 8 km.

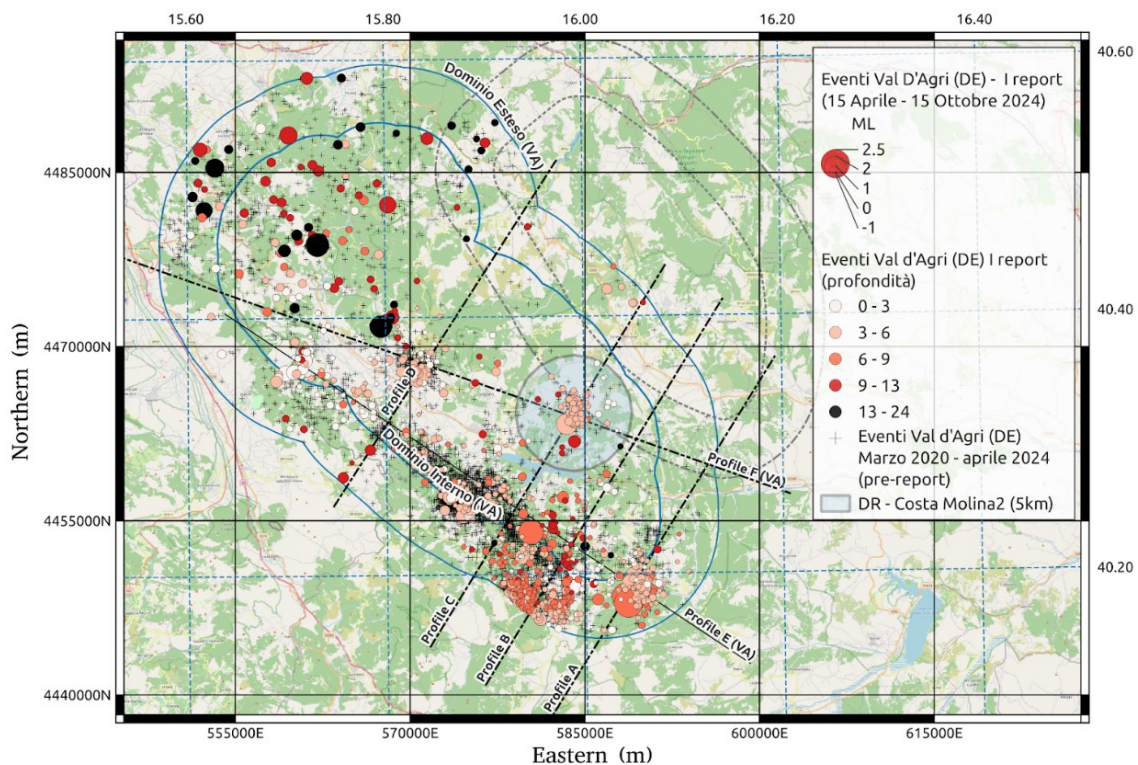


Figura 5.1. Mappa degli epicentri degli eventi sismici localizzati dalla SPM nel periodo 15/04/2024 - 15/10/2024. I perimetri dei Domini Interno ed Esteso della Concessione Val d'Agri sono disegnati in blu. Il Dominio di Riferimento di raggio 5 km attorno alla postazione del CM2 è segnalato in azzurro. I domini di monitoraggio di Gorgoglione sono mostrati per riferimento con linee tratteggiate grigie.

Nel periodo in esame la Sala di Sorveglianza del CMS ha localizzato una sismicità in genere di bassa magnitudo; l'evento di magnitudo maggiore registrato nel dominio interno nel semestre di riferimento di questo rapporto è di $M_{Lbj}=1.9$, il quale ricade anche dentro al DR del pozzo Costa Molina 2. Per quanto riguarda la sismicità nel dominio esteso, l'evento maggiore è stato localizzato nella zona SE, con $M_{Lbj}=2.5$. La sismicità si mostra diffusa nella zona NW dei domini di monitoraggio, e si mantiene attiva la tipica sismicità regionale della catena dei Monti della Maddalena, che interessa prevalentemente la porzione SW dei Domini Interno ed Esteso. Inoltre, è possibile vedere due clusters (i.e., raggruppamenti) di sismicità all'interno del DI della

concessione Val d'Agri: i) il cluster attorno al pozzo Costa Molina 2 (descritto nella sezione successiva), e ii) un cluster nella porzione centrale del DI (Comuni di Villa d'Agri, Marsicovetere), che è già stato individuato e descritto nei precedenti rapporti durante la sperimentazione.

La Figura 5.3 mostra la distribuzione degli ipocentri (in uno spessore di 6 km di distanza centrato su ogni profilo) proiettati sui profili C e D che attraversano i domini in direzione SW-NE, e sul profilo F che attraversa i domini in direzione NO-SE (i profili sono mostrati nella mappa in Figura 5.1). Questi tre profili intersecano i principali cluster di sismicità osservati all'interno del DI menzionati sopra. Gli altri profili mostrati nella mappa in Figura 5.2 si trovano nell'Appendice F – Sezioni verticali della sismicità lungo altri profili nei domini di monitoraggio della concessione Val D'Agri. Le sezioni verticali di Figura 5.2 mostrano una sismicità localizzata principalmente nei primi 8 km di profondità.

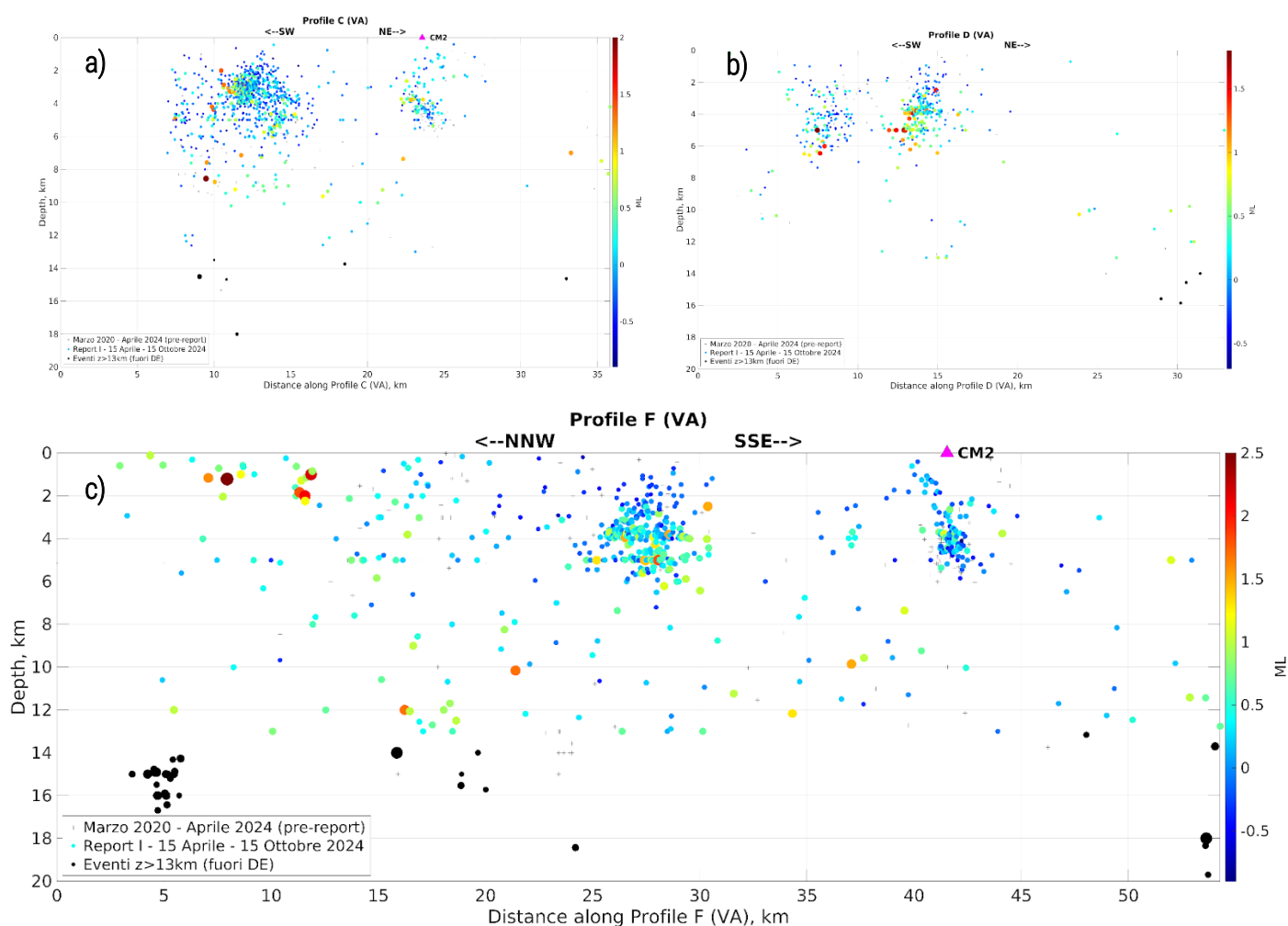


Figura 5.2. Sezioni verticali della sismicità lungo i profili C, D e F (mostrati in Figura 5.1).

La Figura 5.3 mostra la sismicità registrata nel Dominio Interno della concessione Val d'Agri sopra la soglia di completezza calcolata ($M_c=0.1$, § 3.3.4) per tutti i dati acquisiti dall'inizio della sperimentazione (in rosso quelli registrati nel periodo di riferimento di questo rapporto). La figura illustra l'evoluzione temporale degli eventi sia in termini di M_{Lbj} (pannello a sinistra in alto) che considerando il numero giornaliero di eventi sopra la completezza (pannello a sinistra in basso), mentre nel pannello di destra riportiamo il numero cumulado ed il momento sismico cumulado rilasciato.

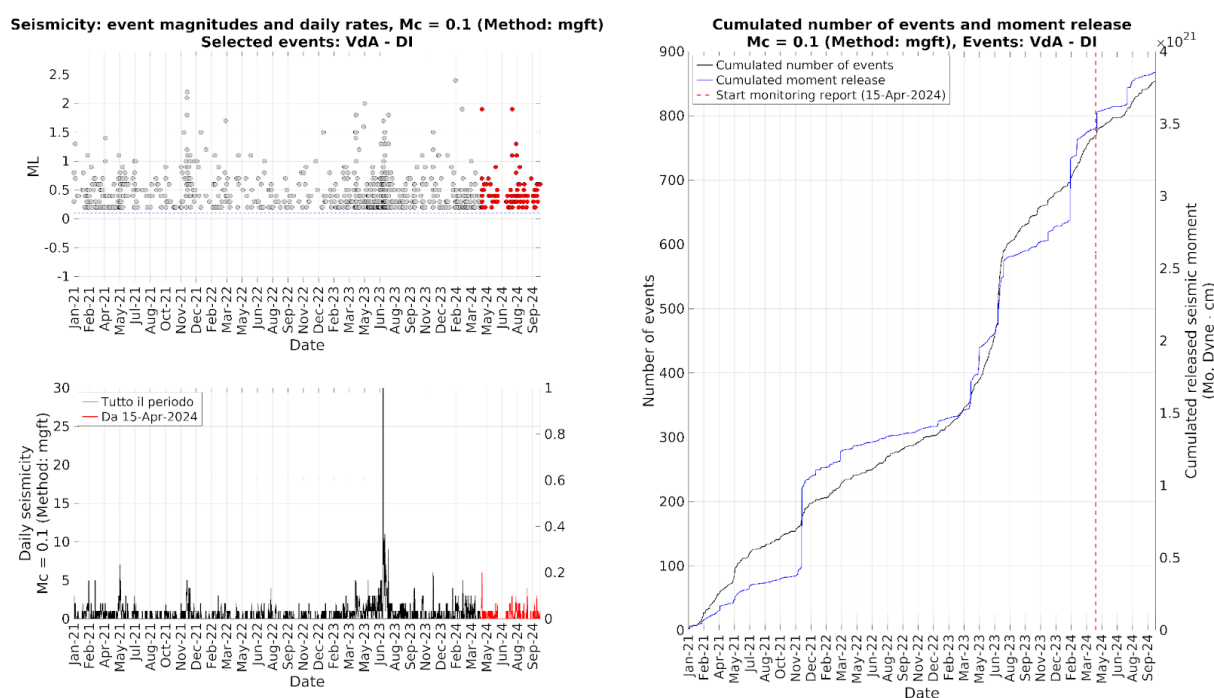


Figura 5.3. Sismicità registrata nel dominio interno della concessione Val d'Agri sopra la soglia di completezza calcolata ($M_c=0.1$): Plot della magnitudo vs tempo (sinistra-sopra), del numero giornaliero di eventi (sinistra-sotto), e del numero cumulado ed il momento sismico rilasciato cumulado (destra). Dati da gennaio 2021, quelli evidenziati in rosso (o dopo la linea tratteggiata rossa) sono relativi al periodo di riferimento di questo rapporto.

Come si può vedere nella figura, il rilascio di sismicità (e momento) nell'area del DI per il periodo di riferimento del rapporto (a destra della linea verticale rossa) segue un andamento con una pendenza pressoché stabile rispetto alle molteplici fluttuazioni che si osservano nel periodo precedente; in particolare si osserva una variazione notevole tra giugno e luglio del 2023, con un aumento della pendenza associato principalmente ad attività sismica nella zona SO del dominio (SO del lago del Pertusillo).

5.3 Dominio di riferimento intorno al pozzo di reiniezione CM2

Nel periodo di tempo relativo a questo rapporto la Sala di Monitoraggio del CMS ha registrato e localizzato 85 eventi all'interno del Dominio di Riferimento DR attorno al pozzo CM2 (il bollettino completo degli eventi viene riportato nell'Appendice C). La localizzazione epicentrale di questi eventi è mostrata nella Figura 5.4, e la distribuzione in profondità è visibile nei profili C e F in Figura 5.2 a, c).

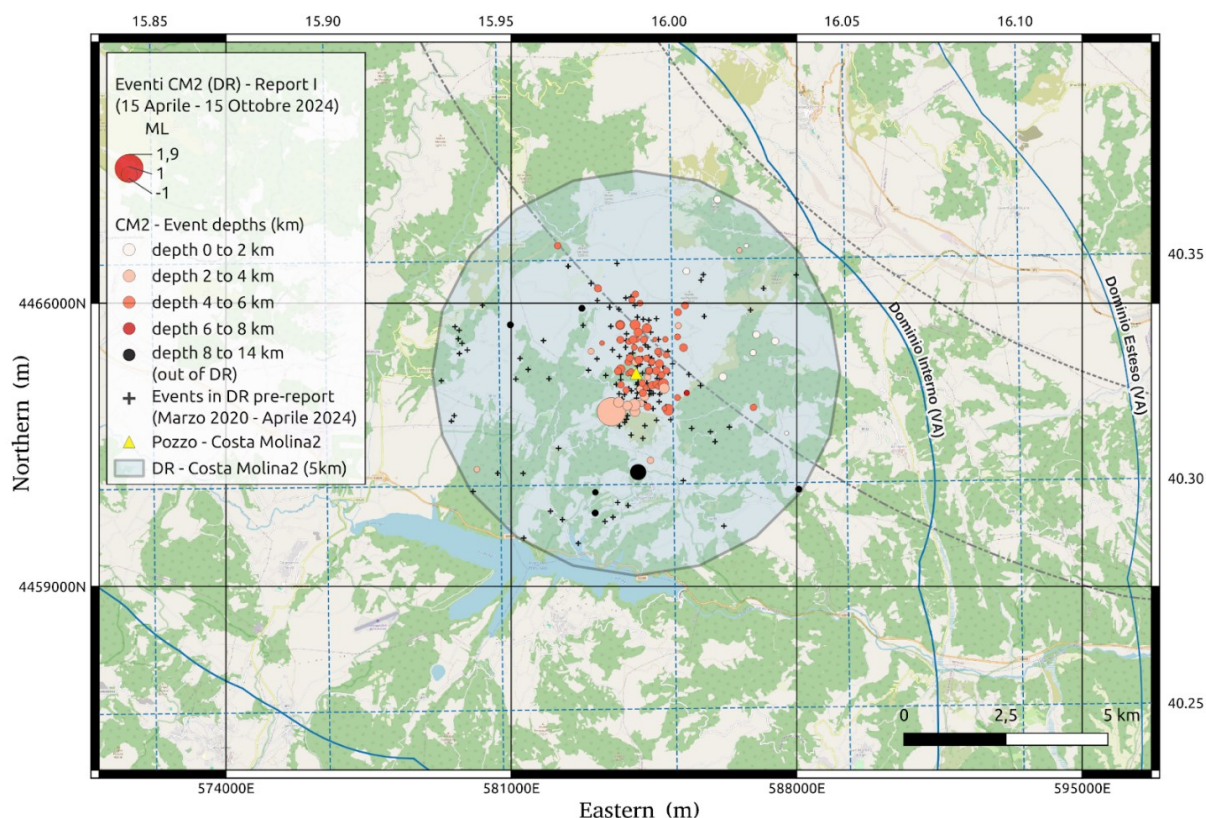


Figura 5.4. Mappa degli epicentri degli eventi sismici localizzati dalla SPM dentro al DR del pozzo di reiniezione Costa Molina2 nel periodo 15/04/2024 - 15/10/2024. I perimetri dei Domini Interno ed Esteso della Concessione Val d'Agri sono disegnati in blu. Il Dominio di Riferimento di raggio 5 km attorno alla postazione del CM2 è segnalato in azzurro. I domini di monitoraggio di Gorgoglione sono mostrati per riferimento con linee tratteggiate grigie.

Considerando l'energia rilasciata, le curve cumulate del numero di eventi e del momento sismico mostrano una variazione di pendenza notevole ad aprile 2024. Questa variazione è associata alla sequenza sismica avvenuta nel DR dopo l'evento di M_{Lbj} 1.94 del giorno 18/04/2024 alle ore 22:00:40 UTC.

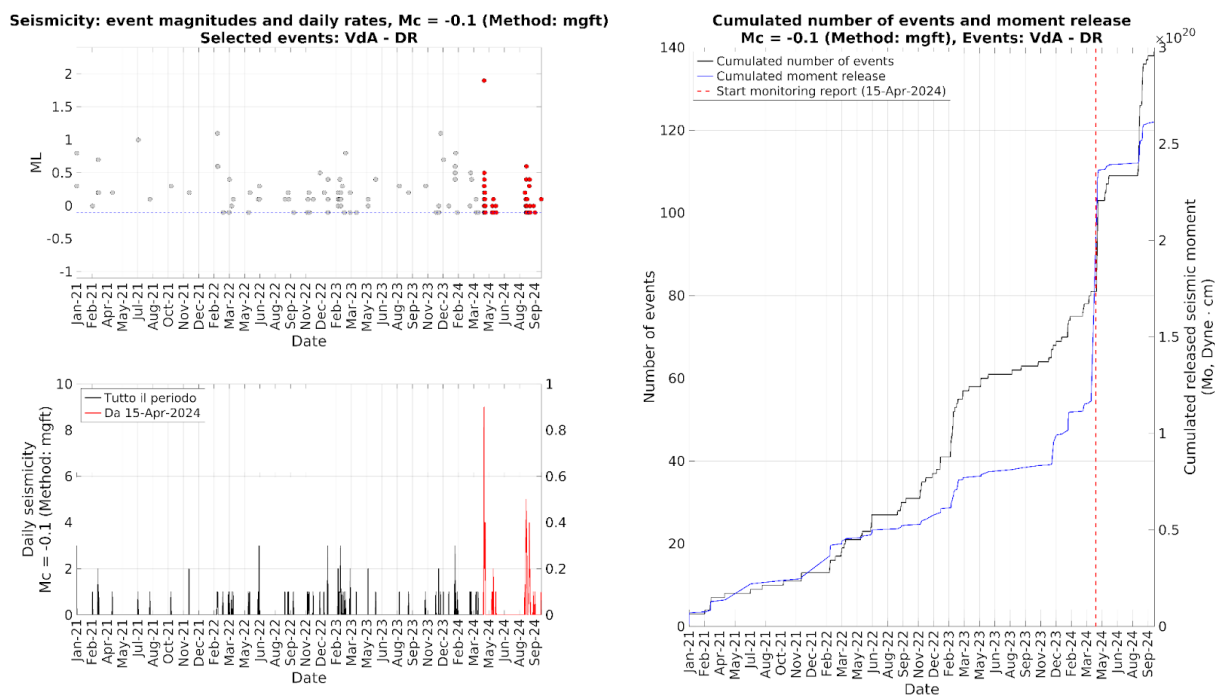


Figura 5.5. Sismicità registrata sopra la soglia di completezza calcolata ($M_c=-0,1$) nel DR associato al pozzo di reiniezione Costa Molina 2 della concessione Val d'Agri: Plot della magnitudo vs. tempo (sinistra-sopra), del numero giornaliero di eventi (sinistra-sotto), e del numero cumulo e momento sismico rilasciato cumulo (destra). Dati da gennaio 2021, ed evidenziato in rosso il periodo di riferimento di questo rapporto.

I parametri di localizzazione e magnitudo di questo evento maggiore, comunicati al comitato di monitoraggio con prot. INGV 0010396/2024 del 19/04/2024, sono:

- Data/tempo origine: 2024-04-18 22:00:40 UTC; 2024-04-19 00:00:40 ora italiana
- M_{Lbj} : 1.94 ± 0.4 (Magnitudo Locale Bakun & Joyner)
- PGV: $5.85 \cdot 10^{-4}$ m/s
- PGA: $4.96 \cdot 10^{-2}$ m/s²
- RMS: 0.380
- Gap azimutale: 33
- Latitudine: 40.3162 N;
- Longitudine: 15.9822 E;
- Profondità: 4.0 km
- n. fasi: 91

Le misure sopra riportate indicano un superamento dei valori di soglia di riferimento disponibili al § 9 degli ILG sia per la Magnitudo che per la PGA.

La Figura 5.6 mostra il meccanismo focale calcolato sulla base dell'inversione della polarità delle fasi P risulta essere di tipo normale con i seguenti parametri:

strike/dip/slip = $162.94^\circ / 45.04^\circ / -84.88^\circ$

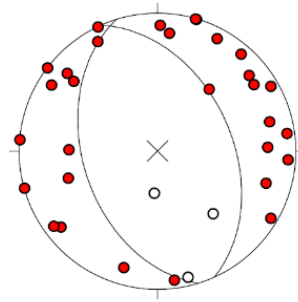


Figura 5.6. Meccanismo focale dell'evento di $M=1.94$, verificatosi in data 18/04/2024 alle ore 22:00:40 all'interno del DR. (cerchi rossi/bianchi = polarità UP/DOWN).

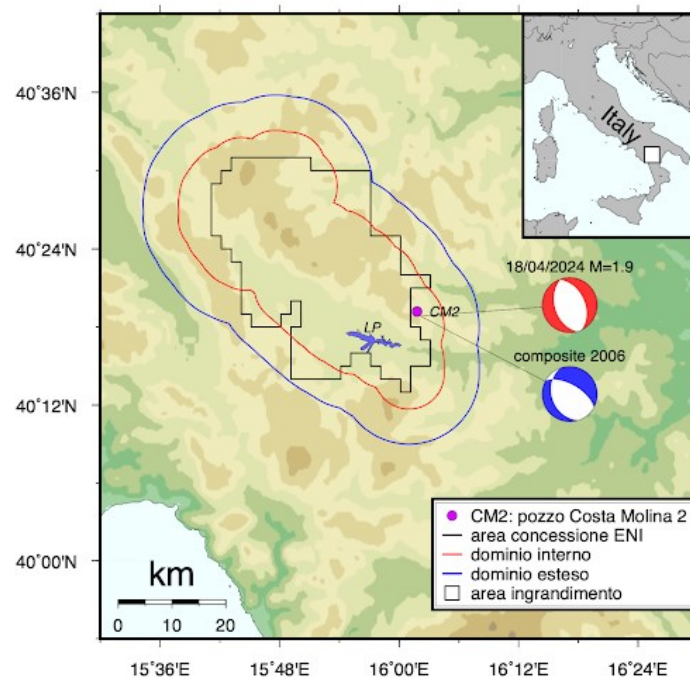


Figura 5.7. Meccanismo focale dell'evento di cui sopra (Figura 5.6) comparato con il meccanismo focale composito dello sciame sismico del 2006 (Improta et al., 2015).

Confrontando il meccanismo focale dell'evento in oggetto con il meccanismo composito, pubblicato da Improta et al. (2015) sulla base di 41 eventi, verificatisi nel 2006 nelle vicinanze del pozzo di reiniezione CM2 (Figura 5.7), si conferma un meccanismo focale di faglia normale con uno strike di $\sim 160^\circ$ (NNW - SSE).

5.4 Valori di PGA e PGV registrati nei domini di monitoraggio della concessione Val d'Agri

Le misure di PGA e PGV sono tra i parametri sismici suggeriti per l'implementazione del sistema di gestione del monitoraggio (i.e., il TLS); inoltre, la capacità di eseguire queste misure è tra i parametri che la SPM è chiamata a considerare nella valutazione complessiva delle prestazioni della rete di monitoraggio (§ 5.3, ILG).

La Figura 5.8 mostra le misure di PGA e PGV in funzione della M_{Lbj} dell'evento: i valori mostrati sono, per ogni evento, la misura massima in una delle stazioni della rete integrata nei domini di monitoraggio in Basilicata. La Figura 5.8a mostra i valori di questi parametri relativi ad eventi accaduti nel DI. I valori di PGA (destra) variano in un rango di circa 4 ordini di grandezza, con misure che vanno da valori dell'ordine di 10^{-6} m/s^2 fino a valori nell'ordine di 1×10^{-2} m/s^2 ; allo stesso modo, le misure di PGV in ordine di grandezza variano principalmente tra 10^{-7} e 10^{-3} m/s . Per completezza, in Figura 5.8b si mostrano i valori di PGA e PGV considerando tutti gli eventi nel DE della concessione. Tutti i valori delle misure di PGA e PGV sono riportati nel bollettino sismico allegato al report (vedere Appendice C – Bollettino di monitoraggio sismico (VAL D'AGRI E GORGOGLIONE)).

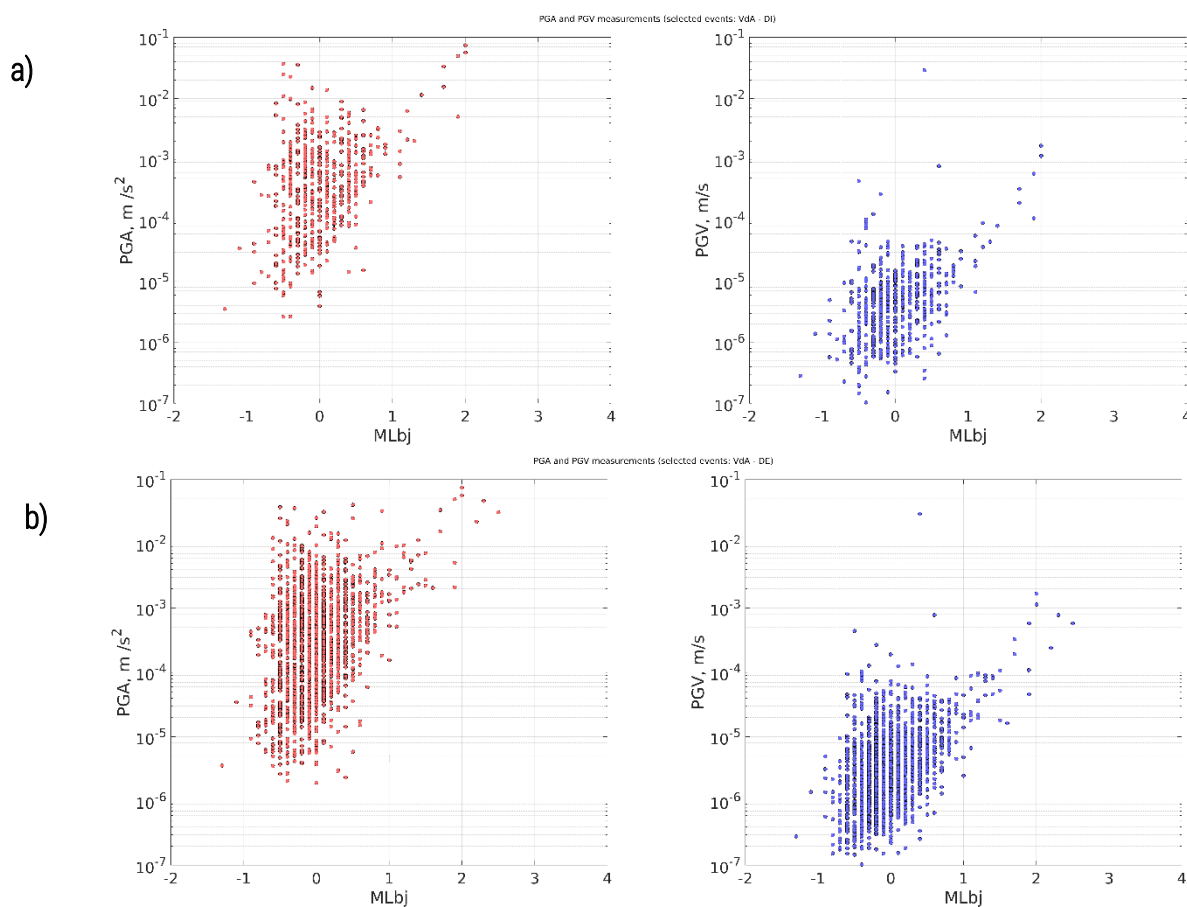


Figura 5.8. Valori delle misure di PGA e PGV nelle stazioni della rete integrata nei domini di monitoraggio in Basilicata, per eventi accaduti all'interno del (a) DI e (b) DE della concessione Val d'Agri

5.5 Analisi della sismicità localizzata dalla SPM nei domini di monitoraggio (DE, DI) della concessione Gorgoglione: 15 Aprile -15 ottobre 2024

Considerando l'intervallo di tempo relativo a questo rapporto di monitoraggio (15/04/2024 - 15/10/2024), sono stati localizzati 60 eventi internamente al DE della concessione Gorgoglione, di questi 19 sono all'interno del DI. La Tabella 5.5 mostra alcuni valori statistici significativi per i due domini di monitoraggio. Come per la concessione Val d'Agri, si presenta un confronto tra il numero di eventi (e le magnitudo min/max) registrati dalla sala di monitoraggio del CMS ed il numero di eventi registrati dalla sala di sorveglianza sismica nazionale. Come per il caso nella concessione Val d'Agri, il numero di eventi rilevati dalla SPM è chiaramente superiore rispetto agli eventi del catalogo della sola rete sismica nazionale, anche quando si considerano gli eventi dentro ai contorni dei domini senza tener conto della profondità. Le localizzazioni degli eventi dal bollettino della RSN nei diversi domini di monitoraggio sono presentati nella Figura 3.5. Inoltre, per completezza dell'informazione, nella tabella riportiamo anche i numeri considerando tutta la sismicità nel volume dentro ai domini (cioè, senza limitare la scelta in profondità), visto che le soluzioni ottenute con il modello di velocità finora utilizzato per localizzare in maniera omogenea la sismicità in entrambi i domini è tendenzialmente più veloce nei primi 10-15 km rispetto ad altri modelli proposti per la zona di Gorgoglione (e.g. Maggi et al., 2009), e per questo motivo le soluzioni qui presentate tendenzialmente risultano più profonde rispetto a localizzazioni con modelli di velocità alternativi.

Periodo di riferimento: 15/04/ - 15/10 2024 (*Nota: In parentesi considerando gli eventi senza limite di profondità dei domini)	Dominio Interno	Dominio Esteso
Catalogo – Sala Sismica CMS		
Numero di eventi localizzati - sala sismica CMS	19 (90*)	60 (130*)
M _L minima (CMS)	-0,2 (-0,2)	-1,1 (-1,1*)
M _L massima (CMS)	2,0 (3,0)	2,0 (3,1*)
Numero di eventi sopra la magnitudo di completezza (CMS) [M _C =0,4 in entrambi i domini]	9 (57)	18 (76*)
Catalogo – Sala Sismica Sorveglianza Nazionale		
Numero di eventi localizzati - Rete Sismica Nazionale	2 (16*)	4 (28*)
M _L minima	0,8 (0,8*)	0,8 (0,8*)
M _L massima	1,7 (2,9*)	2,0 (2,9*)

Tabella 5.5. Riassunto del numero di eventi registrati nei domini di monitoraggio della concessione Gorgoglione, nel periodo di riferimento di questo rapporto.

La Figura 5.9 mostra gli epicentri della sismicità rilevata e localizzata nei domini della concessione Gorgoglione nel periodo di riferimento di questo rapporto, il Bollettino completo degli eventi localizzati dalla SPM è riportato nell'Appendice C – Bollettino di monitoraggio sismico (VAL D'AGRI E GORGOGILIONE). I colori dei cerchi indicano la profondità dell'evento, mostrando in nero gli eventi che ricadono sotto il limite del dominio esteso (profondità > 15 km); le dimensioni dei cerchi sono scalati in funzione della magnitudo. Infine, le croci nere mostrano le localizzazioni di eventi avvenuti precedentemente al periodo di riferimento (dal 01/01/2021), durante la sperimentazione.

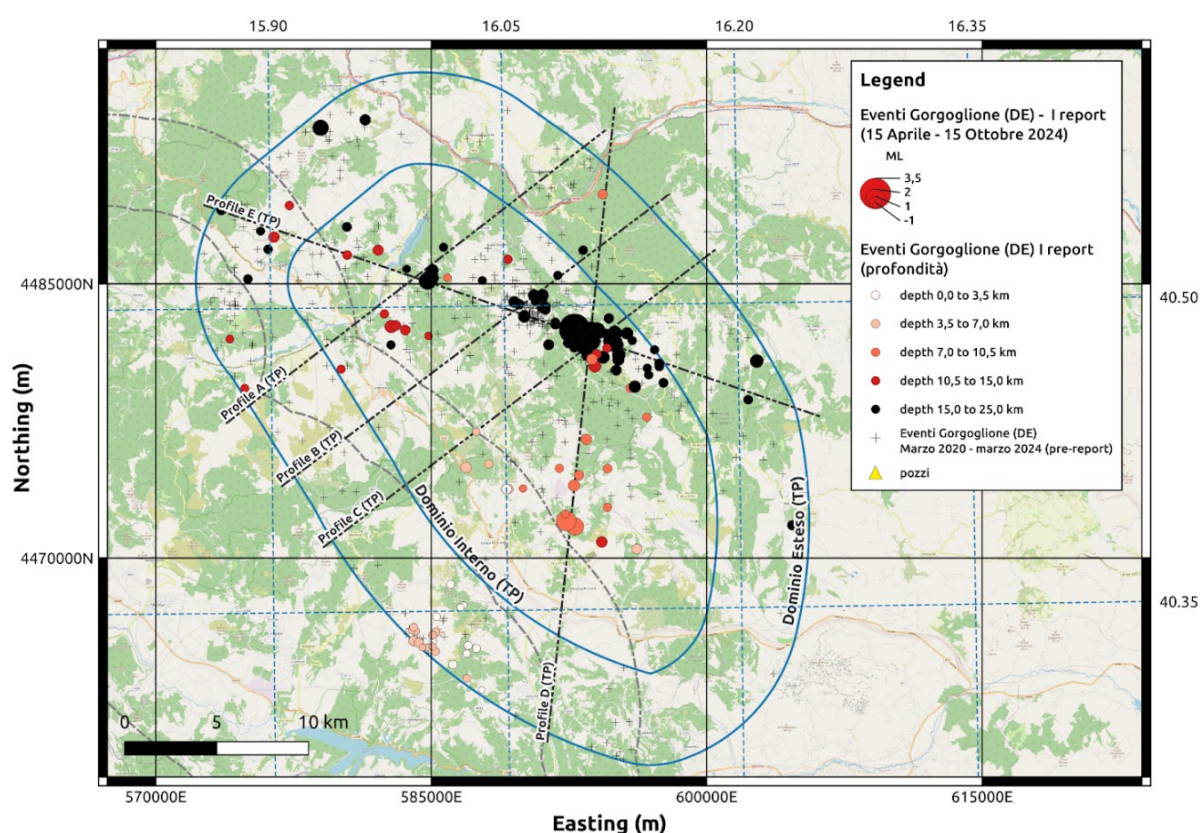


Figura 5.9. Mappa degli epicentri degli eventi sismici localizzati dalla SPM nei domini di monitoraggio della concessione Gorgoglione, nel periodo 15/04/2024 - 15/10/2024. I perimetri dei Domini Interno ed Esteso della Concessione disegnati in blu (quelli della Val d'Agri sono mostrati con linee tratteggiate grigie, come riferimento).

Nel periodo in esame la Sala di Sorveglianza del CMS ha localizzato una sismicità di bassa magnitudo; l'evento di magnitudo maggiore, di $M_{Lbj}=2.0$, è stato registrato nel dominio interno. È importante sottolineare tuttavia che una grande quantità di epicentri localizzati all'interno dei domini di monitoraggio di Gorgoglione si posizionano a profondità tra i 15 ed i 20 km, cioè sotto il limite di 15 km definito

provvisoriamente come soglia per il Dominio Esteso. Se non consideriamo questo limite in profondità, l'evento di più energetico nel Dominio Interno ha una $M_{Lbj}=3.1$ (Tabella 5.5).

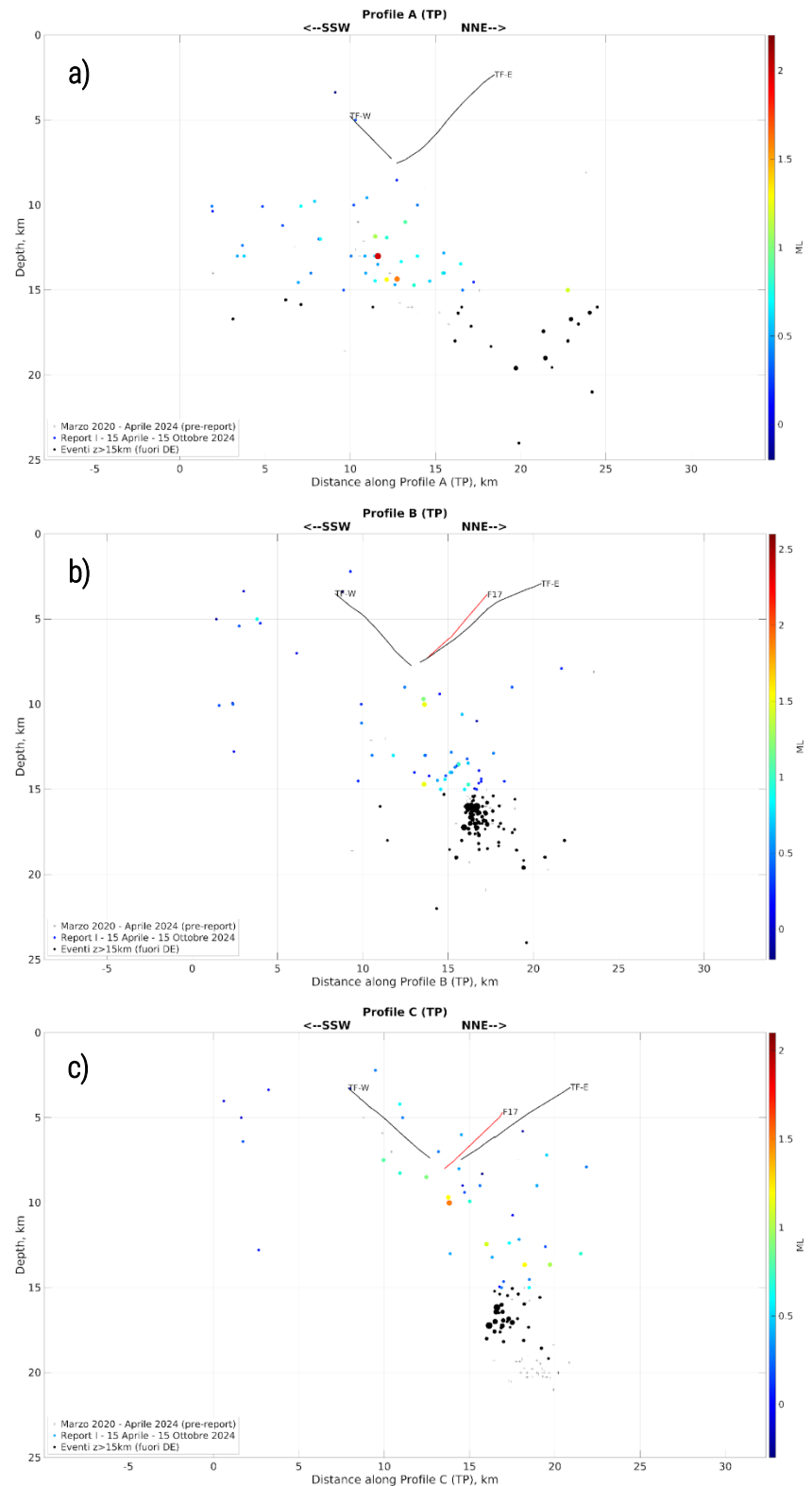
L'evento di M_{Lbj} 3.1 si è verificato in data 26/05/2024 alle ore 13:15:19 UTC (15:15:49 ora Italiana), è stato localizzato tra le località di Accettura (MT) e Pietrapertosa (PZ). La localizzazione ottenuta utilizzando i tempi d'arrivo della rete integrata di monitoraggio della Basilicata è la seguente:

- Data/tempo origine: 2024-05-26 13:15:49 UTC; 2025-05-26 15:15:49 ora Italiana
- M_{Lbj} : 3.1 ± 0.3 (Magnitudo Locale Bakun & Joyner)
- PGV: $7.11 \cdot 10^{-4}$ m/s
- PGA: $1.64 \cdot 10^{-2}$ m/s²
- RMS: 0.2
- Latitudine: 40.4882° N (± 0.4 km)
- Longitudine: 16.0950° E (± 0.4 km)
- Profondità: 19.2 km (± 0.4 km)

Questo evento è stato accompagnato da una breve sequenza sismica. Si fa presente che l'evento si localizza in mappa all'interno della concessione Gorgoglione, ma la profondità lo pone con molta probabilità esterno ai domini di monitoraggio (non ancora definiti formalmente).

La Figura 5.10 mostra la distribuzione degli ipocentri (all'interno di un volume con spessore laterale di 6 km attorno ad ogni profilo) proiettati sui Profili A, B e C che sezionano i domini in direzione SO-NE; questi profili sezionano i domini in una direzione approssimativamente trasversale all'andamento delle due faglie principali che limitano il giacimento di Gorgoglione: le faglie *Thrust E* (TF-E) e *Thrust W* (TF-W), oltre alla faglia F17 che scorre sub-parallela alla TF-E nella zona NE del dominio di monitoraggio. I profili mostrano come la sismicità risulti localizzata principalmente nei primi 20 km di profondità, con una tendenza di maggiore profondità ipocentrale in direzione anti-appenninica (NE) dei domini di monitoraggio.

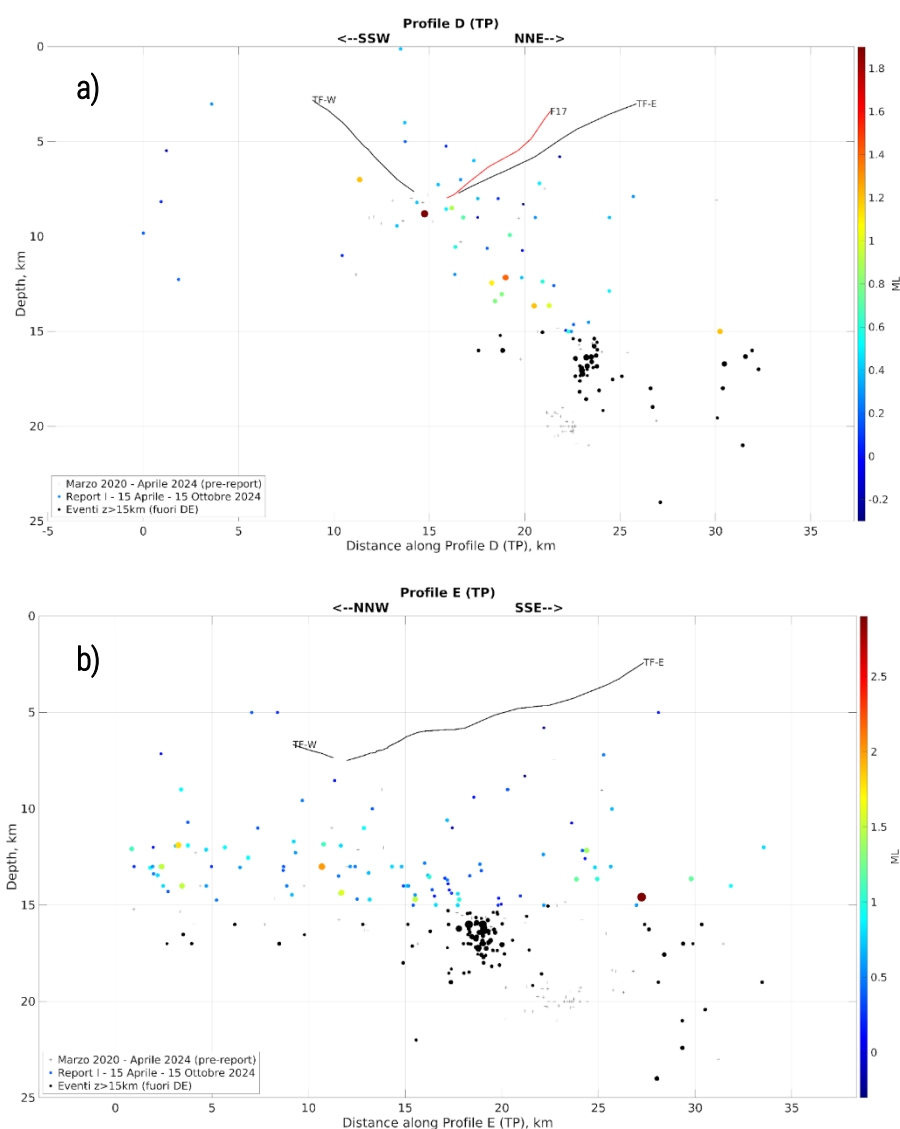
Figura 5.10. Sezioni verticali della sismicità lungo i profili A, B e C (mostrati in Figura 5.9), trasversali alle faglie principali che delimitano il giacimento della concessione Gorgoglione (indicate con le linee continue): TF-W e TF-E (Thrust fault W ed E, rispettivamente; F17: Faglia 17).



Infine, la Figura 5.11 mostra un profilo quasi in direzione NS (Profilo D) che attraversa alcuni eventi localizzati nella zona centrale a sud dei domini, ed il profilo E che scorre in direzione NW-SE, seguendo all'incirca la direzione della sismicità localizzata sotto la faglia TF-E. Il profilo D in particolare mostra lo stesso andamento tendente a eventi

più profondi in direzione NE dei domini, mentre nel profilo E si vede la distribuzione di profondità preferenziale degli eventi tra 10 e 20 km in questa zona.

Figura 5.11. Sezioni verticali della sismicità lungo i profili D ed E (mostrati in Figura 5.9).



La Figura 5.9 mostra l'andamento della sismicità registrata nel Dominio Interno (Figura 5.10 a) e nel Dominio Esteso (Figura 5.10 b) della concessione Gorgoglione sopra la soglia di completezza calcolata ($M_C=0.4$, § 3.3.4). I pannelli rappresentano la serie temporale degli eventi sia in funzione della M_{Lbj} (in alto) che del numero giornaliero di eventi sopra la completezza (in basso), mentre a destra si riportano il numero cumulato ed il momento sismico cumulato rilasciato nel tempo. Come per le figure precedenti si evidenziano in rosso gli eventi del periodo di riferimento in questo rapporto.

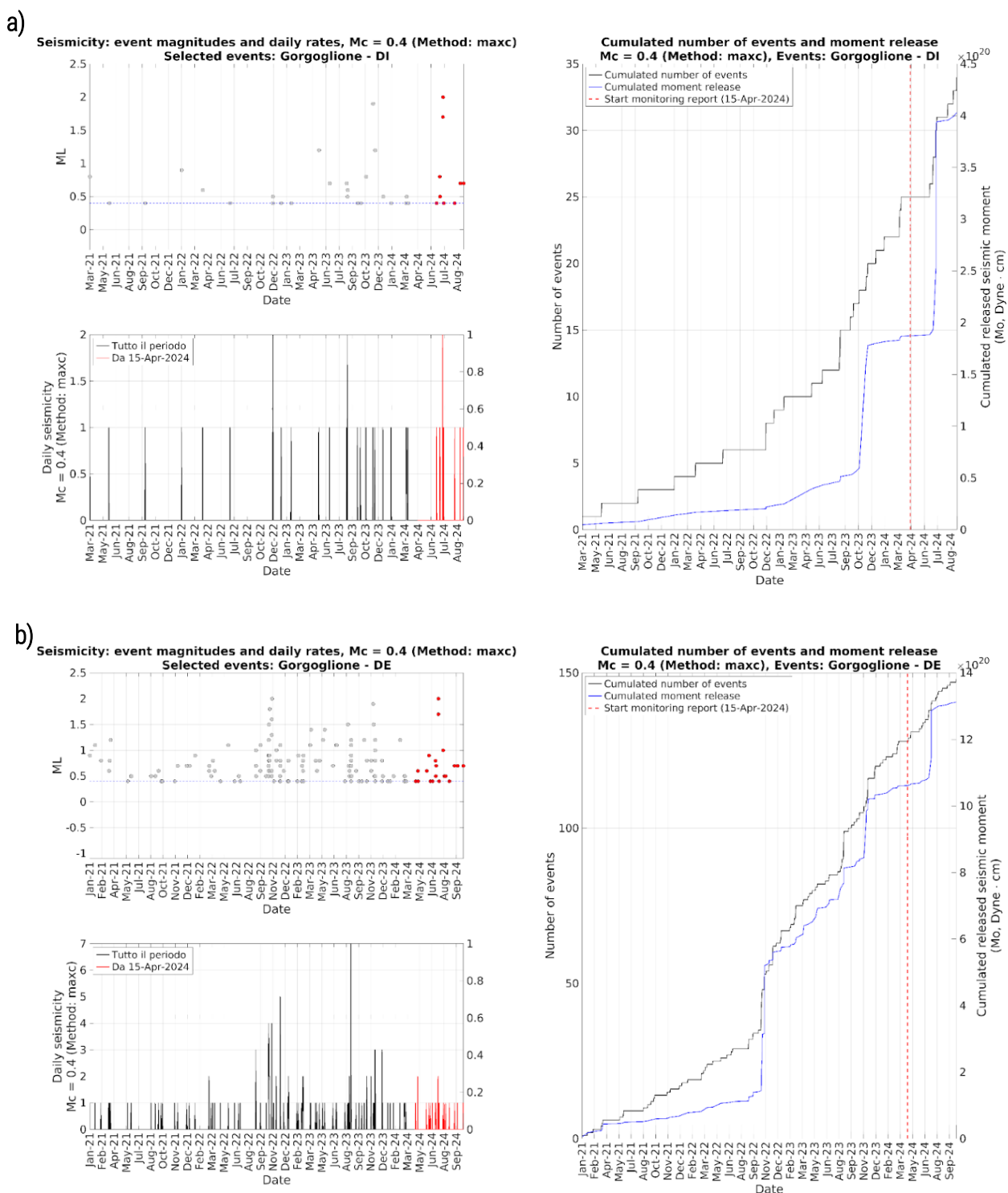


Figura 5.12. Sismicità registrata (a) nel Dominio Interno e (b) in tutto il Dominio Esteso della concessione Gorgoglione sopra la soglia di completezza calcolata ($M_c=0.4$); in entrambi i casi: grafico della magnitudo vs. tempo (sinistra-sopra), del numero giornaliero di eventi (sinistra-sotto), e del numero cumulado e momento sismico rilasciato cumulado (destra). Dati da gennaio 2021, ed evidenziato in rosso il periodo di riferimento di questo rapporto.

Come illustrato nella figura, il rilascio di sismicità (e momento sismico) nell'area del DI per il periodo di riferimento del rapporto (a destra della linea verticale rossa) segue un andamento con una pendenza pressoché stabile rispetto a quello che si osserva dal 2021, con una leggera flessione dall'estate del 2023. Tuttavia, siccome gran parte degli eventi con epicentri all'interno dei domini sono stati localizzati sotto la massima profondità del Dominio Interno, nella Figura 5.12b che riguarda tutta la sismicità nel Dominio Esteso, sono presenti molti più eventi e si osserva un andamento relativamente più stabile nel rilascio di sismicità.

5.6 Valori di PGA e PGV registrati nei domini di monitoraggio della concessione Gorgoglione

Analogamente a quanto presentato nel § 5.4 per la Val d'Agri, la Figura 5.13 mostra le misure di PGA e PGV in funzione della M_{Lbj} , per gli eventi localizzati all'interno dei domini di monitoraggio della concessione Gorgoglione. Per ogni evento, PGA e PGV corrispondono ai massimi valori di accelerazione e velocità del moto del suolo misurati alle stazioni della rete sismica integrata. La Figura 5.13a mostra i valori di questi parametri relativi ad eventi accaduti nel DI. I valori di PGA (destra) variano in un rango di circa 4 ordini di grandezza, con misure che vanno da valori dell'ordine di 10^{-6} m/s^2 fino a valori nell'ordine di 10^{-2} m/s^2 . Allo stesso modo, le misure di PGV (sinistra) in ordine di grandezza variano principalmente tra 10^{-7} e 10^{-3} m/s . Per completezza, in Figura 5.13b si mostrano i valori di PGA e PGV considerando tutti gli eventi nel DE della concessione. Tutti i valori delle misure di PGA e PGV sono riportati nel bollettino sismico allegato al report (vedere Appendice C – Bollettino di monitoraggio sismico (VAL D'AGRI E GORGOGGLIONE)).

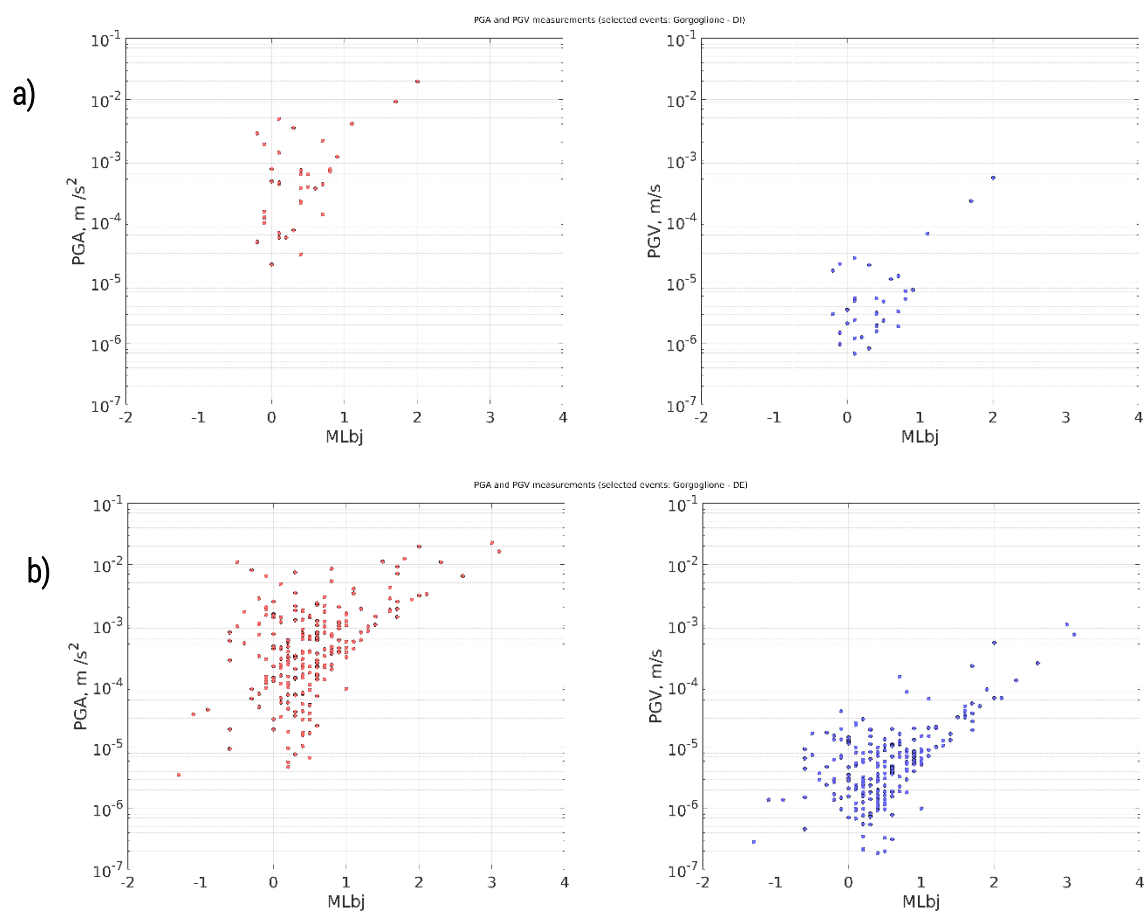


Figura 5.13. Valori delle misure di PGA e PGV nelle stazioni della rete integrata nei domini di monitoraggio in Basilicata, per eventi accaduti all'interno del (a) DI e (b) DE della concessione Gorgoglione

6 Misure di deformazione

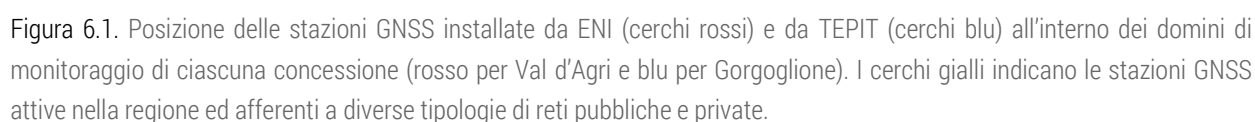
In questo capitolo vengono mostrati i risultati dell'elaborazione dei dati di deformazione GPS per le reti di Val d'Agri e di Gorgoglione. Lo scopo di questa analisi è di dare una prima valutazione della capacità di misura delle reti GNSS installate per le due concessioni, dal momento che il focus principale di questo report è la validazione delle reti di monitoraggio. A questo proposito è importante fare presente che solo stazioni con serie temporali sufficientemente lunghe possono essere analizzate per verificare l'attendibilità delle misure di spostamento del suolo. Solitamente si considera come valore minimo 2.5 anni di dati (Blewitt and Lavallée, 2002) ma recenti studi mostrano che per riuscire a stimare delle velocità di spostamento stabili nel tempo servono in media serie temporali di almeno 6-7 anni (Serpelloni et al., 2022).

Nello specifico per la rete di Val d'Agri (ENI) l'analisi è stata eseguita per tutte le stazioni a partire dal primo dato disponibile fino a fine febbraio 2024. Questa data coincide con il cambiamento della modalità di trasmissione dei dati, ossia da pacchetto completo ogni 6 mesi a trasmissione "*real-time*" tramite server ftp, sistema che ha necessitato di tempo per poter essere adeguatamente inserito nel *workflow* di analisi automatica descritto nel § 6.1. Per la rete di Gorgoglione (TOTAL) non abbiamo avuto questo problema perché la trasmissione dati tramite server ftp era stata impostata già durante il precedente accordo quadro per il monitoraggio della concessione di Gorgoglione e l'elaborazione per questa rete è stata eseguita a partire sempre dal primo dato disponibile fino a metà 2024.

E' importante fare presente che anche se le misure per la rete di Val d'Agri fossero state aggiornate alla stessa data della rete di Gorgoglione, non sarebbe stato comunque possibile validare adeguatamente alcuni siti di recente installazione perché le serie temporali non sarebbero state sufficientemente lunghe. Alla luce di queste considerazioni la validazione della rete di Val d'Agri in termini di misure di deformazione del suolo sarà solamente parziale, lasciando al prossimo report una verifica più accurata della rete anche grazie alla possibilità di avere misure più lunghe nel tempo.

Inoltre, trattandosi di un report di validazione della rete, in questo documento non saranno trattate le misure di deformazione da dati InSAR che, tramite un'adeguata integrazione con le misure GNSS, permettono un'analisi accurata delle deformazioni del suolo dell'area da monitorare, argomento che sarà quindi oggetto del prossimo report.

I dati giornalieri in formato RINEX delle stazioni per le concessioni di Val d'Agri (ENI) e Gorgoglione (TEPIT) sono stati elaborati dal centro di analisi INGV presso la sezione di Bologna all'interno di una soluzione geodetica molto ampia a scala euro-Mediterranea, come illustrato in Serpelloni et al., 2022. Sono utilizzati i dati provenienti da più di 4000 stazioni GPS/GNSS attive, presenti sul territorio italiano ed europeo e gestite da enti di ricerca pubblici (es., INGV, Università), enti locali (es. regioni) e privati (es., Leica-Geosystem, GeoTop), sempre in virtù del "principio di valorizzazione dell'esistente" (ILG) e per massimizzare la copertura dell'area da monitorare. All'interno di questa procedura abbiamo dovuto utilizzare un'altra nomenclatura per alcune stazioni della Val d'Agri (v. nome INGV in Tabella 4.1) perché alcune sigle erano già presenti nel database di stazioni. In Figura 6.1 viene mostrata la posizione delle stazioni GNSS per Val d'Agri (alcune rinominate) e Gorgoglione rispetto alle altre stazioni a nostra disposizione analizzate congiuntamente.



La procedura di analisi eseguita è suddivisa in tre passaggi, come indicato in Serpelloni et al., 2022, che consistono in:

1. Analisi delle osservazioni registrate (ossia le fasi dei segnali satellitari) dalle stazioni GPS di una sotto-rete che include le stazioni ENI e TEPIT in Basilicata più altre stazioni GPS permanenti della rete IGS e realizzazione di una soluzione di rete debolmente vincolata (posizioni, orbite, ecc...), utilizzando il pacchetto GAMIT del software per analisi dati GPS GAMIT/GLOBK (<http://geoweb.mit.edu/gg>, versione 10.71).
2. Combinazione delle soluzioni giornaliere ottenute per tutte le sotto-reti processate dalla SPM e allineamento delle soluzioni al sistema di riferimento IGB14, utilizzando il pacchetto GLOBK del software GAMIT/GLOBK.
3. Analisi delle serie temporali di spostamento (nelle tre componenti Est, Nord e verticale) per la stima delle velocità di spostamento e le loro incertezze, realizzate nel sistema di riferimento IGB14, con un modello "classico" di traiettoria lineare più componenti stagionali e possibili salti di posizione (Bevis & Brown, 2014). I risultati di questa analisi sono mostrati nel § 6.2.

Uno dei vantaggi di questo approccio è che le serie temporali di spostamento omogenee e realizzate in modo uniforme offrono l'opportunità di studiare segnali/errori di modo comune, consentendo miglioramenti del rapporto segnale/rumore (Kreemer & Blewitt, 2021) e migliorano la nostra capacità di rilevare piccoli segnali di deformazione transitoria di origine sia tettonica che non tettonica, con importanti implicazioni per lo studio del ciclo sismico e delle proprietà meccaniche della Terra (Serpelloni et al., 2022).

6.2 Serie temporali di spostamento

Come detto nel precedente paragrafo, dall'ultimo passaggio della procedura di analisi si ottengono per ciascuna stazione GNSS analizzata le serie temporali di spostamento realizzate nel sistema di riferimento globale IGB14. Le serie così ottenute vengono poi modellate con un modello funzionale atteso che considera gli spostamenti del suolo come la combinazione di: un contributo lineare nel tempo, alcune componenti stagionali annuali e semi-annuali e possibili salti di posizione dovuti a cambi strumentali ed eventuali salti di natura co-sismica.

Le serie temporali riferite rispetto al sistema di riferimento globale IGB14 non ci permettono però di apprezzare le deformazioni a scala locale. Per evidenziare meglio i gradienti di velocità dell'ordine del mm/anno o inferiori, che sono tipici sia della tettonica attiva (che è presente, essendo un'area ad alta pericolosità sismica) sia delle

deformazioni locali di tipo naturale o antropico, risulta necessario ruotare e riferire il campo di spostamento rispetto un sistema di riferimento locale, ossia rispetto ad un blocco tettonico o una placca tettonica vicina assunta come rigida e fissa (*plate-fixed*). Nel nostro caso le serie temporali orizzontali GPS (quelle verticali rimangono riferite al sistema di riferimento globale IGb14) sono state poste rispetto alla placca Eurasia-fissa, utilizzando come polo di rotazione quello riportato da Altamimi et al. (2017). Per fare ciò viene rimosso dalle serie di spostamento orizzontali assolute in IGb14 le velocità attese dal polo di rotazione scelto, ottenendo così serie temporali di spostamento residue utili per analizzare il campo di deformazione a scala locale per l'area di studio.

Figura 6.2. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione INN2 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGb14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso. La barra celeste indica l'epoca in cui è avvenuto un cambio strumentale.

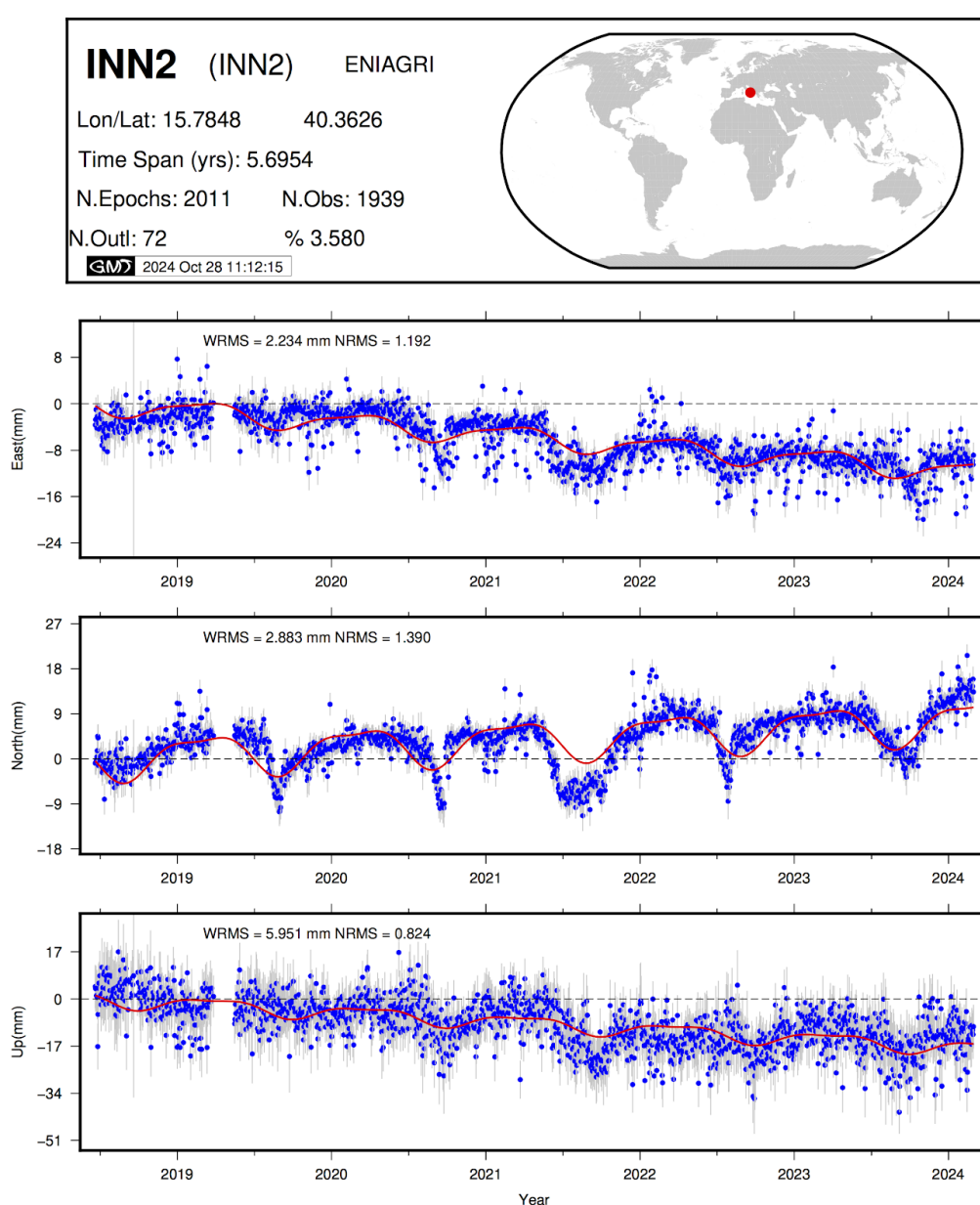
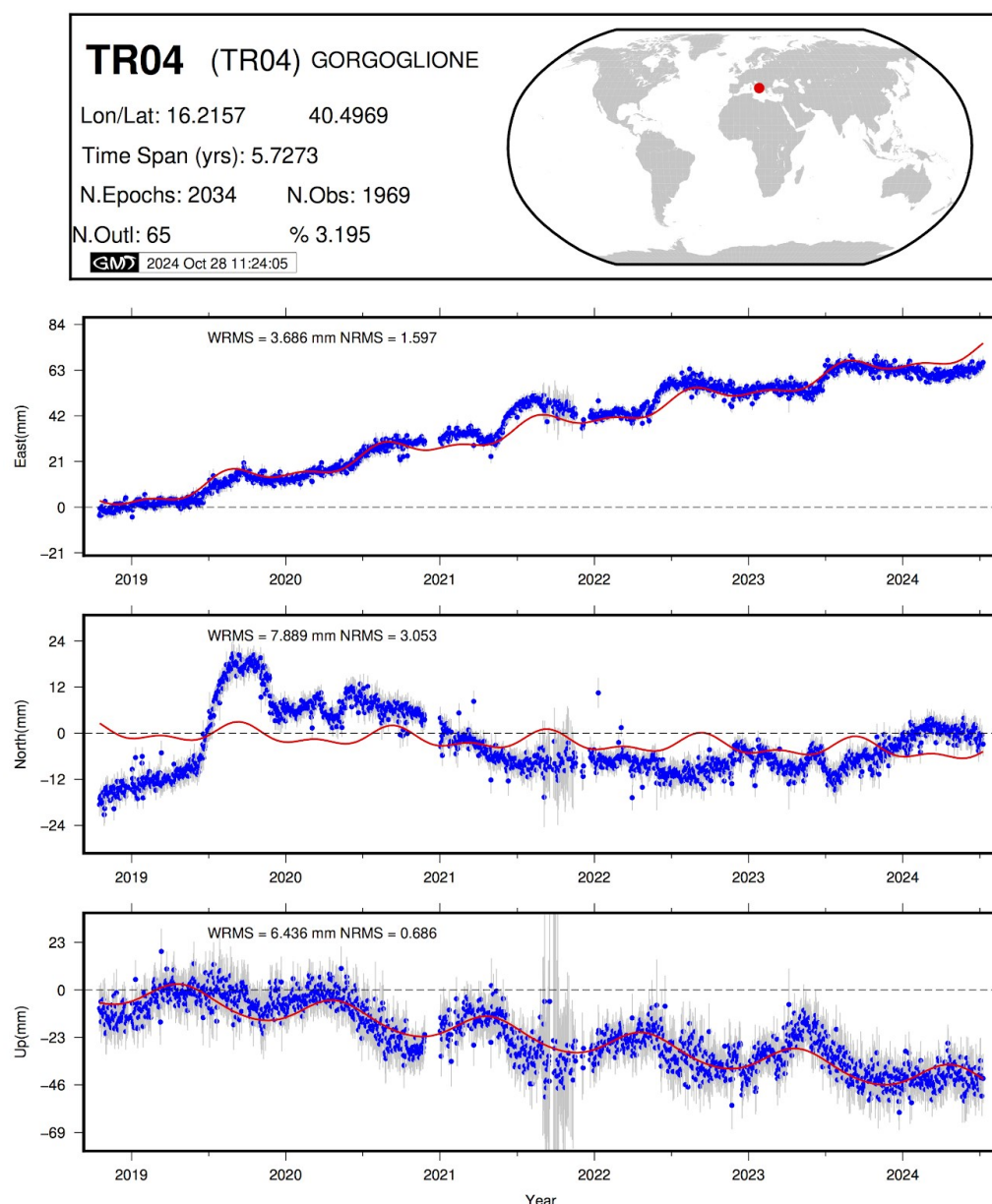


Figura 6.3. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione TR04 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in Igb14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.



La Figura 6.2 e Figura 6.3 mostrano le serie temporali di spostamento così ottenute a titolo di esempio per le due concessioni (tutte le altre serie temporali sono riportate in Appendice D – Serie temporali di spostamento per le stazioni delle reti GNSS ENI e TEPIT rispetto il sistema di riferimento EURASIA fisso. Nelle immagini sono riportati gli spostamenti giornalieri (epoche, punti blu) per le componenti Est e Nord nel sistema di riferimento Eurasia fisso e per la componente verticale nel sistema di riferimento Igb14. Ogni epoca ha associata un'incertezza corrispondente ad una deviazione standard (1σ) e viene riportato anche il modello funzionale atteso sopra descritto (linea rossa). Per ciascuna componente di spostamento sono riportati i residui rispetto il modello atteso in termini di WRMS (*Weighted Root Mean Square*) e NRMS (*Normalized Root Mean Square*), valori utili per avere un'indicazione della dispersione dei residui rispetto il modello considerato. Valori di NRMS maggiori di 1 suggeriscono la presenza

di segnali di deformazione transienti non contemplati nel modello funzionale, indicando quindi la presenza di possibili sorgenti deformative di natura locale.

Per la rete di Val d'Agri è possibile osservare come la maggior parte delle stazioni mostri valori di NRMS minori di 1, tranne INN2 (Figura 6.2), TLMA e la componente Est di AGR1 (v. Figura D.0.1 e Figura D.0.9, Appendice D – Serie temporali di spostamento per le stazioni delle reti GNSS ENI e TEPIT rispetto il sistema di riferimento EURASIA fisso) che ha però una serie temporale breve e necessita di ulteriore tempo per verificarne l'andamento. Le anomalie presenti per la stazione INN2 sono caratterizzate da brevi transienti di spostamento per le componenti planari, dell'ordine di una decina di mm in pochi mesi con cadenza apparentemente annuale, caratteristica già evidenziata nei precedenti report. A questo proposito era stato richiesto alla concessionaria se ci fossero attività industriali particolari che potessero generare possibili deformazioni ma all'epoca non ci era stato segnalato nulla. La stazione TLMA invece mostra un'anomalia nelle serie temporali soprattutto durante il 2023, dove si osserva uno spostamento rapido in direzione Sud-Est di alcuni cm in pochi mesi. Un segnale di questa intensità potrebbe essere dovuto ad un fenomeno franoso, dal momento che la zona è caratterizzata da numerose frane, come già evidenziato nei precedenti report durante la sperimentazione.

Per quanto riguarda invece la rete di Gorgoglione tutte le stazioni presentano elevati valori di NRMS (Figura D.0.12 e Figura D.0.13 dell'Appendice D – Serie temporali di spostamento per le stazioni delle reti GNSS ENI e TEPIT rispetto il sistema di riferimento EURASIA fisso), con le anomalie più evidenti registrate dalla stazione TR04 (Figura 6.3). Queste anomalie suggeriscono che le stazioni interessate possano avere delle sorgenti locali capaci di interferire con le misure di deformazione, che potrebbero essere dovute a instabilità locali causate da cattiva monumentazione, oppure a possibili attività industriali o anche a eventuali sorgenti deformative naturali di instabilità del terreno (es. frane) o di tipo idrologico. Quest'ultima tipologia solitamente interessa un'area abbastanza ampia da essere osservata su più stazioni (es. Pintori et al., 2021) e sarà oggetto di studio nei prossimi report.

6.3 Campo di velocità

Dall'analisi delle serie temporali di spostamento appena esposta è possibile estrarre il termine lineare di spostamento, che viene stimato dal modello funzionale precedentemente descritto, che è rappresentativo della velocità a lungo termine di ciascun specifico sito. L'insieme di queste stime da tutte le stazioni GNSS disponibili per l'area di monitoraggio (Figura 6.1) produce un campo di velocità che descrive la

deformazione a lungo termine in atto, che dovrebbe essere prevalentemente di tipo tettonico, come mostrato dalla Figura 6.4, le cui velocità sono riferite appunto rispetto al sistema di riferimento locale Eurasia-fisso.

Un campo di velocità fornito da stazioni stabili e affidabili dovrebbe mostrare un andamento comune e coerente tra le stazioni adiacenti per effetto della deformazione tettonica in atto di pochi mm/anno. Come già spiegato all'inizio di questo capitolo, per avere stime precise ed accurate delle velocità servono serie temporali lunghe almeno 2.5 anni, anche se sono preferibili lunghezze maggiori di 5-6 anni. A questo proposito per la concessione di Val d'Agri allo stato attuale solo alcune stazioni hanno una lunghezza sufficiente per valutare la bontà della stima delle velocità, mentre per la concessione di Gorgoglione tutte le stazioni hanno serie temporali sufficientemente lunghe.

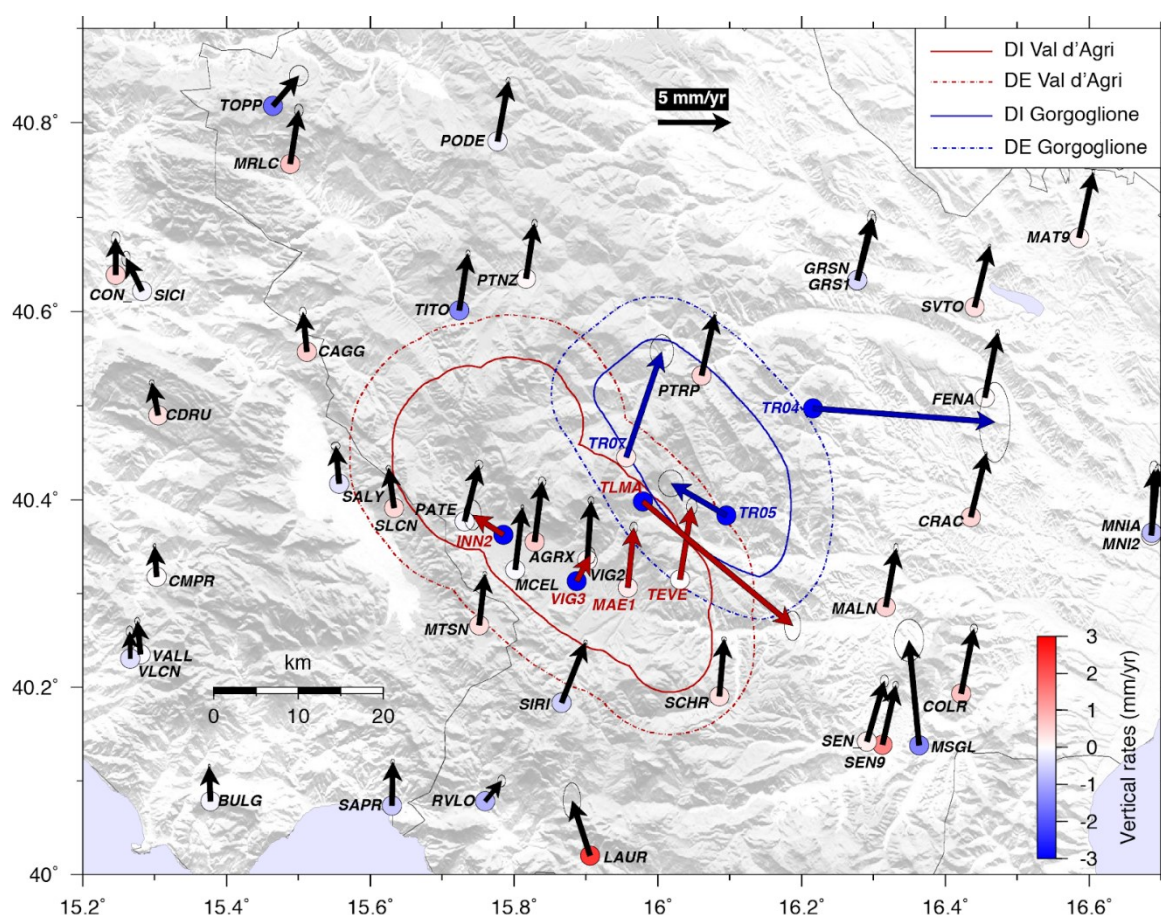


Figura 6.4. Campo di velocità orizzontale (freccie) nel sistema di riferimento locale Eurasia-fissa e verticale (cerchi colorati). Le stazioni ENI sono evidenziate in rosso e quelle TEPIT in blu. Le ellissi d'errore per le componenti orizzontali sono al livello di confidenza del 95%.

La Figura 6.4 mostra il campo di velocità orizzontale così ottenuto tramite delle frecce con ellissi di errore al 95%, dove le stazioni ENI sono indicate in rosso e quelle TEPIT

in blu, mentre la componente verticale è descritta tramite dei cerchi colorati, dove i valori positivi in rosso indicano sollevamento e quelli negativi in blu indicano subsidenza. I valori di velocità in questo sistema di riferimento nelle tre componenti sono riportati in Tabella 6.1.

Stazione	VE (mm/anno)	VN (mm/anno)	VU (mm/anno)	S_VE (mm/anno)	S_VN (mm/anno)	S_VU (mm/anno)
INN2-ENI	-2.091	1.347	-3.127	0.245	0.420	1.156
MAE1-ENI	0.413	4.086	0.210	0.107	0.152	0.775
TEVE-ENI	0.785	4.970	0.021	0.148	0.228	1.363
TLMA-ENI	10.255	-8.498	-5.381	0.230	0.411	1.403
VIGG-ENI	0.936	1.768	-3.282	0.133	0.224	0.941
TR04-TEPIT	12.435	-0.939	-7.795	0.430	1.117	1.188
TR05-TEPIT	-3.777	2.195	-4.616	0.347	0.368	1.085
TR07-TEPIT	2.433	7.234	0.257	0.326	0.467	1.139

Tabella 6.1. Velocità di spostamento nelle componenti Est (VE), Nord (VN), e verticale (VU) e relative incertezze (S_VE, S_VN e S_VU) in mm/anno per le stazioni ENI e TEPIT nel sistema di riferimento locale Eurasia-fissa per le componenti orizzontali.

Dal campo di velocità orizzontale così ottenuto si può osservare come la maggior parte delle stazioni dell'area mostri un graduale aumento di intensità da ovest verso est di pochi mm/anno, che è rappresentativo della tettonica distensiva attiva lungo tutta la dorsale appenninica. Rispetto a questa caratteristica di riferimento si notano in modo evidente alcune stazioni della rete ENI con un comportamento anomalo (ossia INN2, TLMA e VIGG) mostrando intensità e direzioni di velocità decisamente diverse dalle stazioni adiacenti. Si tratta di una caratteristica già evidenziata nei precedenti report durante la sperimentazione e che continua ad essere confermata nel tempo. Anche la rete di TEPIT sembra essere molto differente rispetto gli andamenti attesi a scala regionale, soprattutto per le stazioni TR04 e TR05 per tutte e tre le componenti di spostamento, mentre la stazione TR07 mostra coerenza nella direzione orizzontale ma un'intensità di velocità abbastanza elevata rispetto il campo di velocità circostante. Analogamente per il campo di velocità verticale, si osservano per la maggior parte delle stazioni analizzate delle velocità verticali variabili tra -1 e 1 mm/anno, mentre le stesse stazioni anomale appena evidenziate registrano tassi di subsidenza di diversi mm/anno (Tabella 6.1), valori che sono caratteristici di possibili effetti locali di compattazione e assestamento di sito o di emungimento di acque.

Sulla base di queste osservazioni è possibile supporre che per la rete di Val d'Agri le stazioni INN2, TLMA e VIGG, e analogamente per la rete di Gorgoglione TR04 e TR05, potrebbero essere fortemente influenzate da deformazioni locali del sito, rendendole inadatte pertanto a misure di velocità a lungo termine ai fini del monitoraggio geodetico secondo gli scopi degli ILG.

Si fa presente che ai fini del monitoraggio delle deformazioni del suolo per le attività antropiche le stazioni GNSS devono essere capaci di registrare gli spostamenti dovuti ai fenomeni più profondi legati ai processi in atto nella crosta e soltanto stazioni stabili, adeguatamente monumentate, con elevate prestazioni di acquisizione e prive di sorgenti di disturbo possono svolgere questo compito. Pertanto le stazioni che non sono capaci di fornire stime affidabili delle deformazioni tettoniche in atto nell'area di monitoraggio non possono essere in grado di registrare possibili segnali di deformazione dovuti alle attività industriali, perché sono caratterizzati da valori di intensità di pochi millimetri all'anno.

D'altro canto si può dedurre invece che le stazioni MAE1 e TEVE per la rete Val d'Agri sembrano essere coerenti con il campo di velocità e, non mostrando particolari anomalie in termini di serie temporali e parametri di qualità e avendo verificato le caratteristiche specifiche di monumentazione di questi siti, si ritiene che possano essere considerate stazioni stabili e affidabili ai fini del monitoraggio geodetico. Per quanto riguarda invece la stazione TR07 della rete di Gorgoglione si ritiene siano necessari ulteriori indagini e informazioni per capire se le misure registrate da questo sito possano essere considerate affidabili ai fini del monitoraggio.

6.4 Considerazioni finali

Alla luce delle analisi eseguite è possibile esprimere alcune considerazioni sulle capacità di misura delle reti geodetiche GNSS installate ai fini del monitoraggio delle deformazioni del suolo per le concessioni Val d'Agri e Gorgoglione. Per validare queste reti è bene tenere conto di tutti i requisiti tecnici previsti dagli ILG e analizzati nei precedenti paragrafi. Qui di seguito la valutazione tecnica per ciascuna rete.

6.4.1 Rete Val d'Agri

- La geometria della rete geodetica risulta opportuna per la parte centrale del dominio interno, dove le interdistanze tra le stazioni sono minori di 15 km e sono potenzialmente in grado di registrare segnali di deformazione con lunghezze d'onda dell'ordine di ~10 km. Per ottenere un risultato simile su tutta l'area di monitoraggio sarebbe auspicabile un'integrazione della rete nelle estremità

settentrionali e meridionali con ulteriori stazioni, dove le interdistanze risultano maggiori di 15 km.

- Nonostante le stazioni siano tutte equipaggiate con strumentazione scientifica di alta qualità, alcune di queste sono state installate con un tipo di monumentazione non ancorato al substrato roccioso che non garantisce l'acquisizione di misure di alta precisione. Inoltre dall'analisi di qualità eseguita sembra che alcune siano state posizionate presso siti che possono essere influenzati da instabilità locali e/o da sorgenti di rumore. Questo tipo di valutazione deve essere verificata per le stazioni di recente installazione per le quali saranno richieste le schede tecniche di installazione.
- I problemi sopra menzionati si riflettono sulla stima delle velocità a lungo termine che permettono di identificare il campo di deformazione del suolo per effetto dei possibili fenomeni naturali e antropici più rilevanti. Su 5 stazioni analizzate, 3 (INN2, TLMA e VIGG) registrano tassi di spostamento che sembrano essere fortemente influenzati da sorgenti locali di deformazione, presumibilmente a causa di una scelta non idonea del sito di installazione (in mancanza di un pilastro profondo che ancori la stazione al substrato roccioso), risultando pertanto inadatte ai fini del monitoraggio geodetico secondo gli scopi degli ILG.
- Solo le stazioni MAE1 e TEVE sembrano fornire misure di spostamento precise e stabili, considerandole perciò stazioni affidabili ai fini del monitoraggio geodetico. E' importante fare presente che solo una delle due (MAE1) è ancorata al substrato roccioso, mettendo in evidenza come la scelta ottimale del sito di installazione sia altrettanto importante per ottenere misure di elevata qualità per scopi geofisici.
- Allo stato attuale non è comunque possibile validare nel complesso tutta la rete GNSS, dal momento che per le stazioni di recente installazione è necessario un maggior tempo di acquisizione dei dati per verificare la stabilità e l'affidabilità dei siti.

6.4.2 Rete Gorgoglione

- La posizione delle stazioni non è opportunamente distribuita in funzione dell'area da monitorare, avendo interdistanze tra le stazioni > di 15 km. La rete allo stato attuale è potenzialmente in grado di rilevare segnali di deformazione con lunghezze d'onda dell'ordine di ~ 20km, ben oltre le dimensioni del giacimento, evidenziando perciò la necessità di un'integrazione con ulteriori stazioni per tutto il dominio di monitoraggio.
- Nonostante sia stata utilizzata strumentazione scientifica di alta qualità, si suppone che le stazioni siano state installate con un tipo di monumentazione non ancorato al substrato roccioso che non garantisce l'acquisizione di misure di alta

precisione. Inoltre dall'analisi delle serie temporali ipotizziamo che siano stati scelti siti che possono essere influenzati da instabilità locali e/o da sorgenti di rumore. Sarà necessario richiedere dei documenti tecnici che ne descrivono in dettaglio le caratteristiche per verificare queste ipotesi.

- I problemi sopra menzionati si riflettono sulla stima delle velocità a lungo termine che permettono di identificare il campo di deformazione del suolo per effetto dei possibili fenomeni naturali e antropici più rilevanti. Le misure di almeno 2 stazioni (TR04 e TR05) su 3 che compongono la rete sembrano essere fortemente influenzate da sorgenti locali di deformazione, presumibilmente a causa di una scelta non idonea del sito di installazione (in mancanza di un pilastro profondo che ancori la stazione al substrato roccioso), risultando pertanto inadatte ai fini del monitoraggio geodetico secondo gli scopi degli ILG. Anche la terza stazione (TR07) mostra forti anomalie nelle misure di spostamento, ma il termine lineare sembra mostrare un accordo parziale con il campo di velocità atteso, necessitando quindi di ulteriori approfondimenti per verificare l'affidabilità della stazione.
- La rete geodetica per la concessione di Gorgoglione risulta pertanto molto carente ai fini del monitoraggio delle deformazioni del suolo secondo gli ILG e se ne raccomanda un adeguamento secondo le indicazioni fornite.

7 Dati di pressione e portata

7.1 Produzione in VA

Il concessionario invia quotidianamente alla SPM i dati di produzione giornaliera in VA di olio, gas e acqua per ogni pozzo via email. Dei 34 pozzi di produzione attualmente almeno 9 risultano non-produttivi. La Figura 7.1 mostra un esempio dei dati trasmessi.

Figura 7.1. Esempio di una scheda di produzione distinta per pozzo.

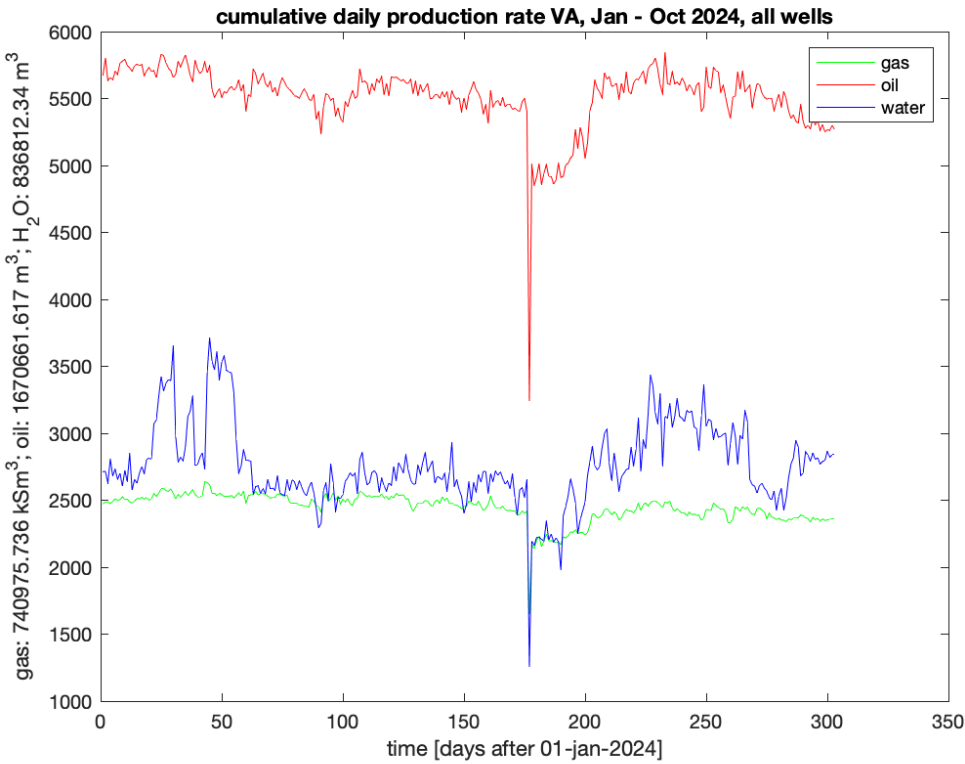
Val D'Agri Produzione giornaliera				
Campo	Pozzo	Prodotto Gas (smc)	Olio Volume (mc)	Produzione Acqua (Litri)
CERRO FALCONE	AGRI 1 OR A - OR B	0	0	0
CERRO FALCONE	CERRO FALCONE 1 DIR B	0	0	0
CERRO FALCONE	CERRO FALCONE 2 X OR-C	0	0	0
CERRO FALCONE	CERRO FALCONE 3X	0	0	0
CERRO FALCONE	CERRO FALCONE 4 OR - 4 OR-A	0	0	0
CERRO FALCONE	CERRO FALCONE 5 OR - S.T.	0	0	0
CERRO FALCONE	Cerro Falcone 6 OR	0	0	0
CERRO FALCONE	CERRO FALCONE 8 OR-A	0	0	0
CERRO FALCONE	Cerro Falcone 9 Or 3? foro	0	0	0
MONTE ALPI	ALLI 1 OR A	0	0	0
MONTE ALPI	ALLI 2 OR	0	0	0
MONTE ALPI	ALLI 3 OR	0	0	0
MONTE ALPI	ALLI 4 OR	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ALPI 1 OR C	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ALPI 1W	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ALPI 2 OR-A	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ALPI 3 OR-B	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ALPI 4	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ALPI 5 OR A	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ALPI 6 OR A	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ALPI 7 OR A - FORO 2	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ALPI 8 OR	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ALPI EST 1	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ALPI NORD 1 OR-B	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ENOC 10 OR-C	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ENOC 1 OR A	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ENOC 2 or	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ENOC 3 OR-A FORO 2	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ENOC 4	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ENOC 5 OR D	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ENOC 9 or	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ENOC NW1 DIR A	0	0	0
MONTE ALPI	MONTE ENOC W 1 OR A	0	0	0
MONTE ALPI	VOLTURINO 1 OR-C	0	0	0
	Totale:	0	0	0

si trovano senza eccezione all'interno del DI (linea rossa in Figura 7.2), nell'area pedemontana a est della Val d'Agri.

Figura 7.2. Mappa della VA con le posizioni geografiche dei pozzi di produzione olio, gas e acqua (triangoli blu) e del pozzo di reiniezione CM2 (giallo). Le linee chiuse rappresentano il DI (rosso) e il DE (azzurro) di monitoraggio.



Figura 7.3. Produzione giornaliera di Olio, Gas e acqua dai pozzi della concessione VA per il periodo da gennaio ad ottobre 2024.



La Figura 7.3 mostra la produzione giornaliera di petrolio [m³], acqua [m³] e gas [kSm³] in maniera cumulativa per tutti i pozzi. Con eccezione del periodo tra fine giugno e metà luglio 2024 i valori della produzione di idrocarburi variano leggermente intorno a

5500 m³ per il petrolio e 2500 kSm³ per i gas. Il volume di acqua di scarto prodotto ogni giorno si colloca intorno ai 3000 m³/giorno e segue in generale l'andamento della produzione degli idrocarburi. Eccezione sono delle variazioni più significative, con valori fino a 3700 m³ giornalieri nel periodo tra metà gennaio e fine febbraio 2024.

La Figura 7.4 illustra la produzione cumulativa di gas [Sm³], petrolio [m³] e acque di scarto [m³] per ogni pozzo (1-34, vedi Figura 7.1). Nel periodo illustrato (gen - ott 2024) i pozzi n° 2, 4, 5, 11, 12, 13, 17, 25, 26, 28, 30 risultano non-produttivi.

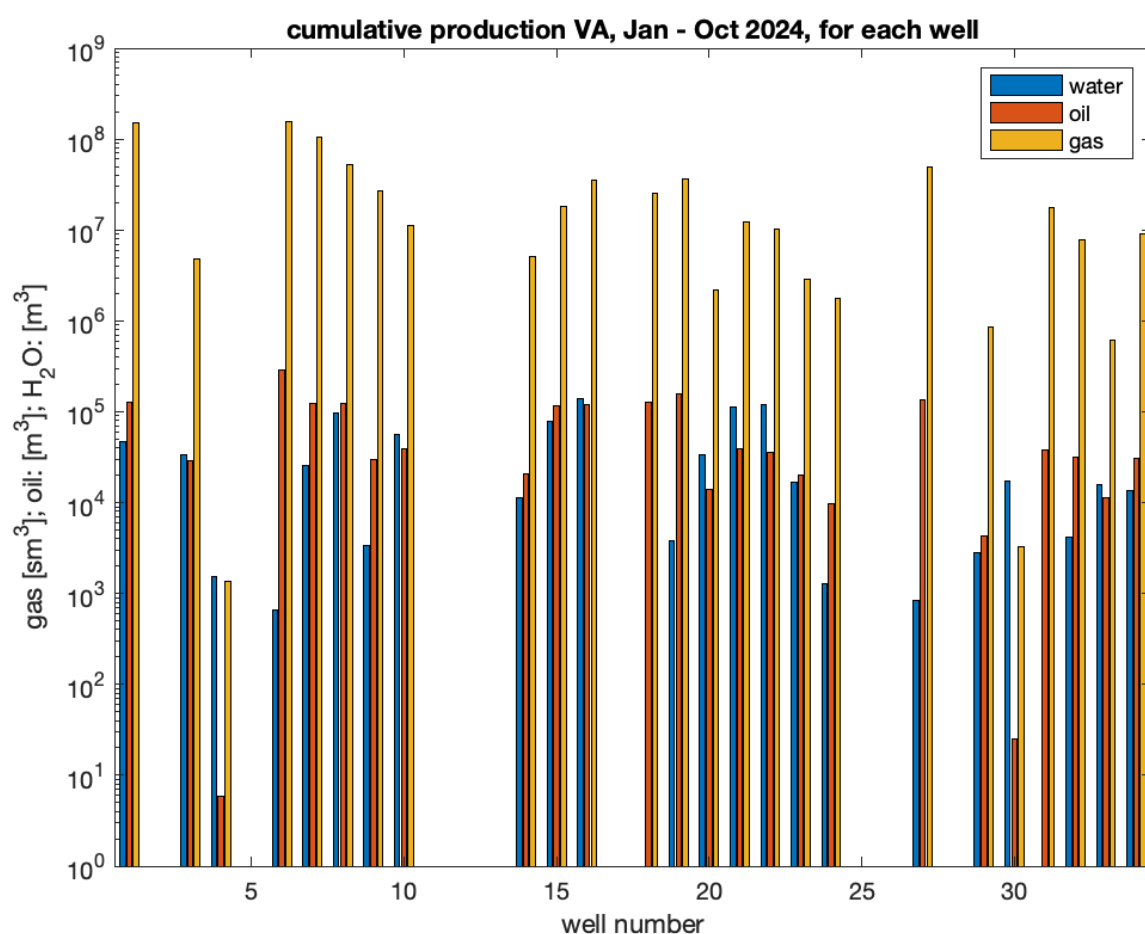


Figura 7.4. Produzione cumulativa in VA di olio, gas, acqua per il singolo pozzo (n° 1 - 34 vedi Figura 7.1) , nel periodo da gennaio ad ottobre 2024..

7.2 Pressione e portata in CM2

Il concessionario trasmette con frequenza giornaliera alla SPM i dati dei volumi (VIR - *Volume Injection Rate*) e delle pressioni a testa pozzo (THP - *Tubing Head Pressure*) dei

fluidi iniettati nel pozzo Costa Molina 2 (CM2). I dati a disposizione sono delle medie mobili giornaliere aggiornate con frequenza oraria. La Figura 7.5 mostra un esempio delle medie giornaliere dei valori di VIR (rosso) e THP (blu) illustrato come esempio per il periodo 15/04/2024 – 15/10/2024.

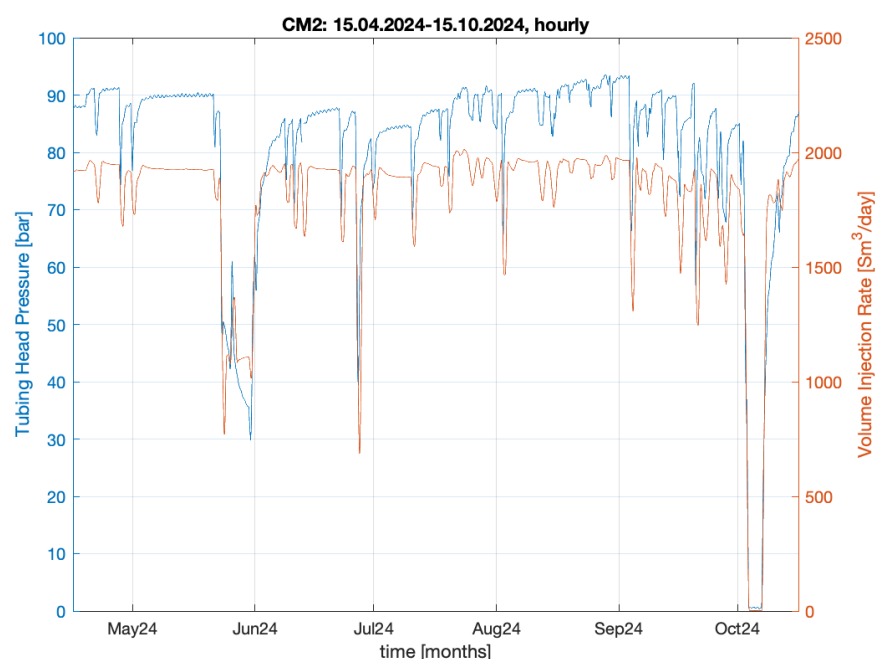


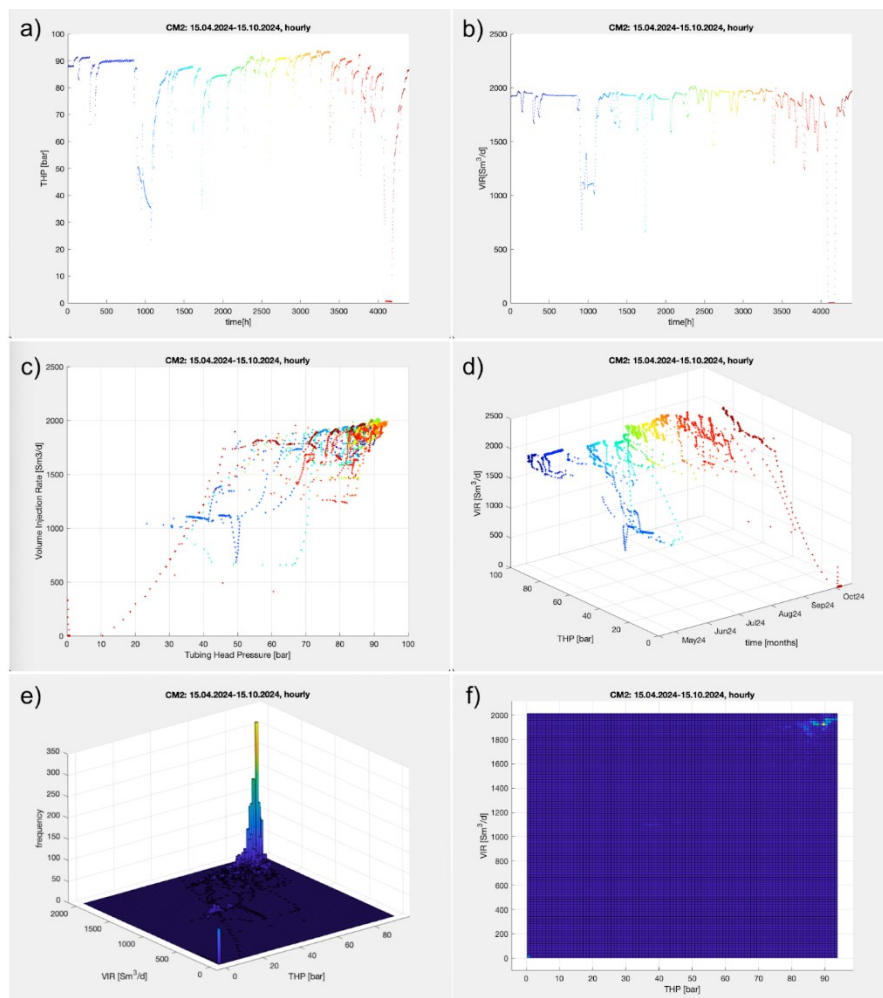
Figura 7.5. Variazioni temporali di VIR e THP per il periodo 15/04/2024 – 15/10/2024

L'andamento delle pressioni e dei ratei di volume iniettato è caratterizzato da periodi brevi e medi (da ore a decine di giorni) di forte calo/azzeramento. Tali interruzioni di iniezione (fermi generali) sono interventi programmati da parte del concessionario, per motivi di controllo e/o manutenzione (*well integrity*). Eccetto questi picchi in negativo, si nota che a regime normale i valori di iniezione sono mediamente THP $\sim 90 \pm 5$ bar e VIR $\sim 1850 \pm 100$ Sm³/giorno, corrispondente a meno di 80 Sm³/ora. Modellizzazioni teoriche della variazione di stress di Coulomb comparate con la sismicità registrata nei pressi del CM2, indicano che un tasso di iniezione fino a 2000 m³/giorno è sostenibile dal contesto geologico senza (ri-) attivare sismicità significativa (Dieterich et al., 2018),

Come evidente dalla Figura 7.5, le variazioni temporali di VIR e THP mostrano una forte correlazione. Per confrontare direttamente i due parametri, la Figura 7.6 mostra differenti rappresentazioni dei parametri di produzione per il periodo 15/04 - 15/10/2024 con intervallo di campionamento orario. La codifica a colori della scala temporale (da blu a rosso) permette di confrontare graficamente pressione e volume del fluido iniettato in 2-D (c) e 3-D (d), conservando l'informazione del tempo. La Figura

7.6 (e,f) mostrano rispettivamente l'istogramma 3-D e 2-D dell'incidenza dei valori operativi di pressione e volume del fluido iniettato e confermano dal punto di vista statistico i valori di THP e VIR nominati sopra. L'istogramma 3D rispecchia quindi la frequenza di occorrenza delle combinazioni di parametri di esercizio applicati - o meglio - più alte sono le barre, più frequente viene operata l'iniezione con tali parametri (THP, VIR).

Figura 7.6. Decomposizione della Figura 7.4 (periodo di reiniezione: 15/04 - 15/10/2024): variazione temporale (codificato a colore) dei parametri (a) pressione testa pozzo THP e (b) volume del fluido iniettato VIR; (c) VIR vs THP; (d) presentazione 3D dei dati mostrati in (a) e (b); (e,f) istogramma 3D e 2D dei parametri THP e VIR.



7.3 Produzione in TP

Il concessionario ha inviato alla SPM i dati di produzione giornaliera a Gorgoglione, di olio, gas e LPG per ogni pozzo, dall'inizio delle attività del campo fino a settembre 2024. La Figura 7.7 mostra un esempio della variazione giornaliera dati di produzione cumulativa a Gorgoglione.

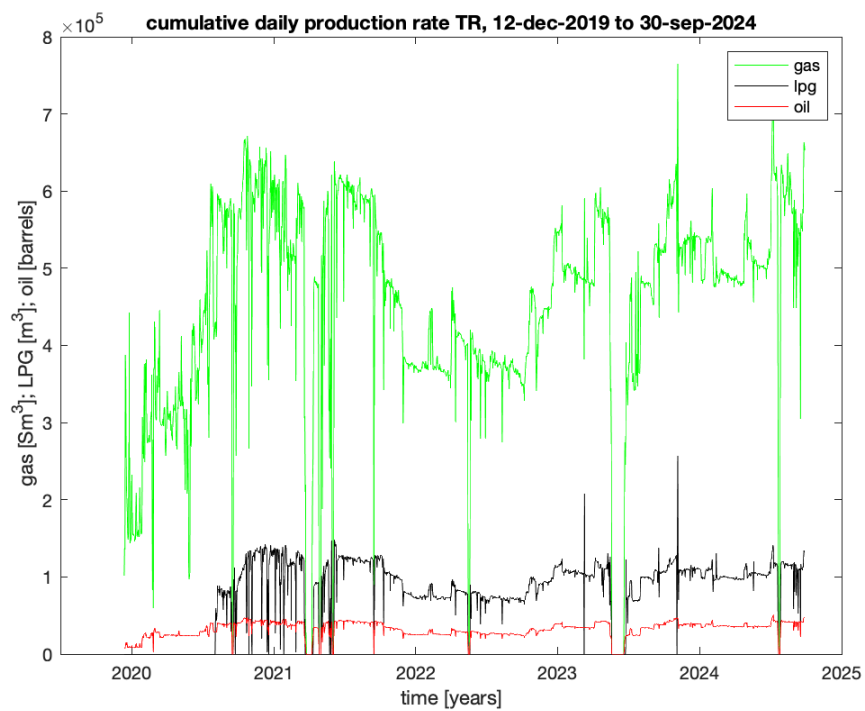


Figura 7.7. Valori di produzione cumulativi a Gorgoglione per gas naturale (verde), gas propano liquido (nero) e petrolio (rosso) per il periodo dal 12/12/2019 al 30/09/2024.

8 Comunicazione e Disseminazione

Il Centro di Monitoraggio per le attività del Sottosuolo CMS ha attivato un sito web dedicato per la disseminazione delle informazioni relative alle attività di monitoraggio nelle aree di concessione per le quali sia stato nominato SPM.

Il sito <http://cms.ingv.it> è raggiungibile altresì dal portale istituzionale INGV.

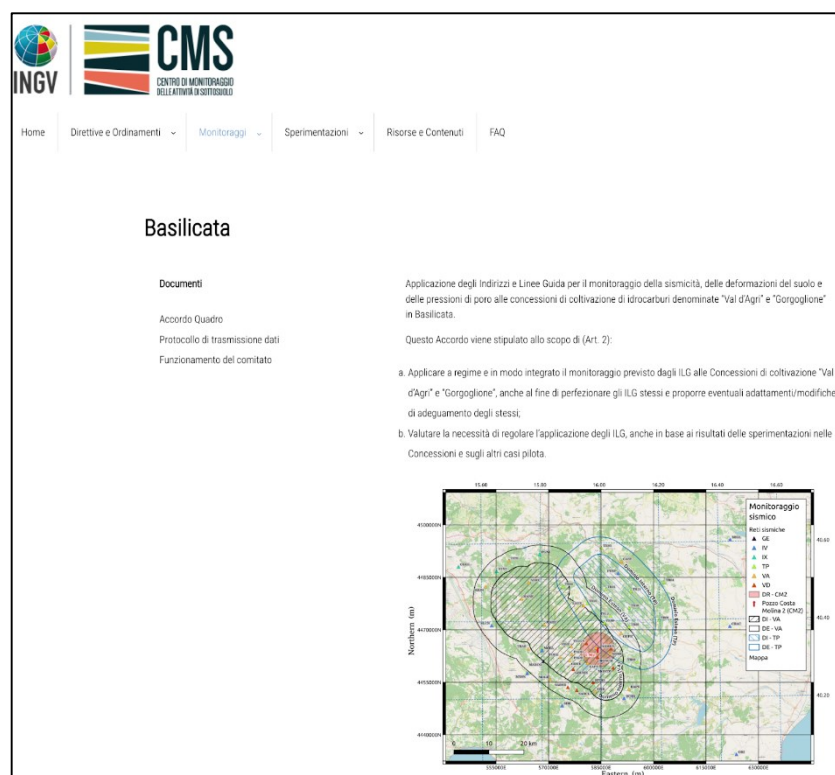


Figura 8.1. Pagina web dedicata al progetto di monitoraggio in Basilicata pubblicata sul sito <http://cms.ingv.it>.

Il sito riporta informazioni di inquadramento generale, informazioni specifiche sulle singole sperimentazioni e le applicazioni definitive degli ILG, la rispettiva documentazione e i report periodici trasmessi (Figura 8.1).

Oltre ai Report periodici semestrali, il CMS produce, da aprile 2021, bollettini a cadenza giornaliera e mensile, riassuntivi della sismicità delle aree interessate dal monitoraggio, della disponibilità dei dati delle stazioni, di eventuali manutenzioni a strumenti hardware e software e di tutte le attività inerenti al monitoraggio.

I bollettini giornalieri e mensili sono pubblicati su una pagina intranet interna, destinata alla raccolta di informazioni e strumenti a sostegno delle attività del CMS (Figura 8.2).



Figura 8.2. Schermata della home page della intranet interna della SPM e un esempio di bollettino mensile prodotto dal centro di Monitoraggio del Sottosuolo.

9 Considerazioni Conclusive

Come primo report nell'ambito del progetto di monitoraggio integrato secondo gli ILG delle concessioni Val d'Agri e Gorgoglione e sulla base dei dati raccolti, è possibile trarre alcune considerazioni riguardanti soprattutto la validazione delle reti e lo stato dei parametri di monitoraggio nei primi 6 mesi di progetto. Le considerazioni che seguono tengono conto sia dei tre anni di sperimentazione svolta per la Val d'Agri, sia dell'elaborazione dei dati del monitoraggio della concessione Gorgoglione resi accessibili dal precedente AQ; in questo modo è stato possibile ottenere un catalogo sismico e di misure di deformazione esteso su un significativo intervallo temporale.

Per quanto concerne la validazione della rete sismica, allo stato attuale della sperimentazione, è stato valutato il raggiungimento dei requisiti riportati al § 5.3 degli ILG, ossia:

1. “nel dominio interno di rilevazione (DI), rilevare e localizzare i terremoti a partire da magnitudo locale M_L compresa tra 0 e 1 ($0 \leq M_L \leq 1$) e con incertezza nella localizzazione dell'ipocentro di alcune centinaia di metri.” Come si vede nel § 3.3, la completezza del catalogo sismico raccolto durante il monitoraggio nei domini di riferimento va da $M_C = -0.1$ nel dominio del pozzo CM2, a 0.1 nei domini della concessione Val d'Agri e 0.4 nei domini della concessione Gorgoglione (Tabella 3.2).
2. “nel dominio esteso di rilevazione (DE), migliorare di circa 1 unità il livello di magnitudo di completezza delle rilevazioni effettuate dalle reti nazionali o regionali che svolgono servizio di monitoraggio sismico per finalità di protezione civile a livello nazionale o regionale, con incertezza nella localizzazione dell'ipocentro contenuta entro circa 1 km”. Confrontando i valori di M_C nei domini di monitoraggio con quelli stimati utilizzando i dati del bollettino della RSN, è possibile vedere che, allo stato attuale, anche questo requisito è stato raggiunto (vedere ad esempio la Figura 3.6)
3. “determinare l'accelerazione e la velocità del moto del suolo provocata da eventuali terremoti (deboli e forti) presso i punti di misurazione”. I valori di accelerazione e velocità di moto del suolo massima per gli eventi localizzati all'interno dei domini di monitoraggio sono stati misurati ed i valori si trovano nei file allegati a questo rapporto (vedere Appendice C – Bollettino di monitoraggio sismico (VAL D'AGRI E GORGOGNONE)) e presentati nella Figura 5.8 (per gli eventi nella Concessione Val d'Agri) e nella Figura 5.13 (per gli eventi nella Concessione Gorgoglione).
4. “integrarsi opportunamente con le reti di monitoraggio esistenti (ovvero: rete nazionale, reti regionali e ulteriori eventuali reti locali) al fine di migliorare

l'accuratezza e la completezza della rilevazione della sismicità". Il § 3.2 presenta una esaustiva analisi teorica delle soglie di detezione delle diverse reti, considerando sia scenari di operazione indipendente per le reti installate specificamente per il monitoraggio delle concessioni, sia scenari di reti integrate. Da queste analisi è possibile vedere chiaramente quanto sia positivo l'effetto dell'utilizzo di tutte le reti integrate in termini di diminuzione della soglia di detezione.

Alla luce delle analisi eseguite, tutti e quattro i requisiti risultano adeguatamente raggiunti per la rete sismica integrata. Si allega anche la sismicità registrata nel periodo di monitoraggio di pertinenza di questo rapporto (i.e., dal 15/04/2024 al 15/10/2024).

Relativamente alla validazione delle reti di monitoraggio geodetico invece si rilevano diverse criticità che ne impediscono la validazione ai fini dell'applicazione degli ILG, che richiedono la presenza di *"stazioni permanenti di precisione (di tipo geodetico), distribuite opportunamente in funzione dell'estensione e delle caratteristiche dell'area da monitorare ed installate con un'adeguata monumentazione adatta a scopi geofisici (ad esempio UNAVCO). In particolare, si richiede che le stazioni abbiano interdistanze inferiori a 10-15 km"*.

Riguardo alla rete GNSS della **Val d'Agri** si evidenzia quindi quanto segue:

- Sarebbe auspicabile un'integrazione della rete nelle estremità settentrionali e meridionali con ulteriori stazioni, dove le interdistanze risultano maggiori di 15 km, per avere un risultato ottimale di monitoraggio per tutto il dominio interno;
- la monumentazione della maggior parte delle stazioni non è ancorata al substrato roccioso, non garantendo quindi l'acquisizione di misure di alta precisione per scopi geofisici, che infatti si riflette sulle misure ottenute da 3 stazioni su 5 con serie temporali sufficientemente lunghe (INN2, TLMA e VIGG), dove si registrano tassi di spostamento che sembrano essere fortemente influenzati da sorgenti locali di deformazione;
- allo stato attuale non è comunque possibile validare nel complesso tutta la rete GNSS, dal momento che per le stazioni di recente installazione è necessario un maggior tempo di acquisizione dei dati per verificare la stabilità e l'affidabilità dei siti.

Riguardo invece alla rete GNSS di **Gorgoglione** sono state riscontrate le seguenti criticità:

- La posizione delle stazioni non è opportunamente distribuita in funzione dell'area da monitorare, avendo inter-distanze tra le stazioni maggiori di 15 km,

perciò la rete necessita di un'integrazione di diverse stazioni per tutto il dominio di monitoraggio;

- la monumentazione di tutte le stazioni non sembra essere ancorata al substrato roccioso, non garantendo quindi l'acquisizione di misure di alta precisione per scopi geofisici, che infatti si riflette sulle misure ottenute, registrando tassi di spostamento che sembrano essere fortemente influenzati da sorgenti locali di deformazione;
- la rete geodetica per la concessione di Gorgoglione risulta pertanto molto carente ai fini del monitoraggio delle deformazioni del suolo secondo gli ILG e se ne raccomanda un adeguamento secondo le indicazioni fornite.

A fronte di ulteriori informazioni e dati che saranno acquisiti dalla SPM nei prossimi mesi sarà possibile eseguire un aggiornamento della validazione delle reti di monitoraggio.

I parametri di iniezione al pozzo Costa Molina 2 si sono mantenuti su livelli di regime, con pressione testa pozzo THP e tasso di reiniezione (volume/giorno) VIR in linea con i livelli raccomandati da modellazioni teoriche (Dieterich et al., 2018).

E' stato realizzato un sito web dedicato (<http://cms.ingv.it>) raggiungibile anche dal portale nazionale dell'INGV che, in ottemperanza a quanto richiesto all'art. 8 degli ILG, è inteso a garantire che siano disseminate al pubblico informazioni generali e di dettaglio sulle attività di monitoraggio presso le singole concessioni.

Appendice A – Soglie di detezione dallo studio del rumore sismico ambientale considerando reti indipendenti ed integrate

A.1 Stazioni della rete VA considerata singolarmente - Profondità 0-10 km

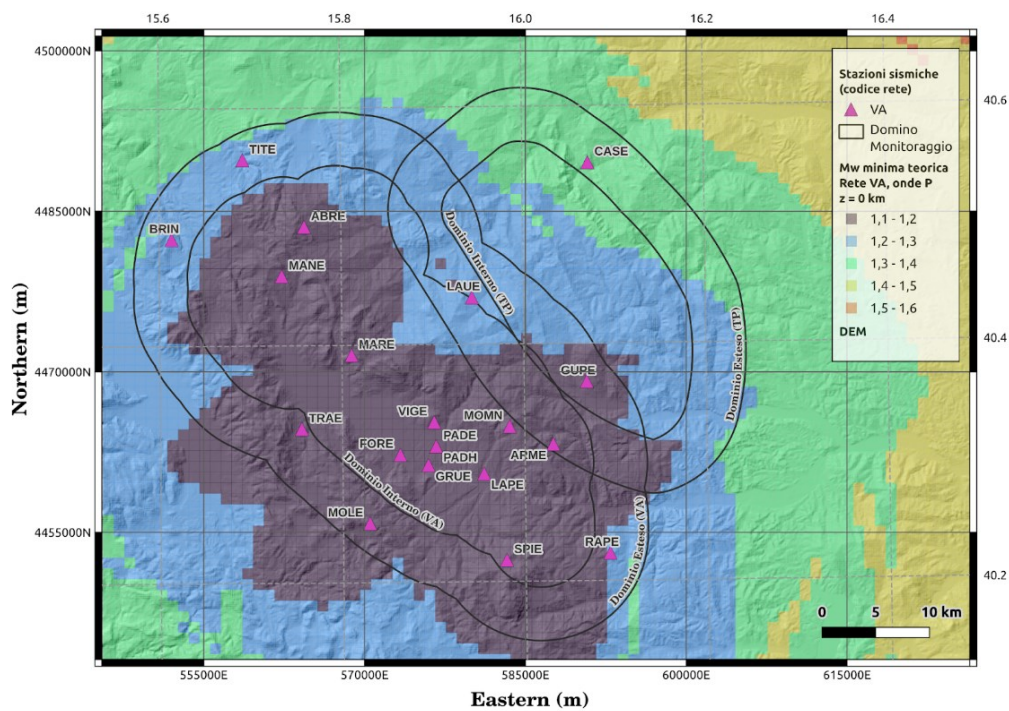


Figura A.0.2. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 0$ km)

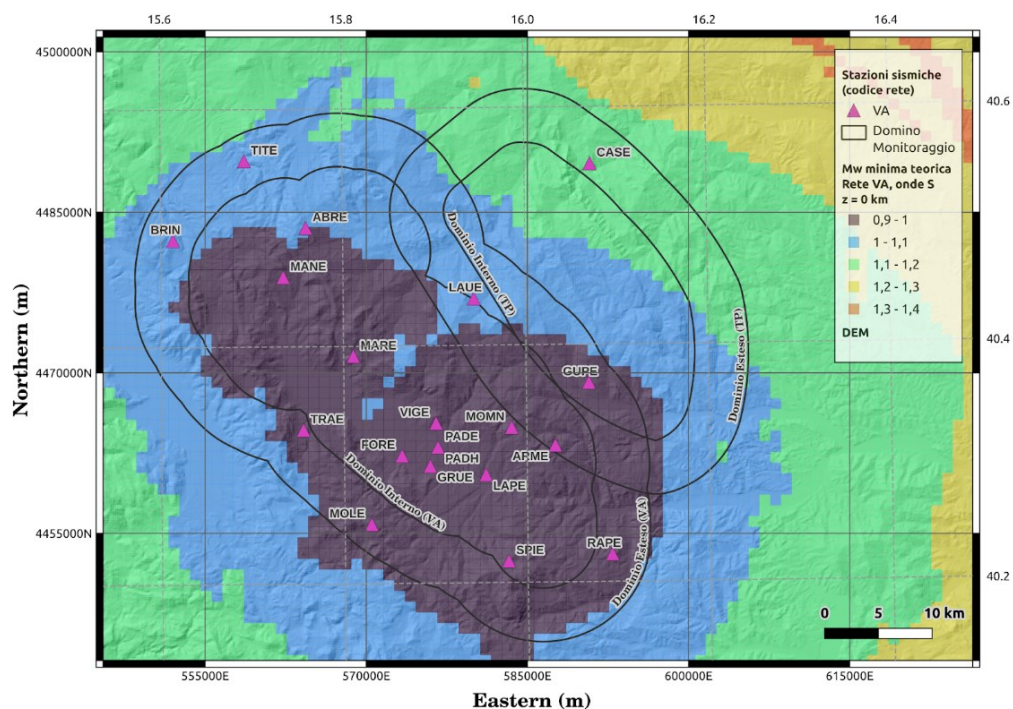


Figura A.0.1. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 0$ km)

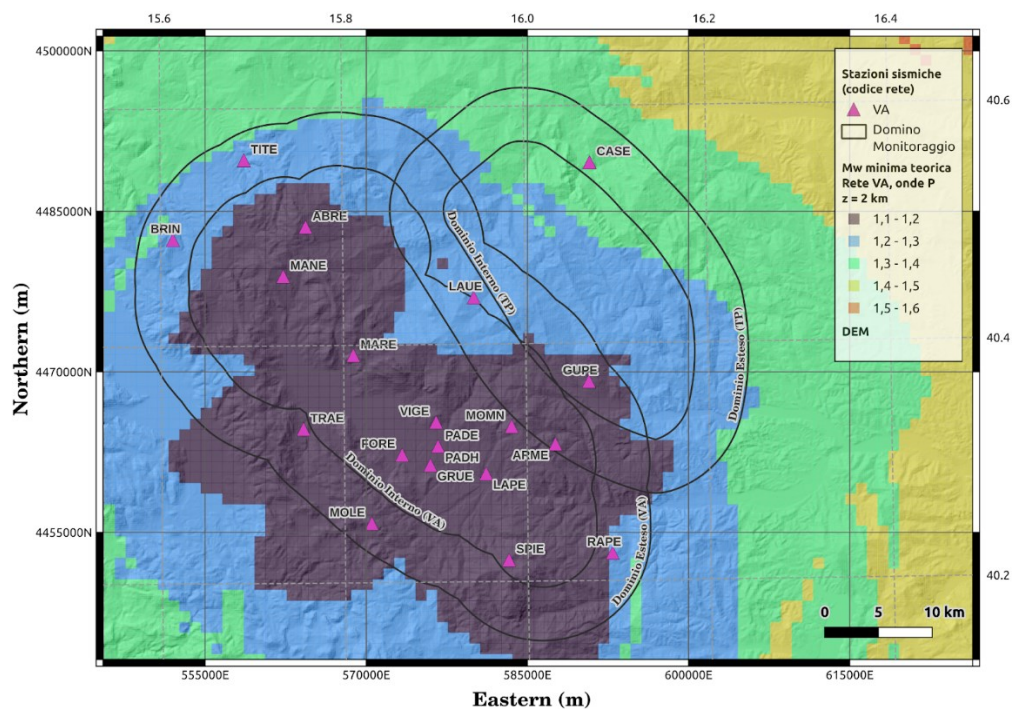


Figura A.0.4. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 2$ km)

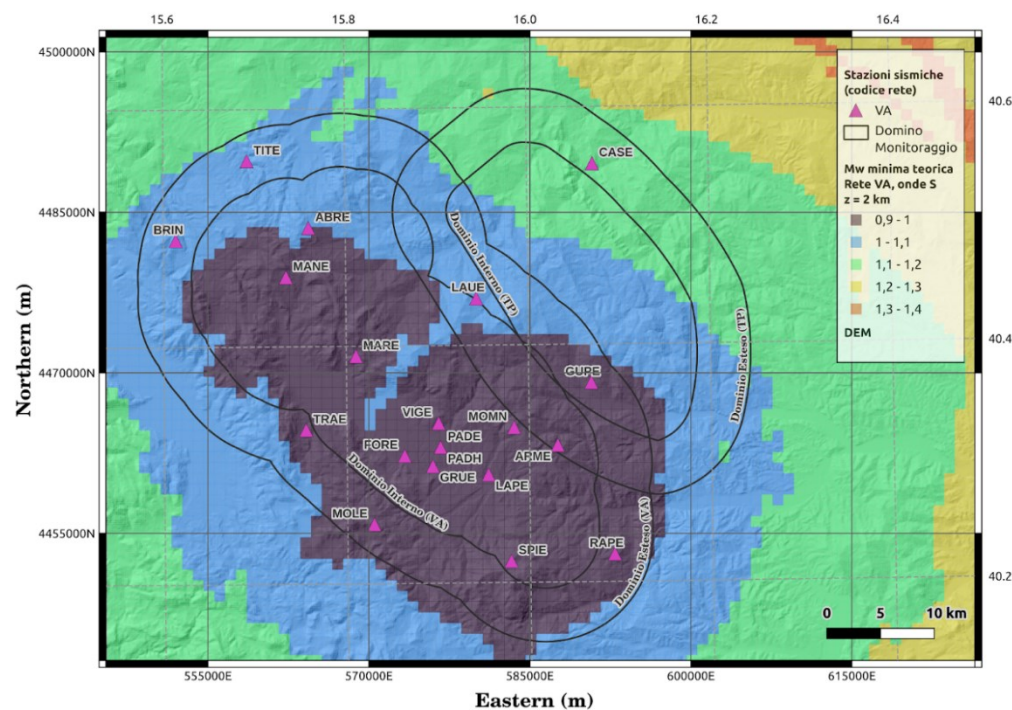


Figura A.0.3. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 2$ km)

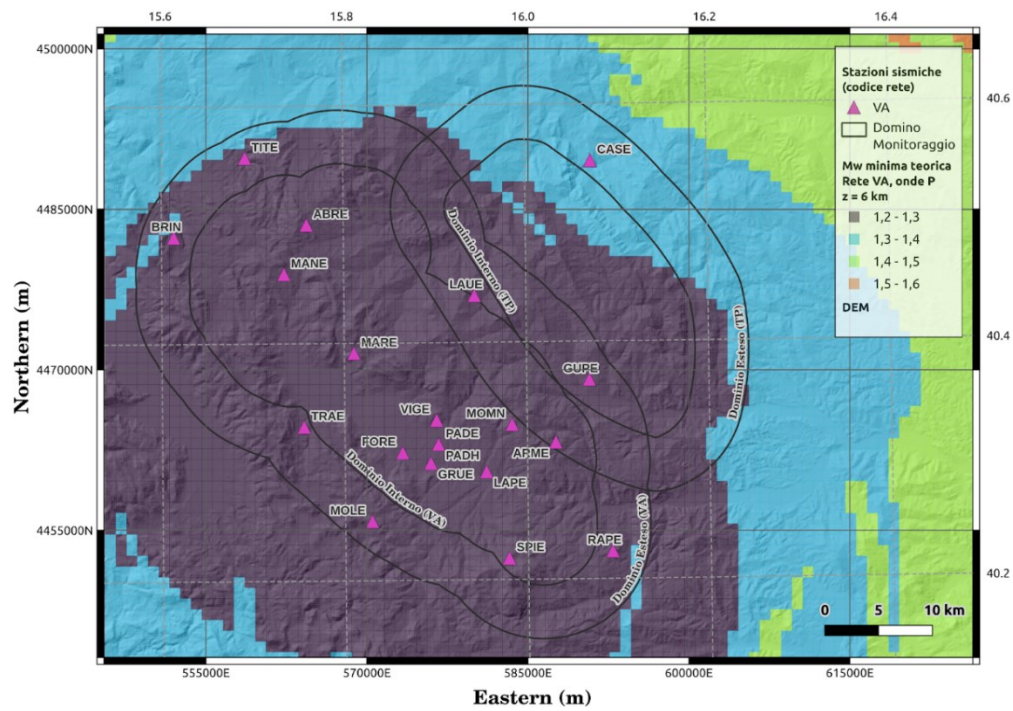


Figura A.0.6. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 6$ km)

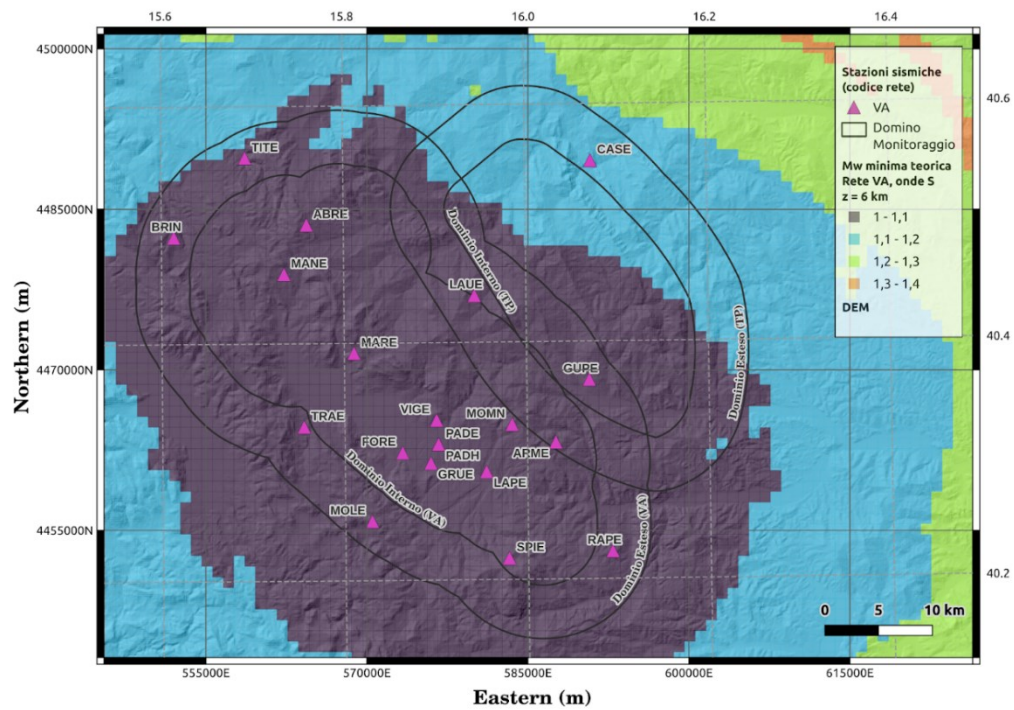


Figura A.0.5. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 6$ km)

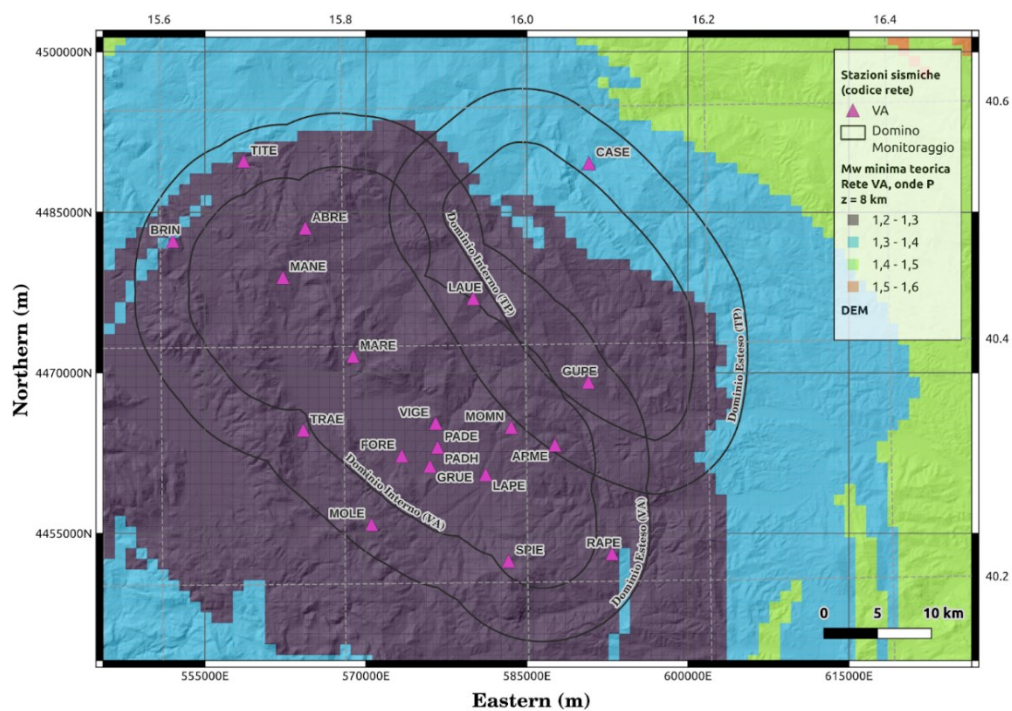


Figura A.0.7. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 8$ km)

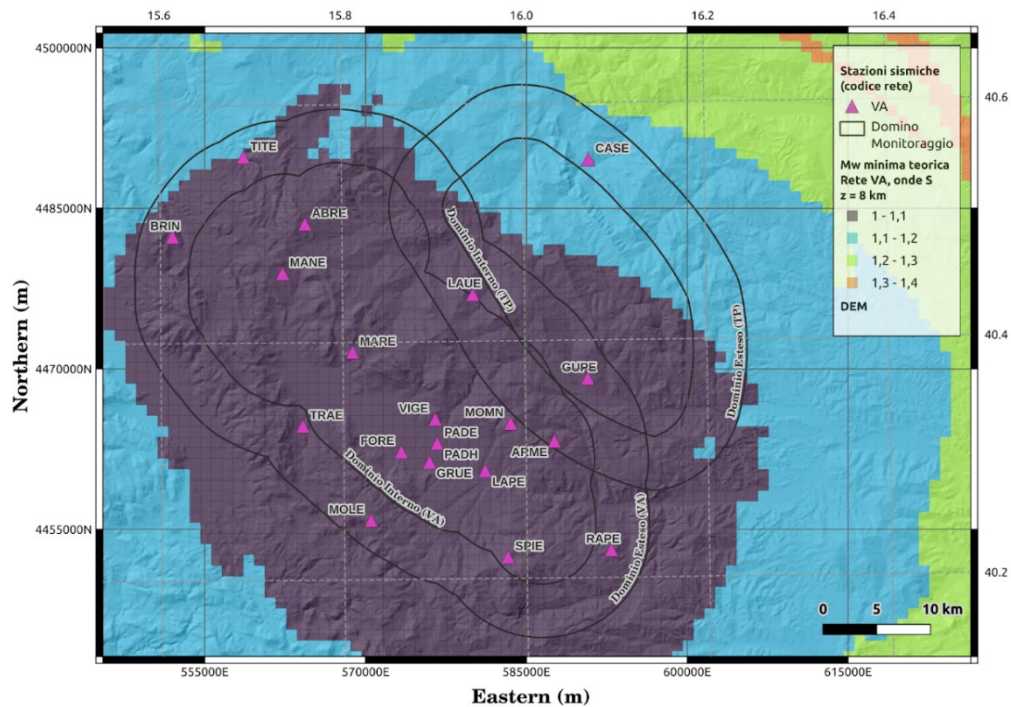


Figura A.0.8. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 8$ km)

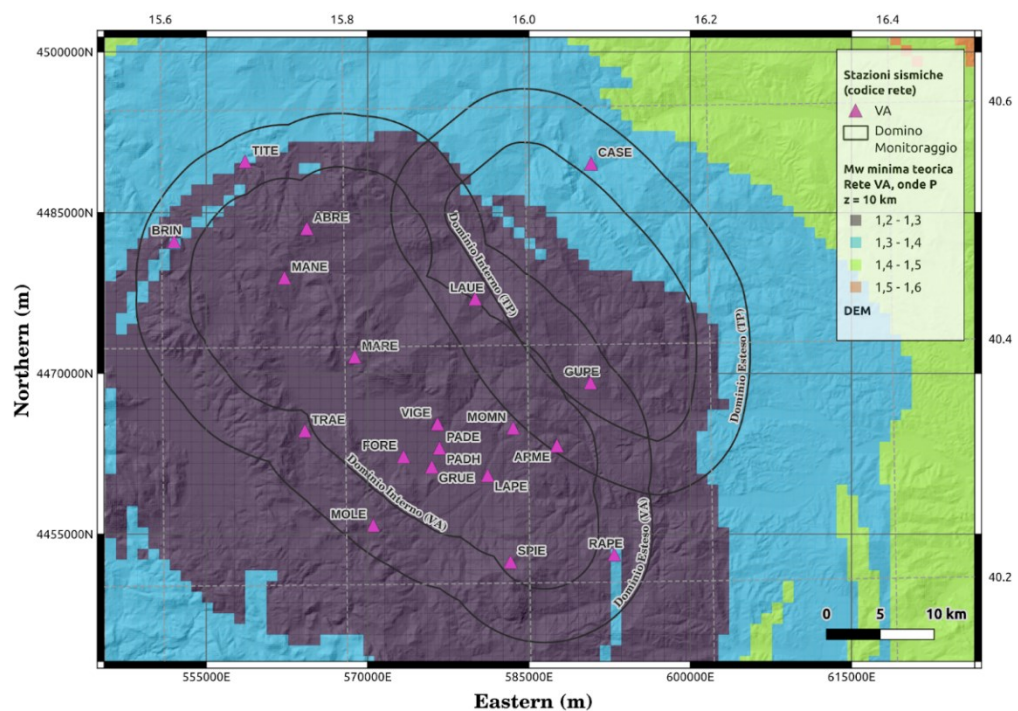


Figura A.0.9. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 10$ km)

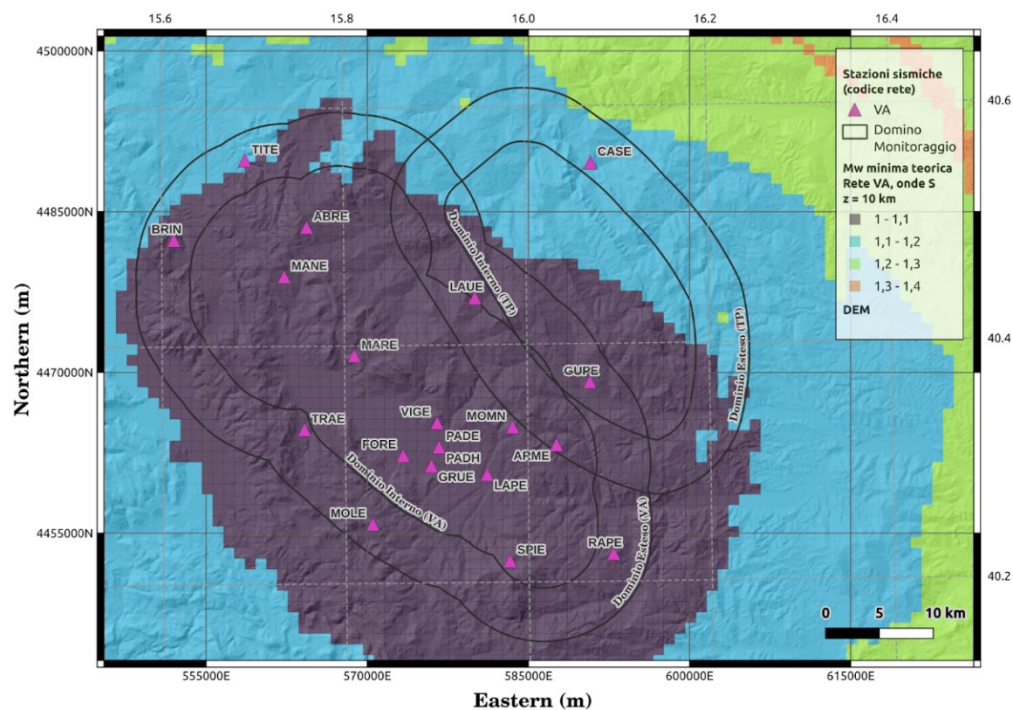


Figura A.0.10. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 10$ km)

A.2 Stazioni della rete TP considerata singolarmente - Profondità 0-10 km

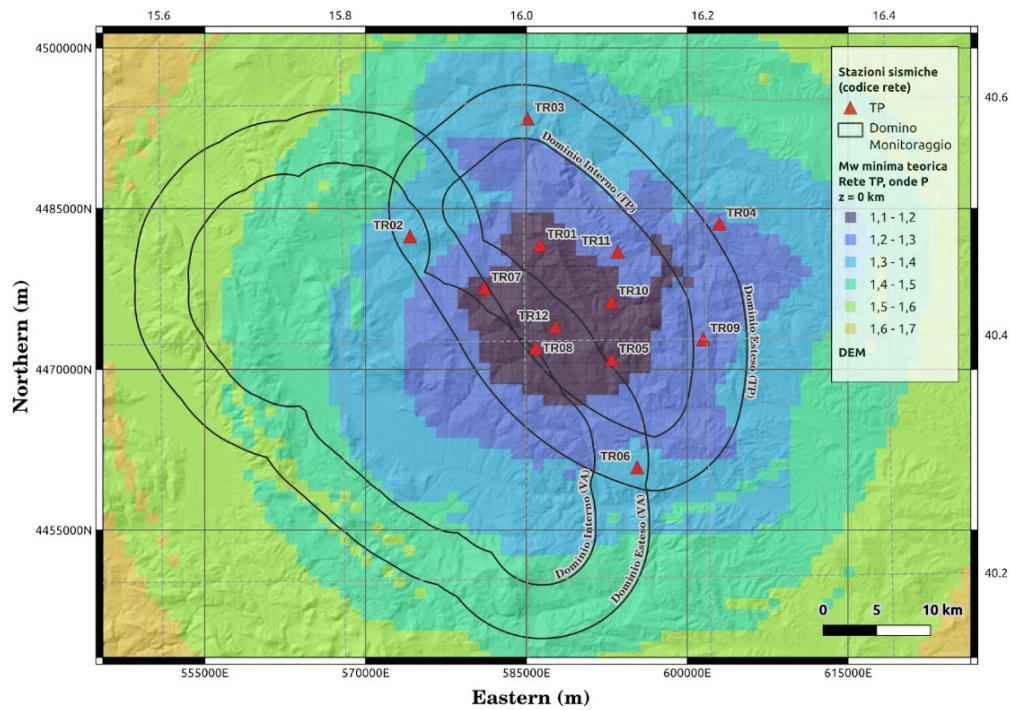


Figura A.0.12. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 0$ km)

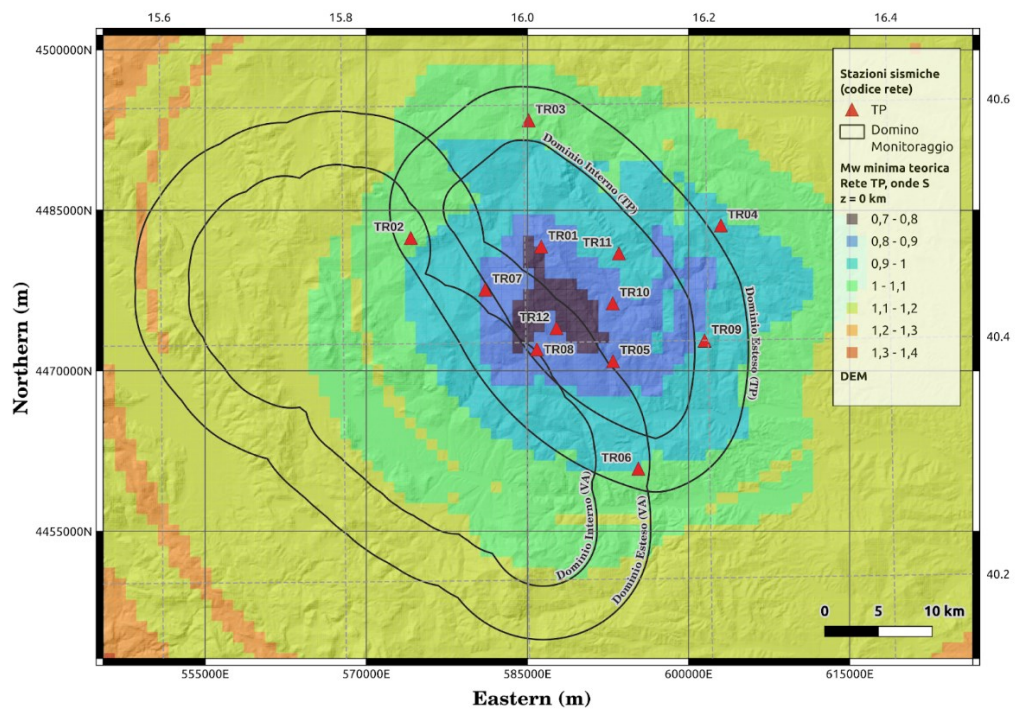


Figura A.0.11. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 0$ km)

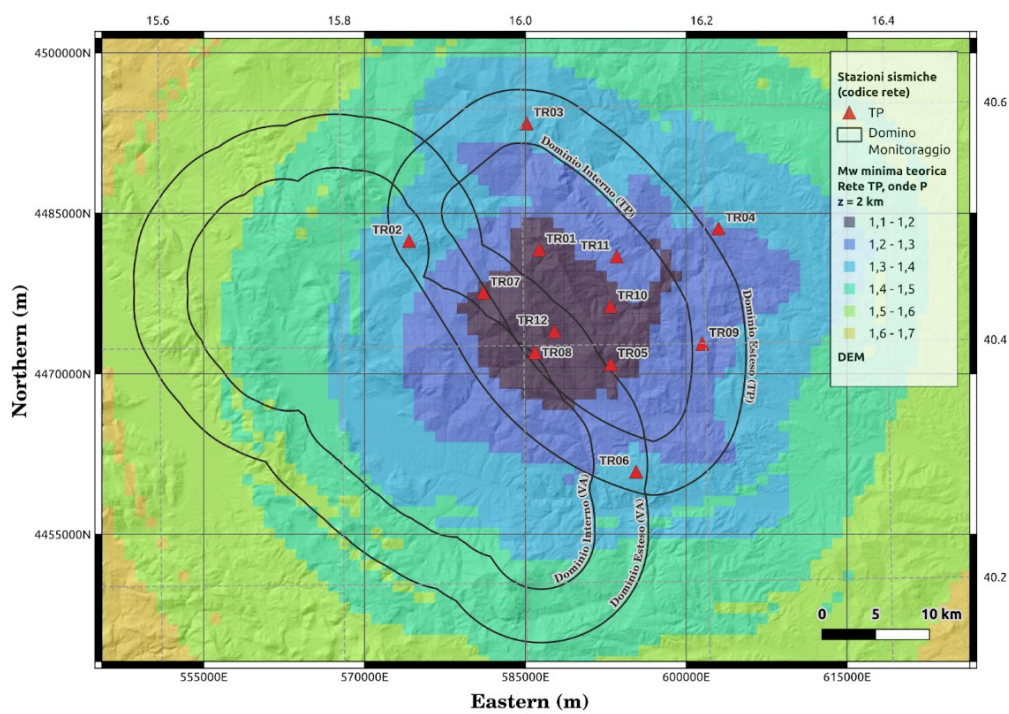


Figura A.0.13. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 2$ km)

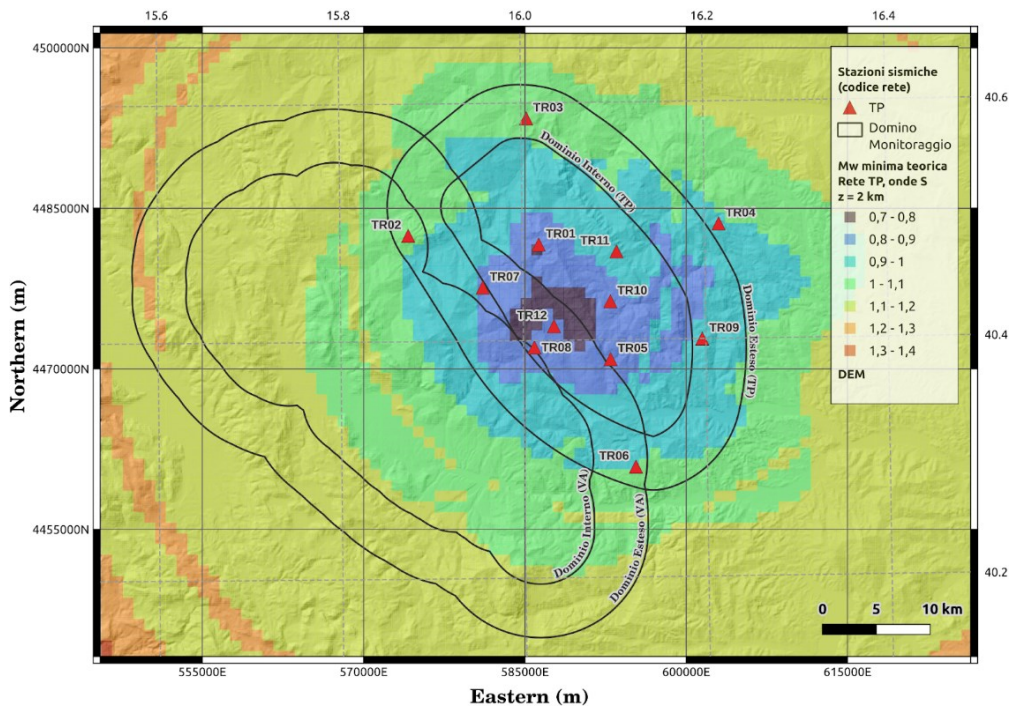


Figura A.0.14. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 2$ km)

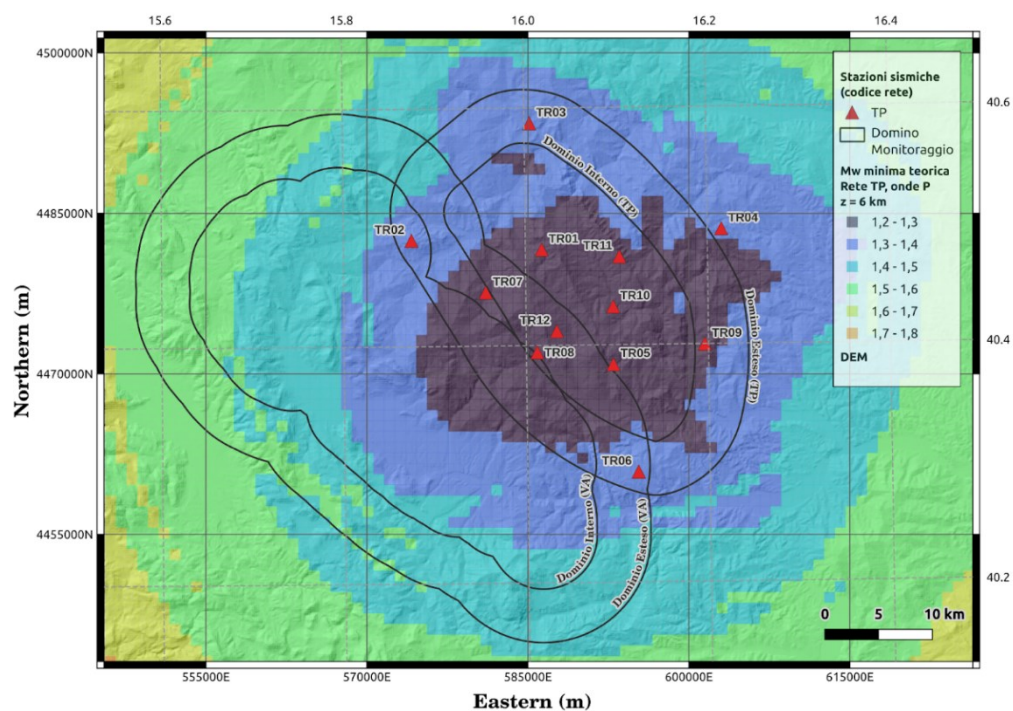


Figura A.0.16. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 6$ km)

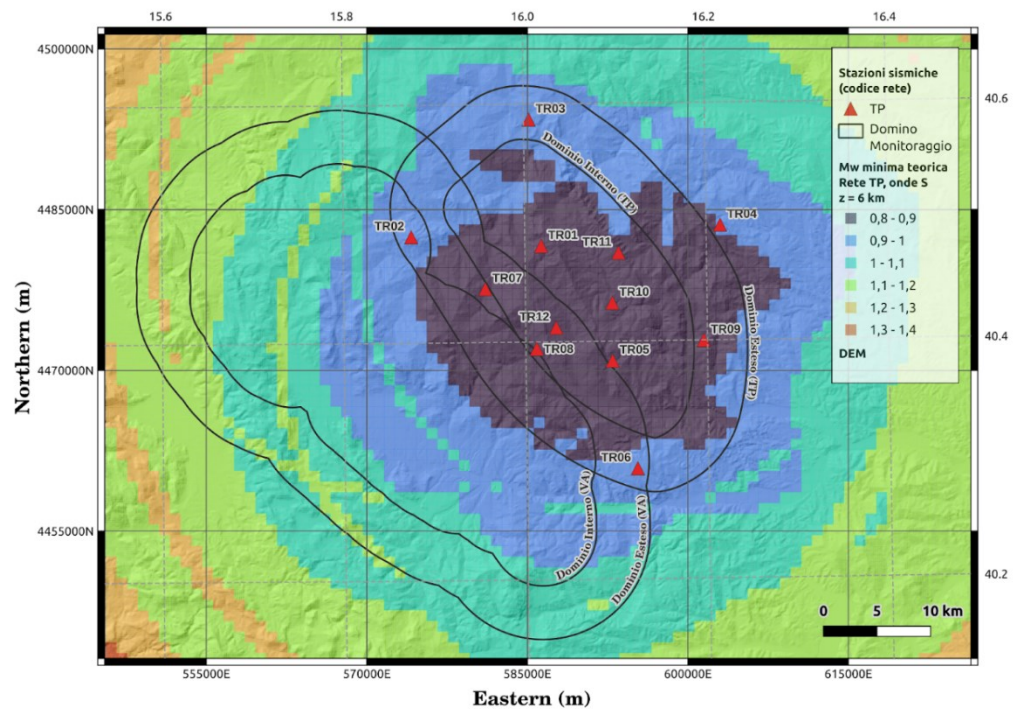


Figura A.0.15. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 6$ km)

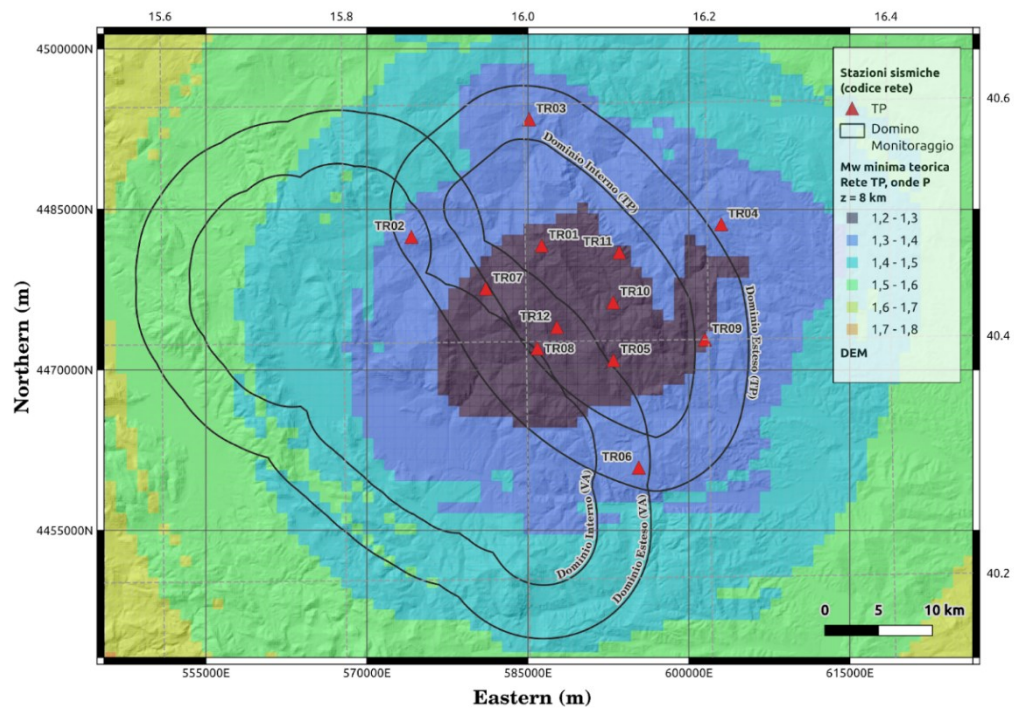


Figura A.0.17. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 8$ km)

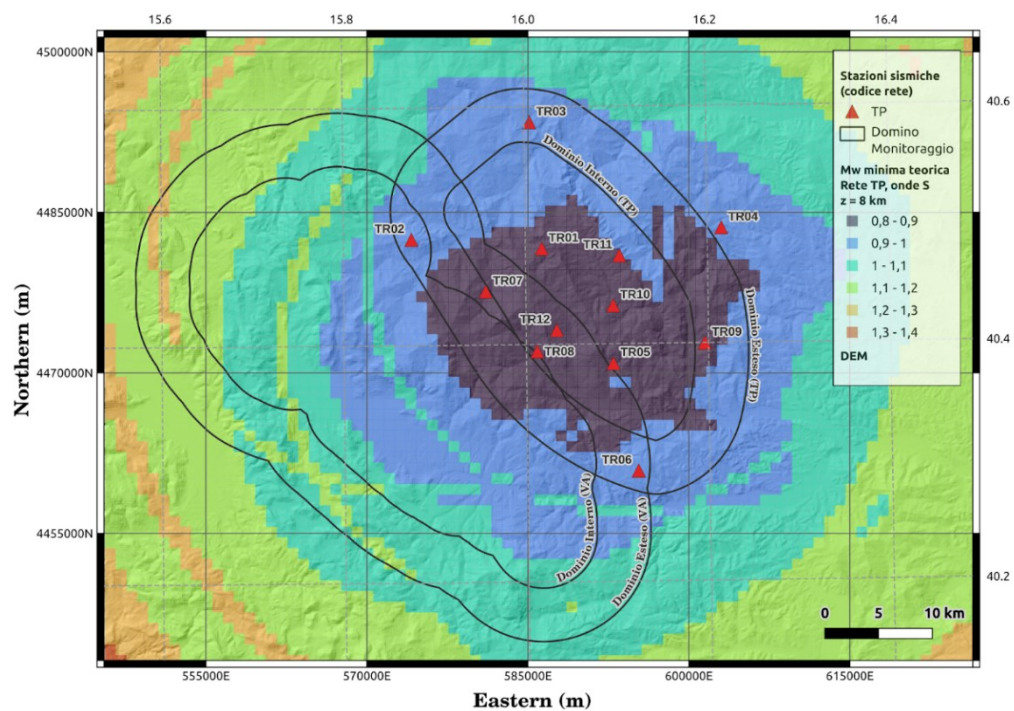


Figura A.0.18. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 8$ km)

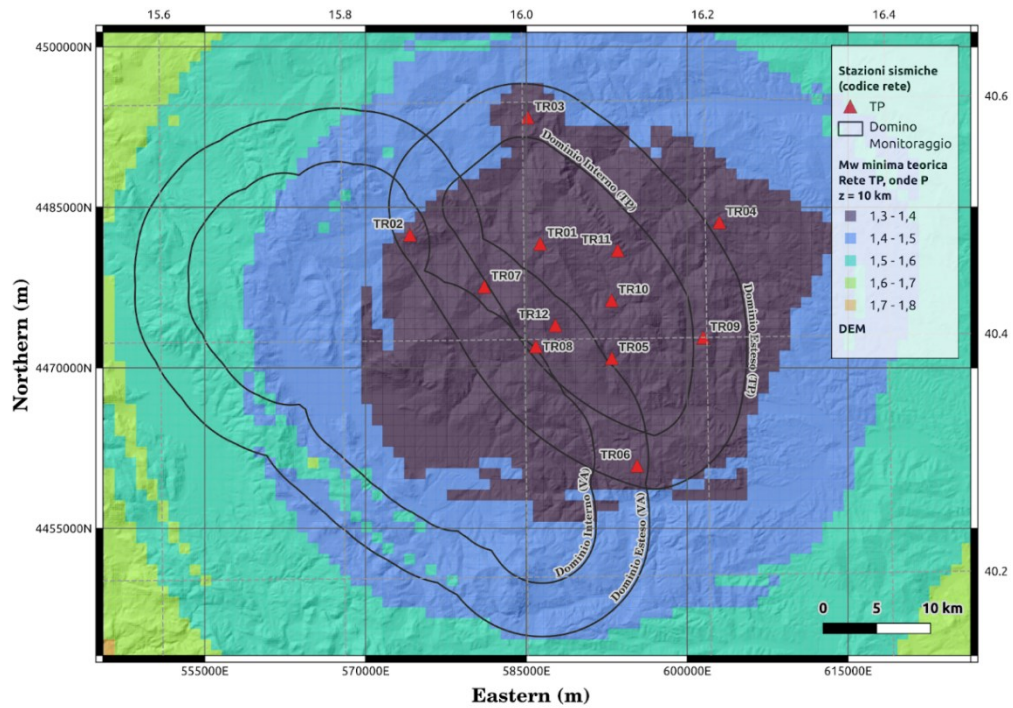


Figura A.0.19. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 10$ km)

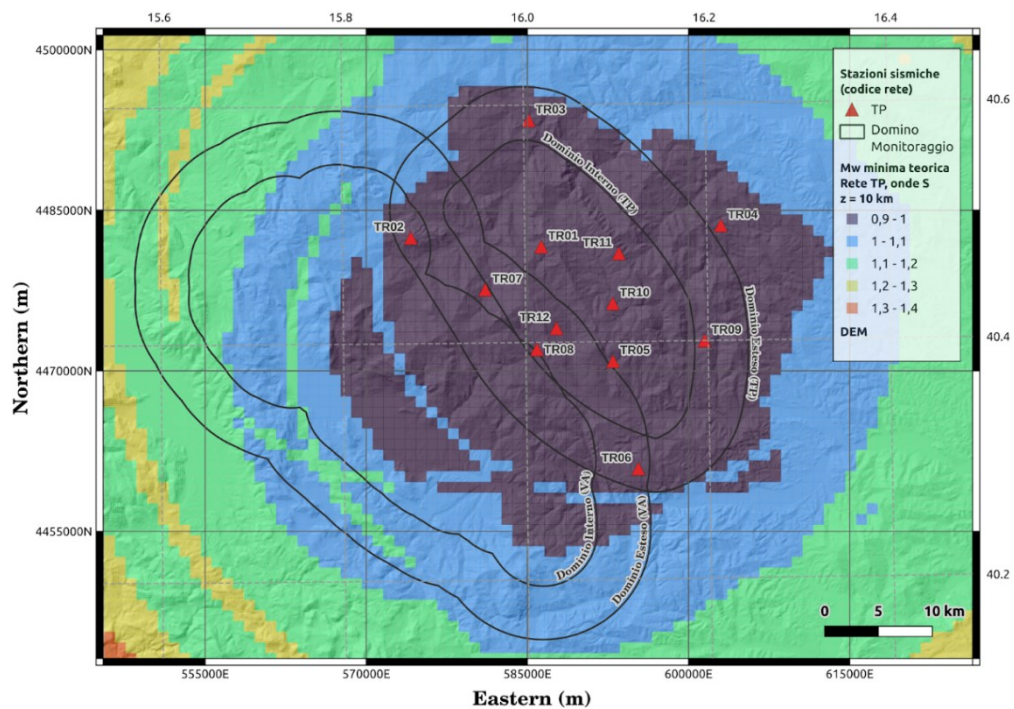


Figura A.0.20. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 10$ km)

A.3 Stazioni delle reti VA e TP integrate

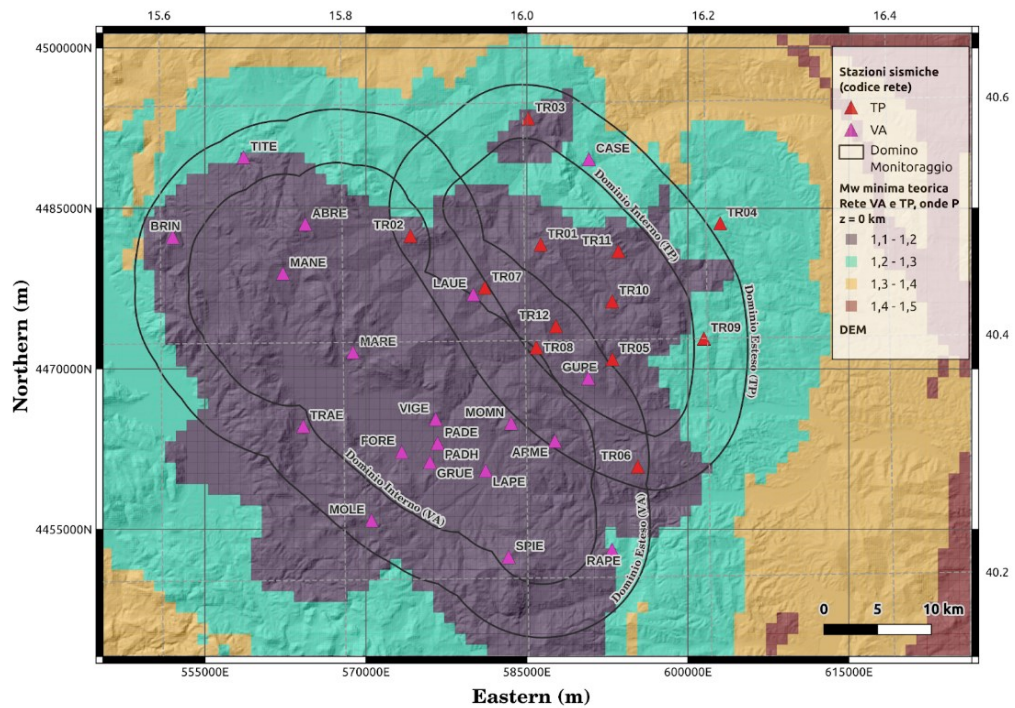


Figura A.0.21. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 0$ km)

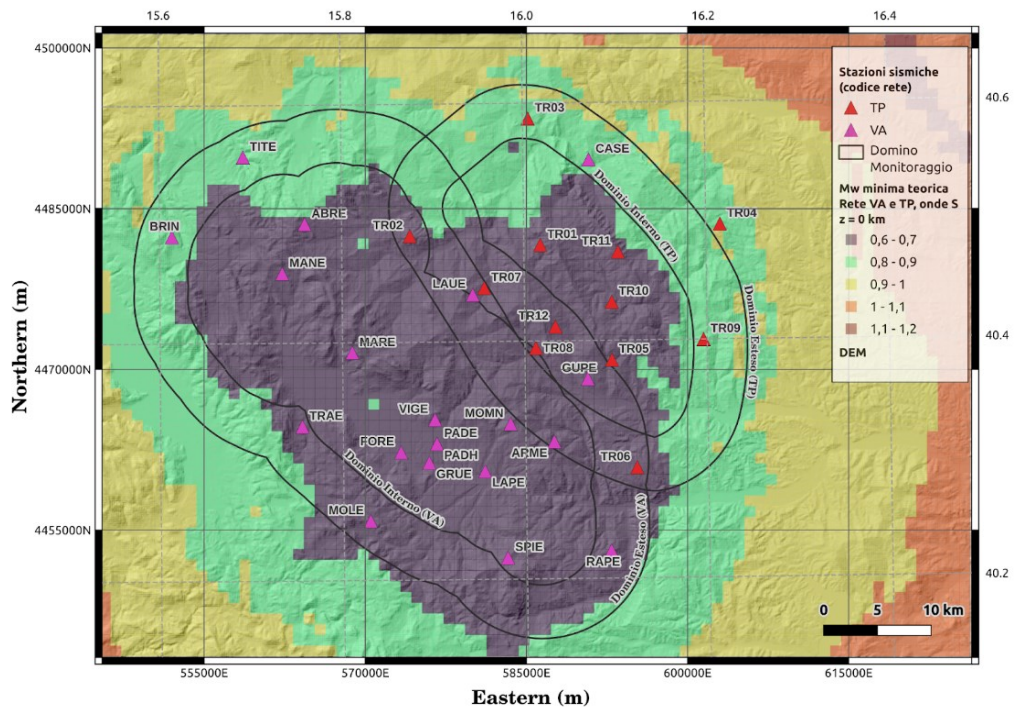


Figura A.0.22. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 0$ km)

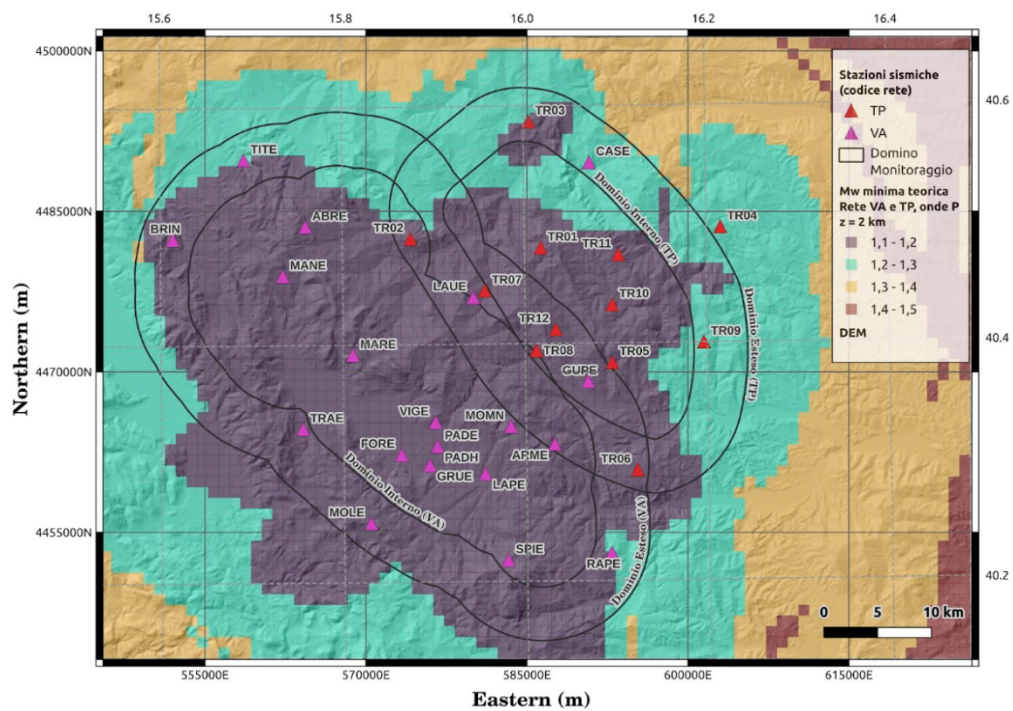


Figura A.0.24. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 2$ km)

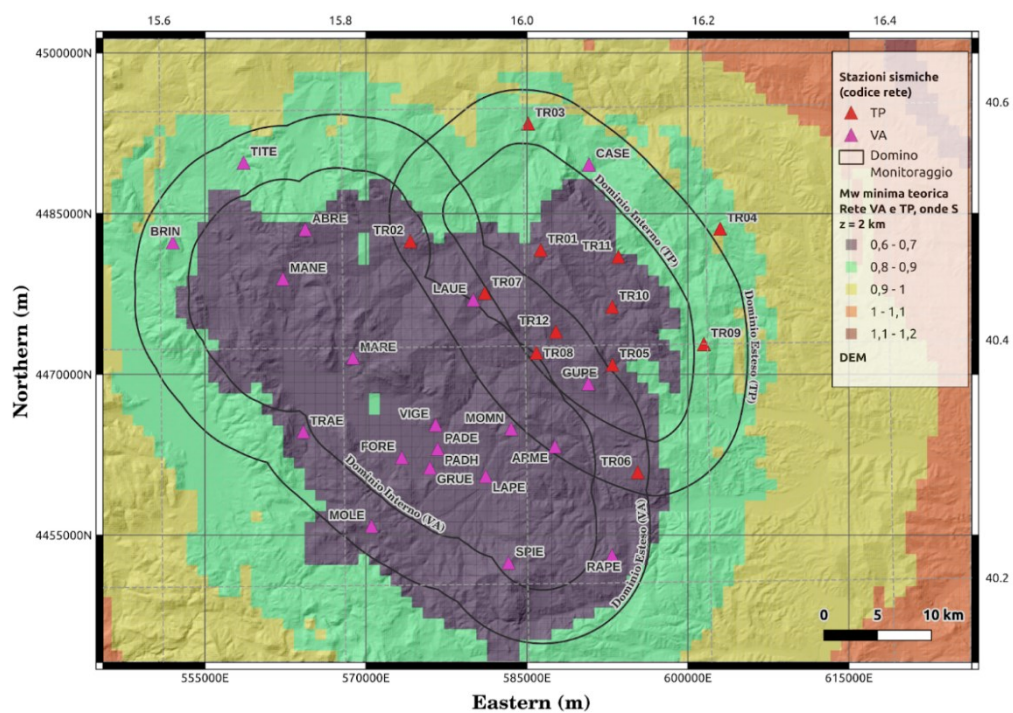


Figura A.0.23. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 2$ km)

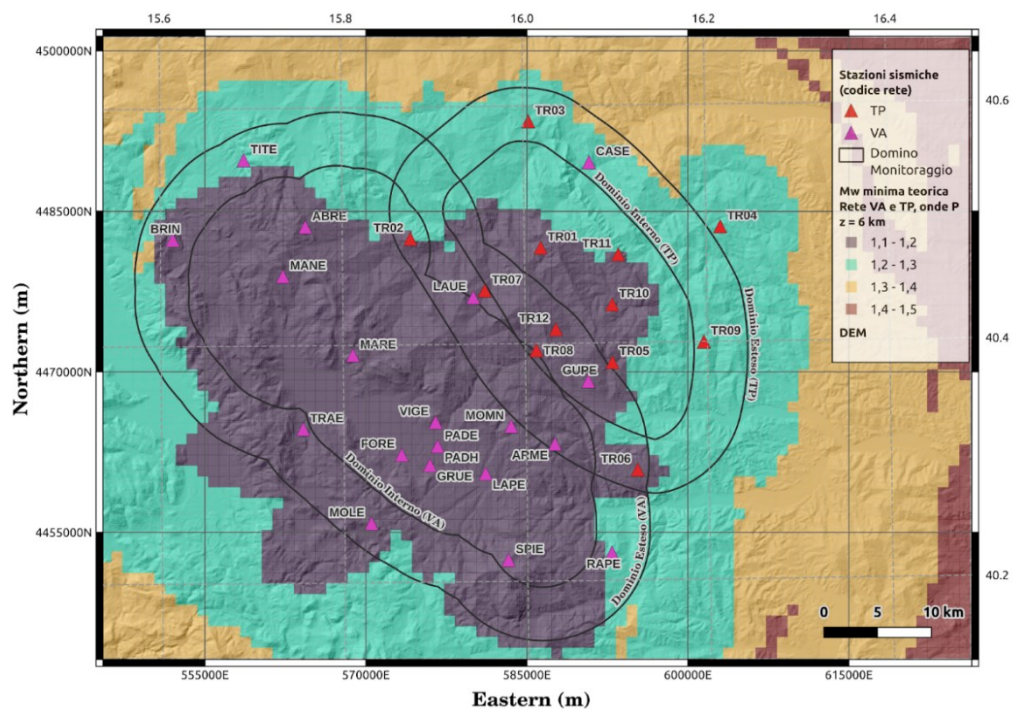


Figura A.0.26. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 6$ km)

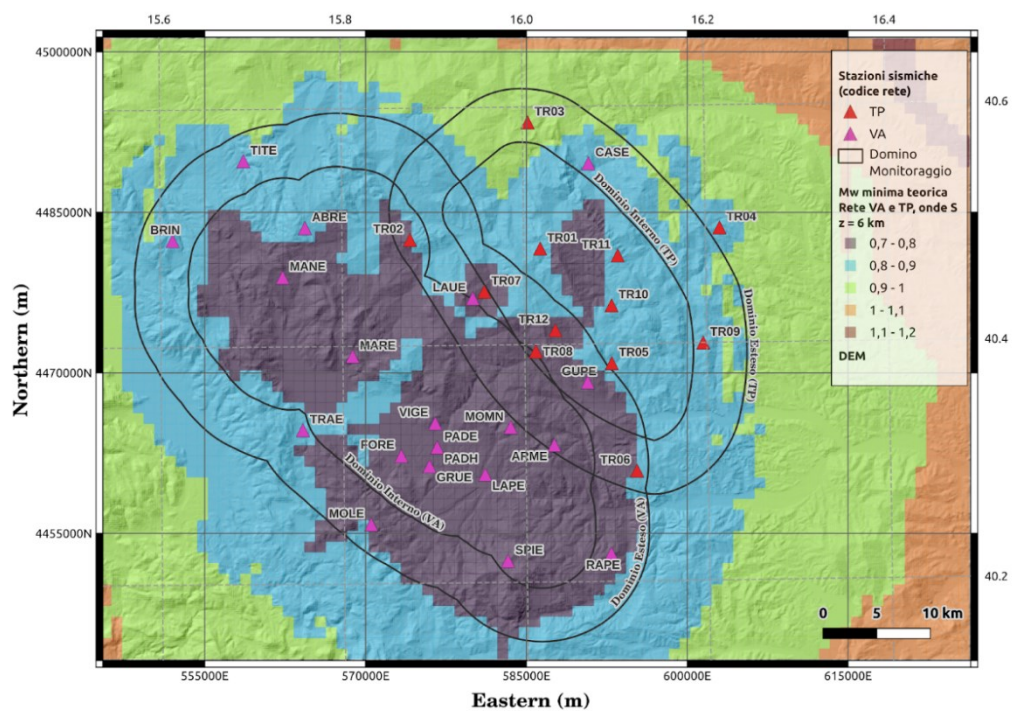


Figura A.0.25. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 6$ km)

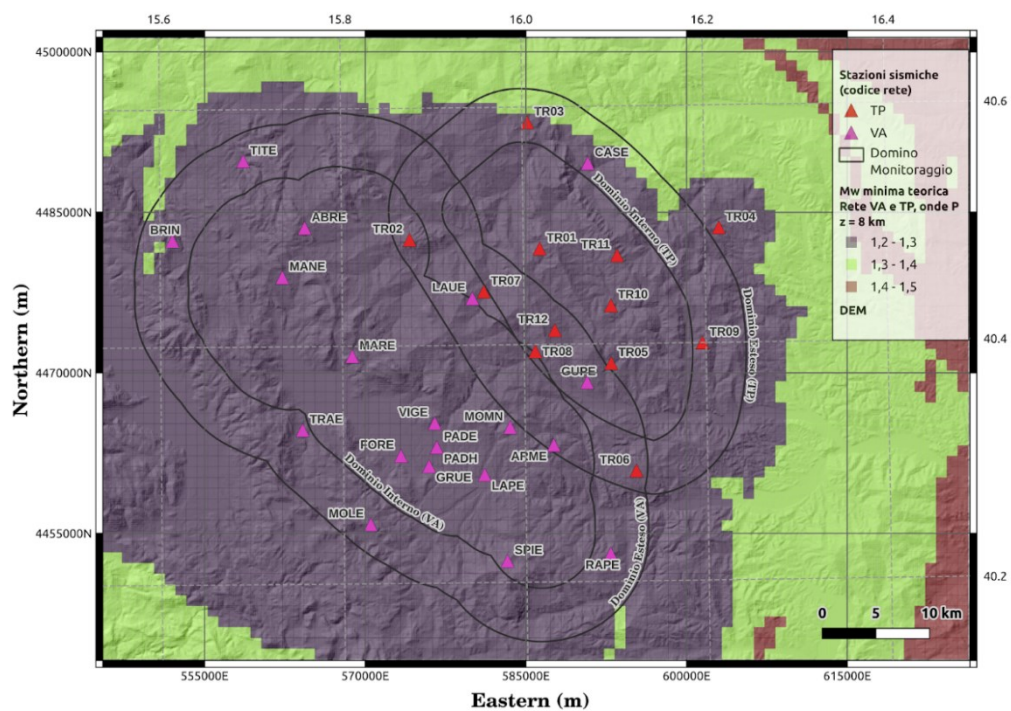


Figura A.0.28. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 8$ km)

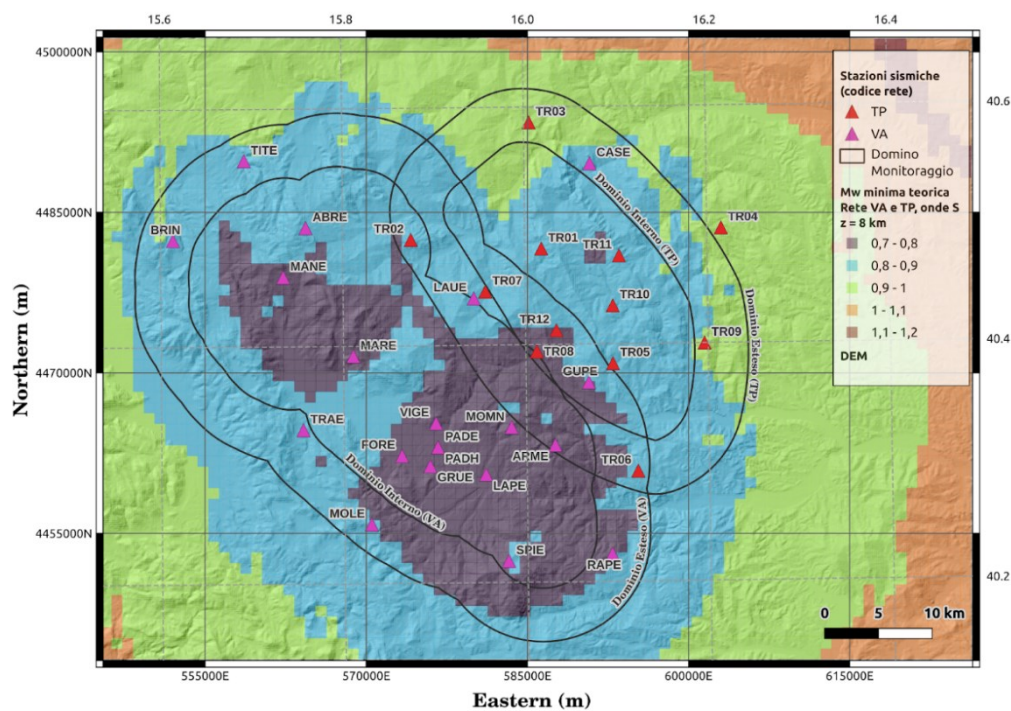


Figura A.0.27. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 8$ km)

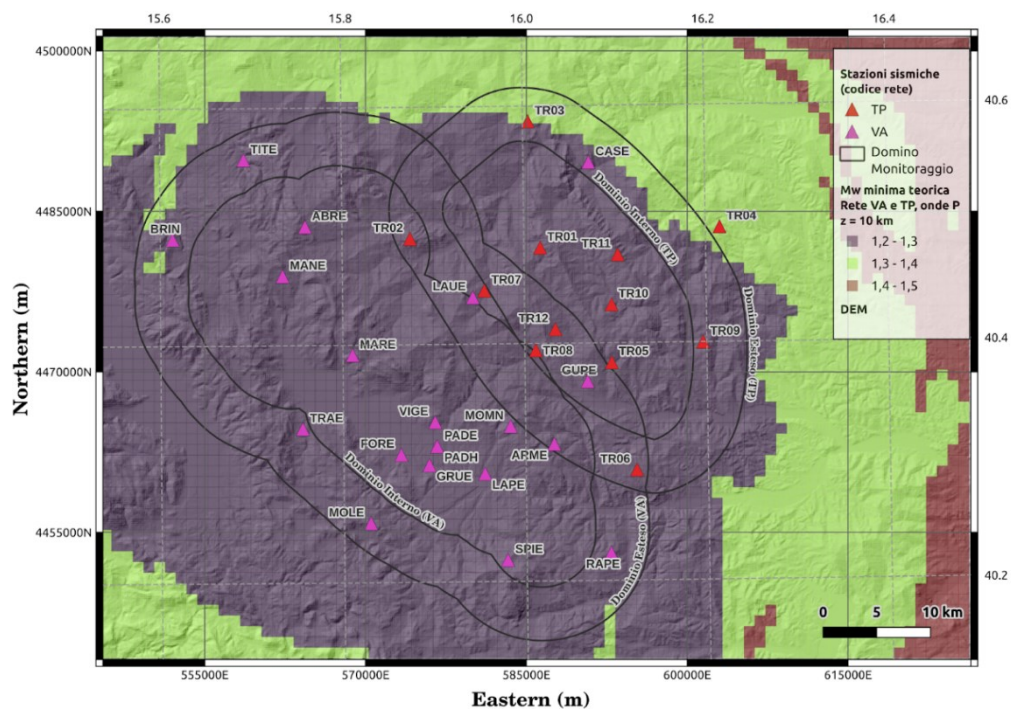


Figura A.0.30. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi – Onde P ($z = 10$ km)

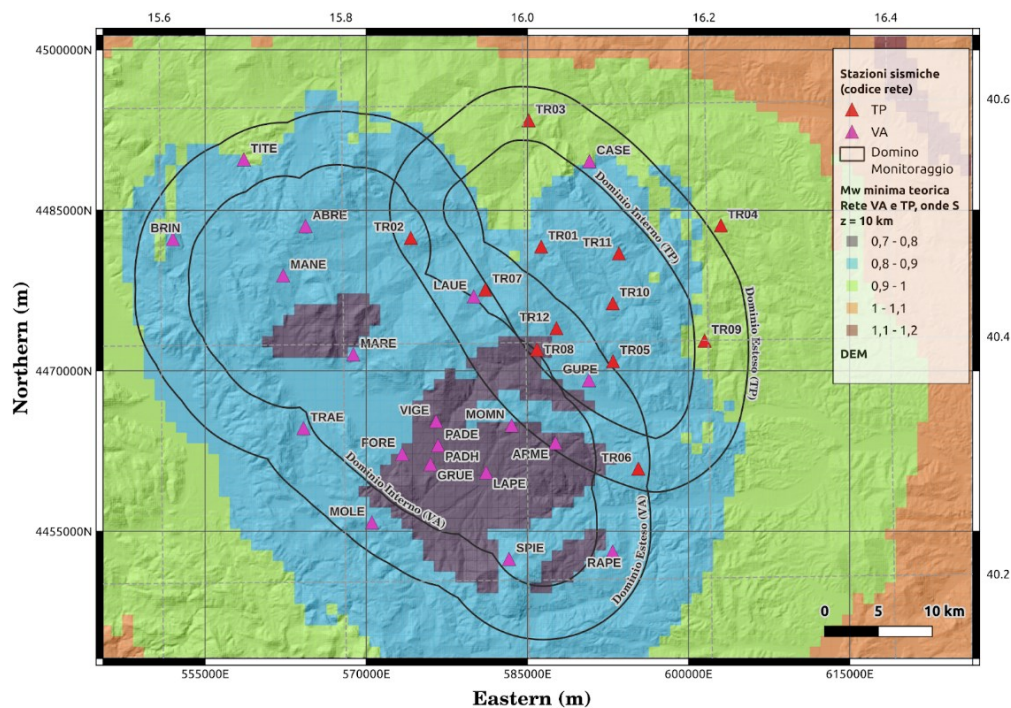


Figura A.0.29. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 10$ km)

A.4 Stazioni delle reti VA e TP integrate insieme a tutte le altre reti disponibili nella zona

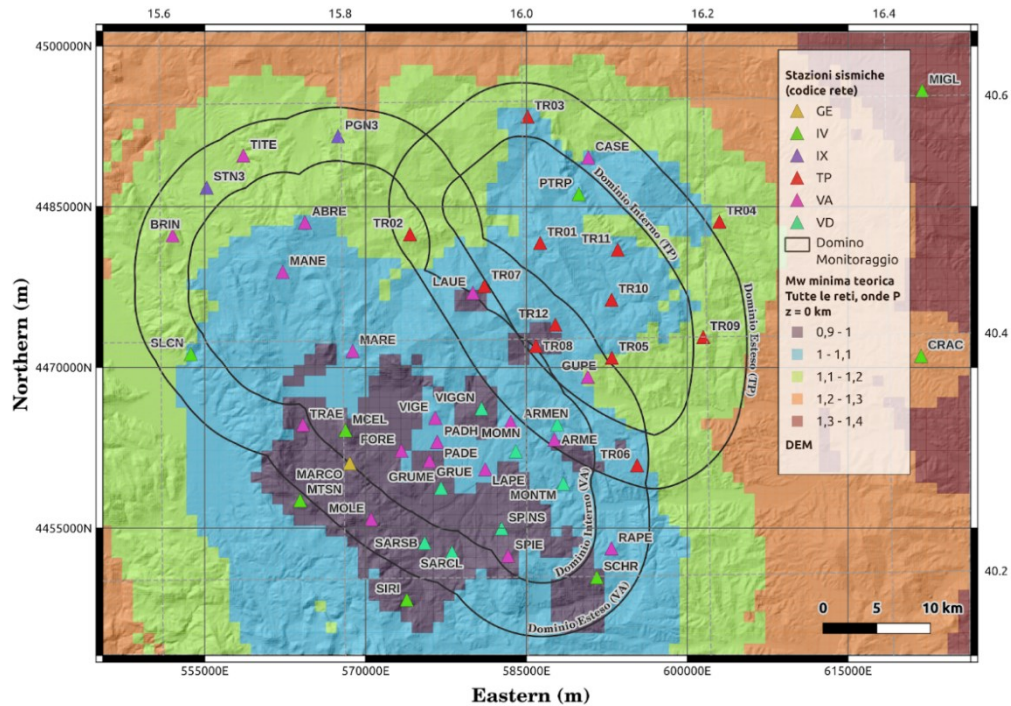


Figura A.0.31. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezone di eventi - Onde P ($z = 0$ km)

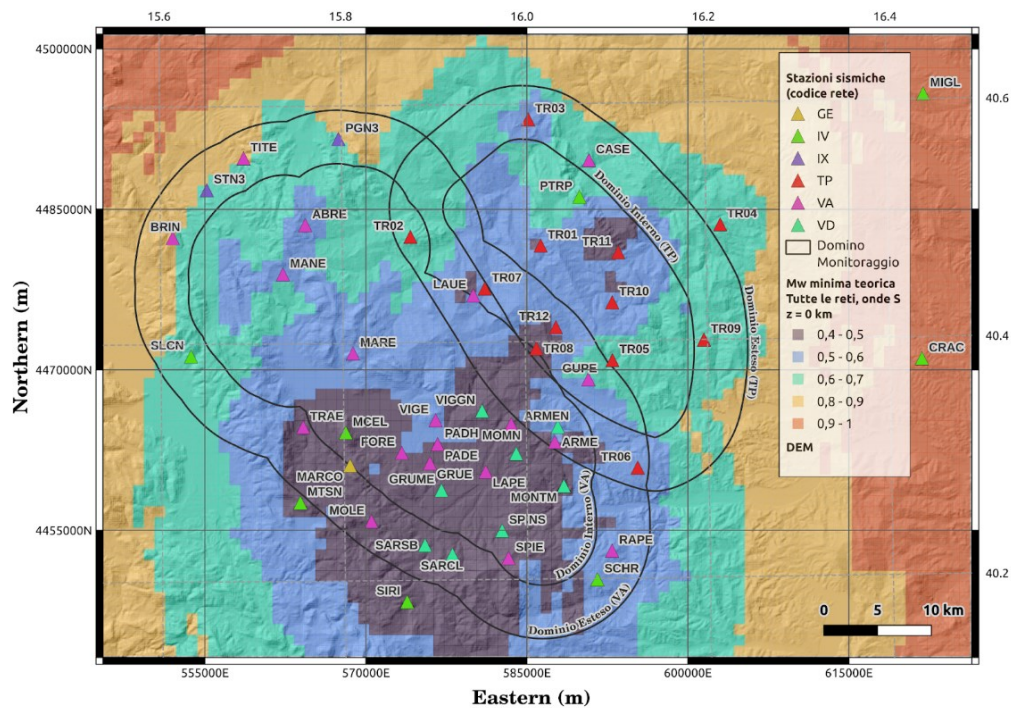


Figura A.0.32. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezone di eventi - Onde S ($z = 0$ km)

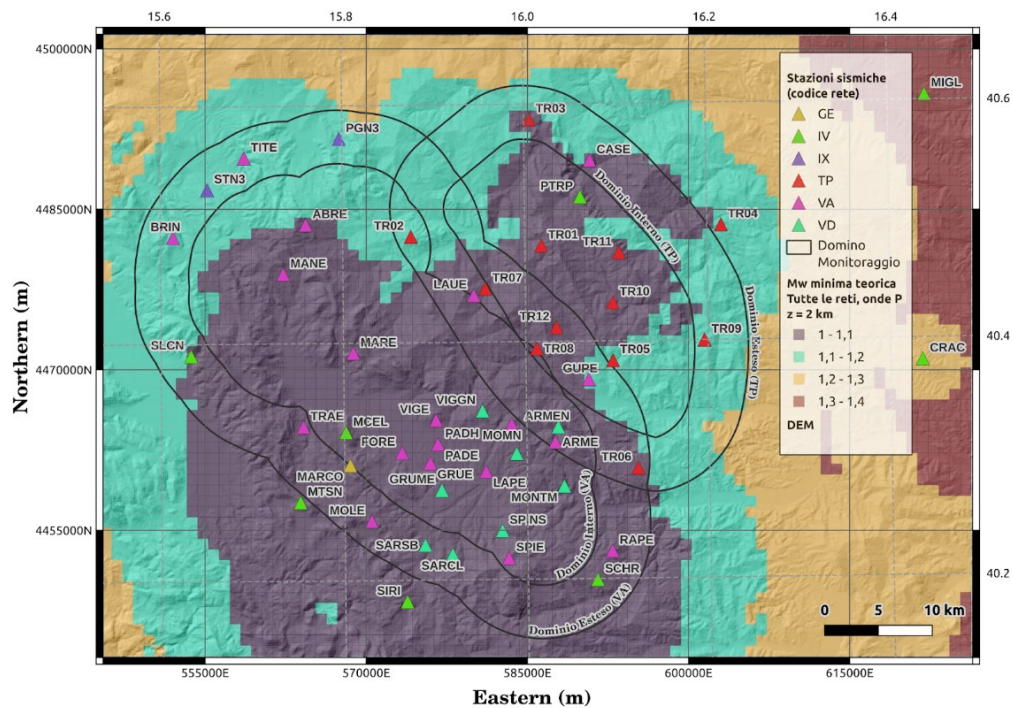


Figura A.0.34. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 2$ km)

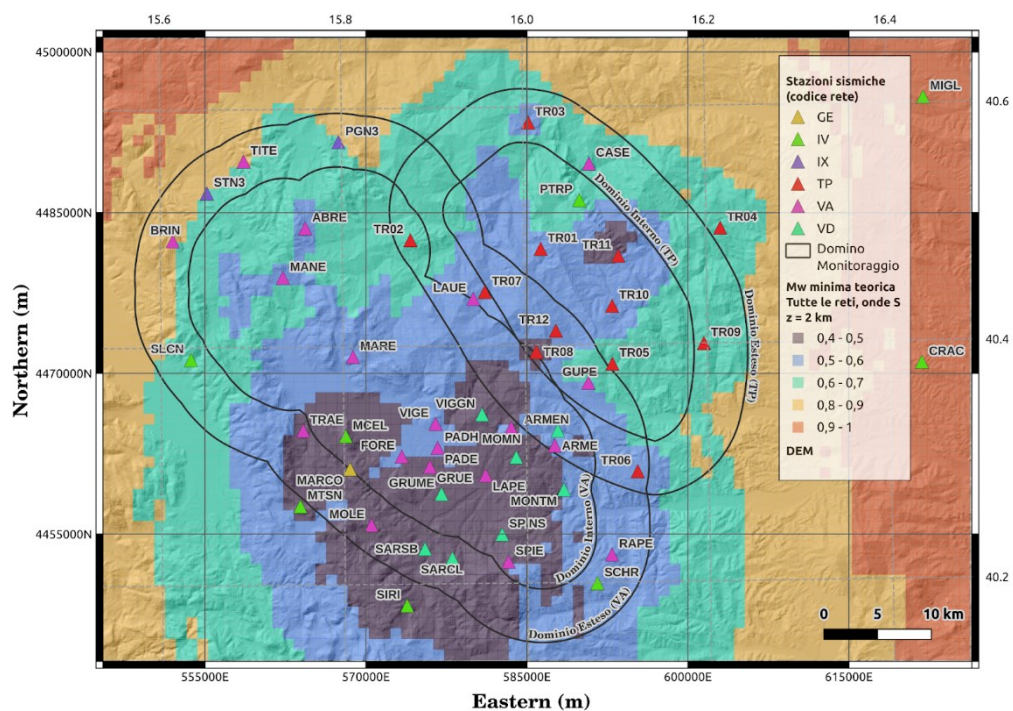


Figura A.0.33. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 2$ km)

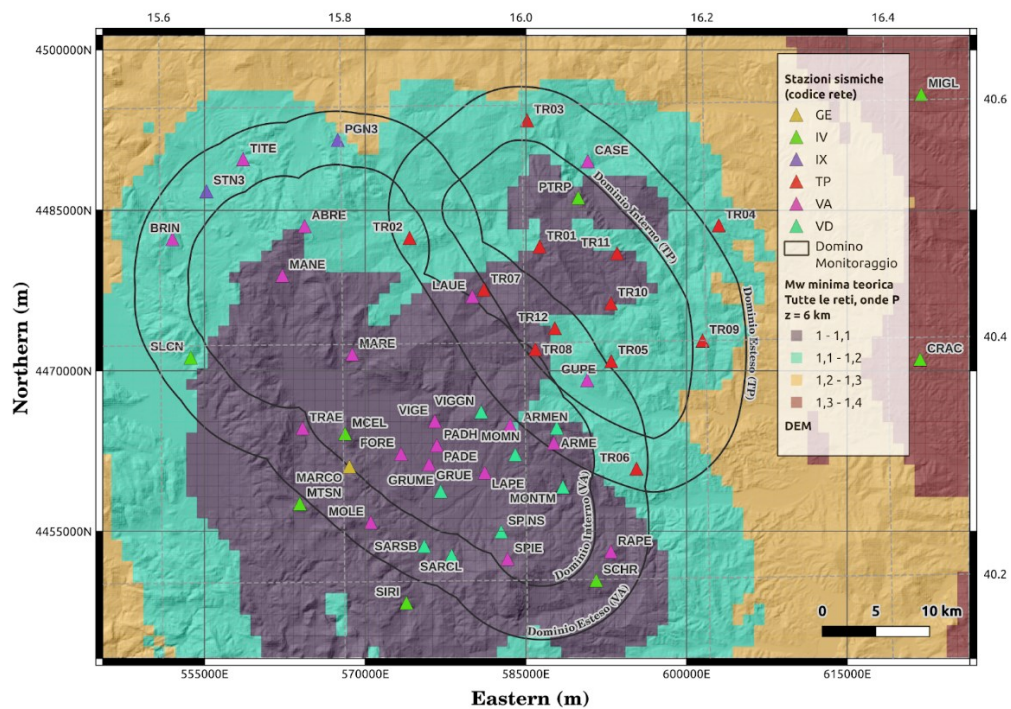


Figura A.0.36. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 6$ km)

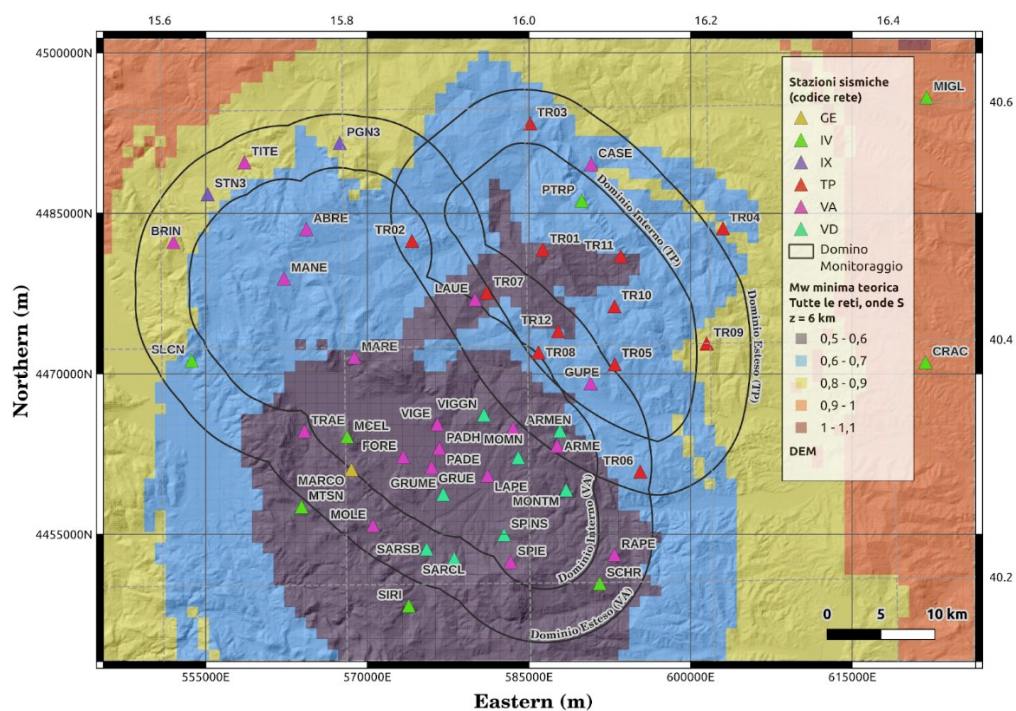


Figura A.0.35. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 6$ km)

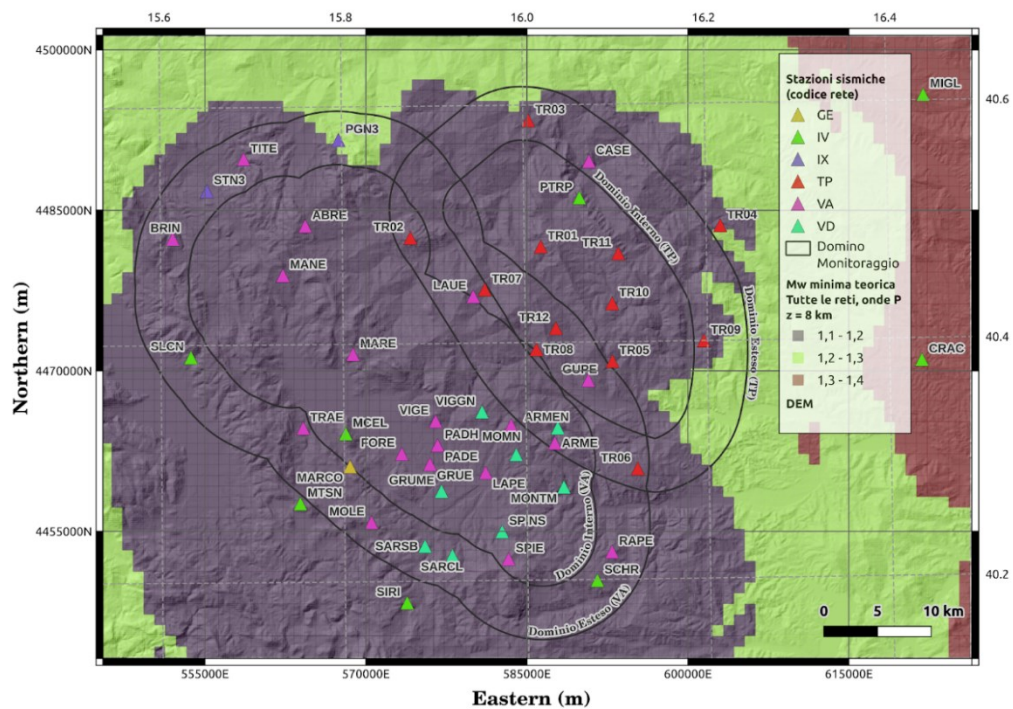


Figura A.0.38. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z = 8$ km)

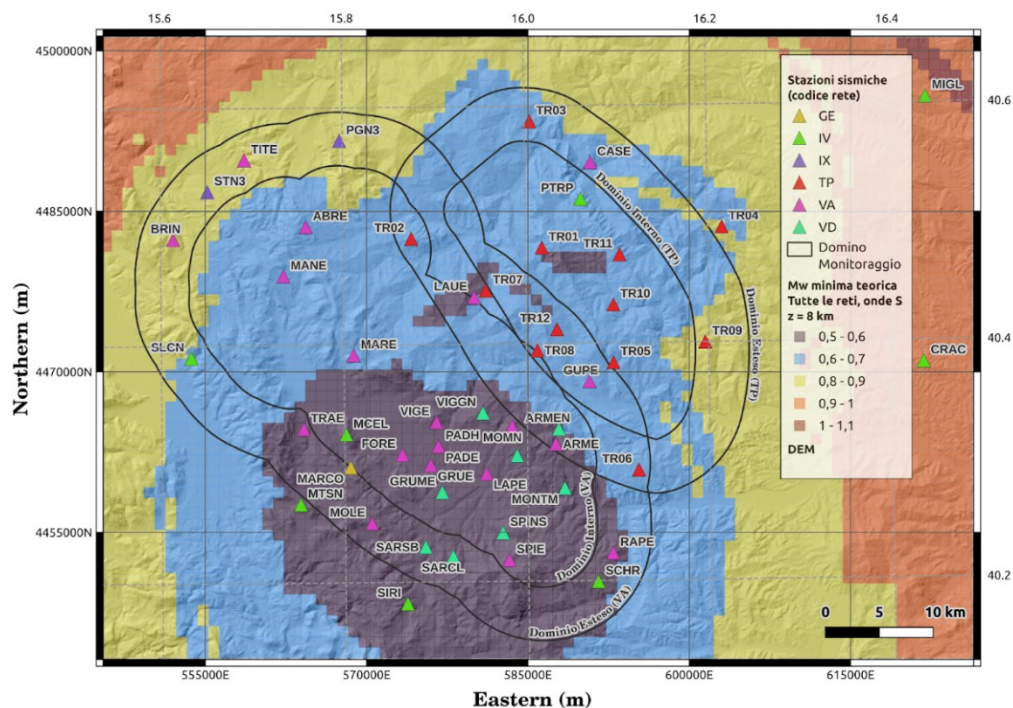


Figura A.0.37. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z = 80$ km)

Appendice B – Parametri di qualità per le stazioni delle reti GNSS ENI e TEPIT

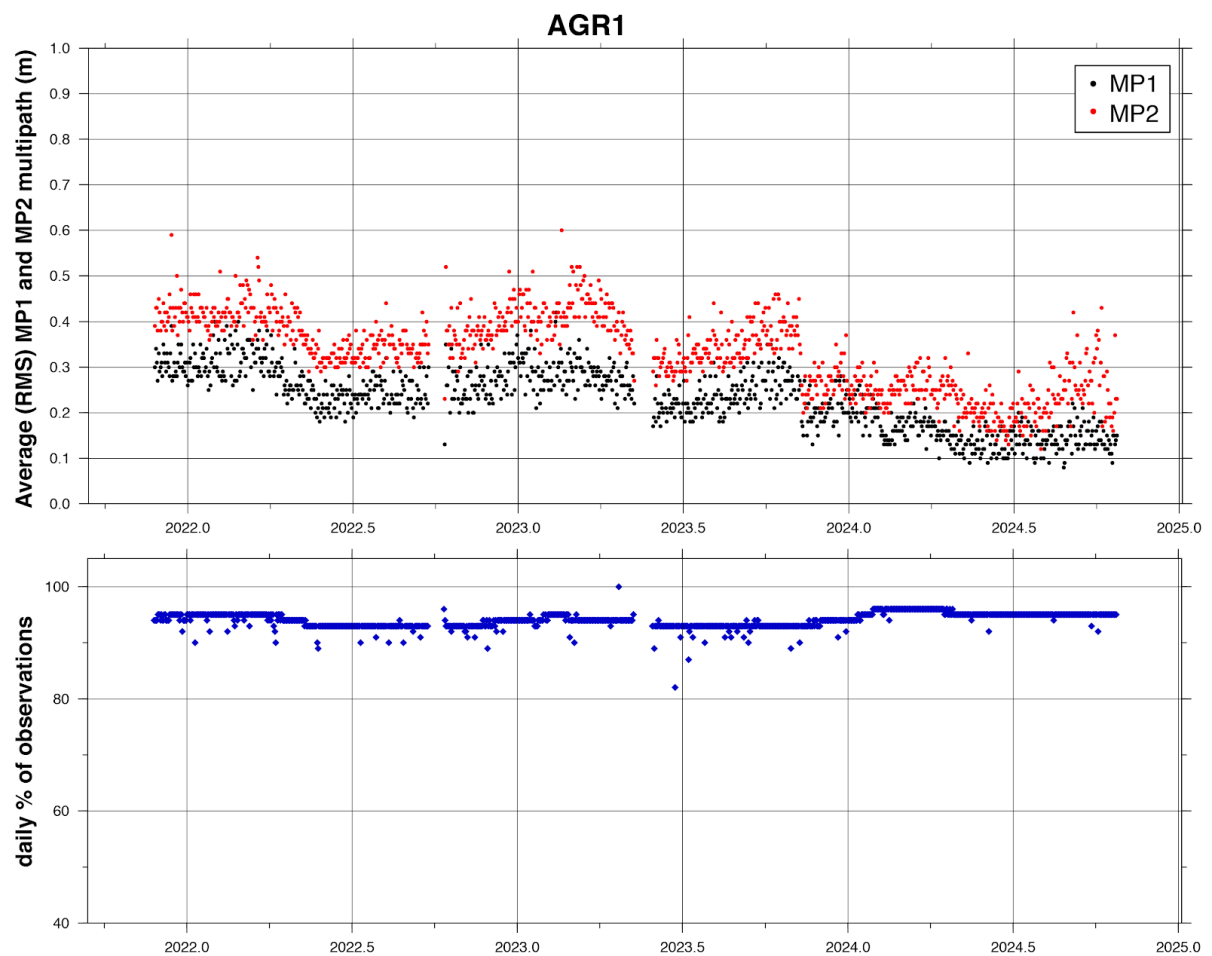


Figura B.0.1. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione AGR1 (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).

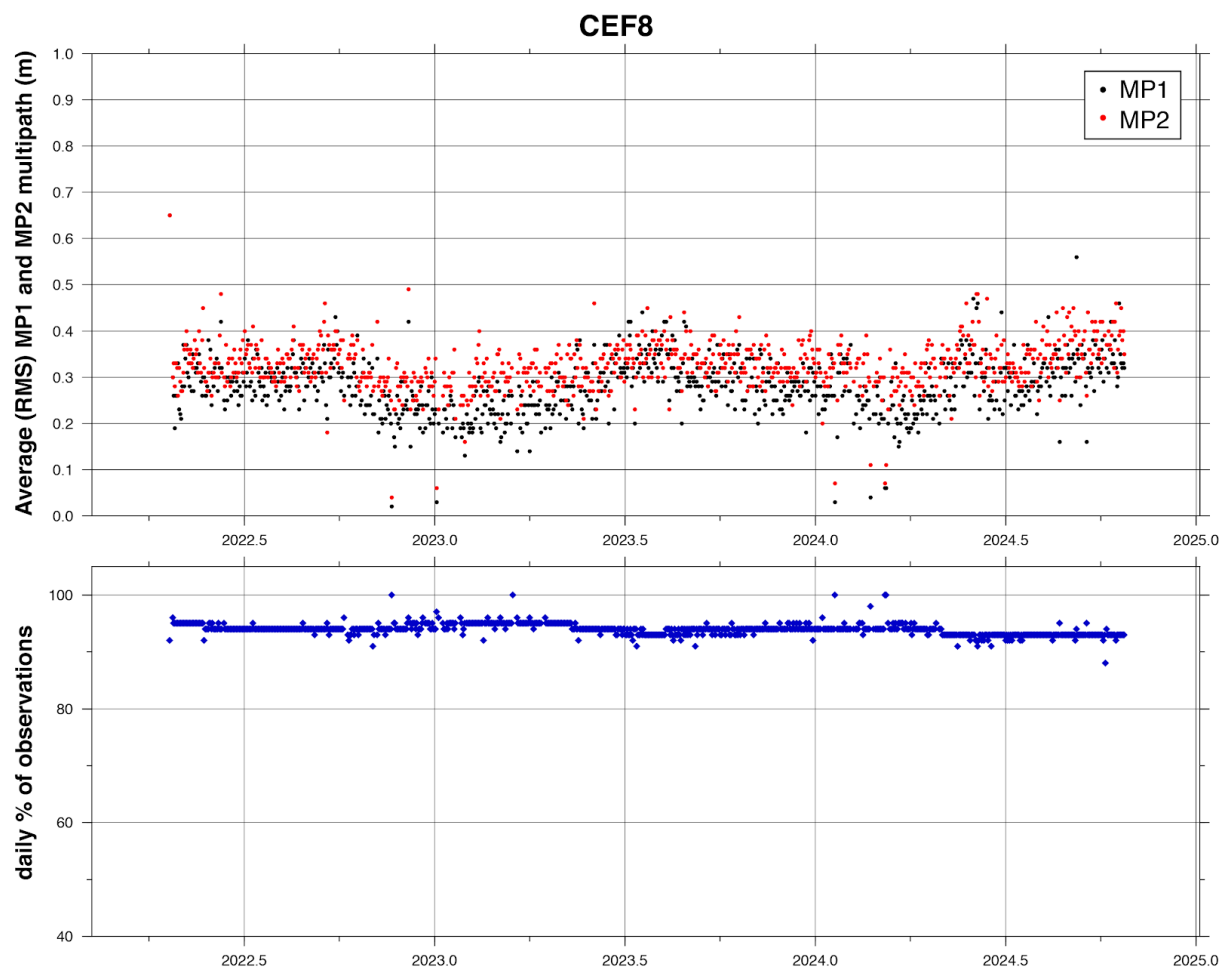


Figura B.0.2. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione CEF8 (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).

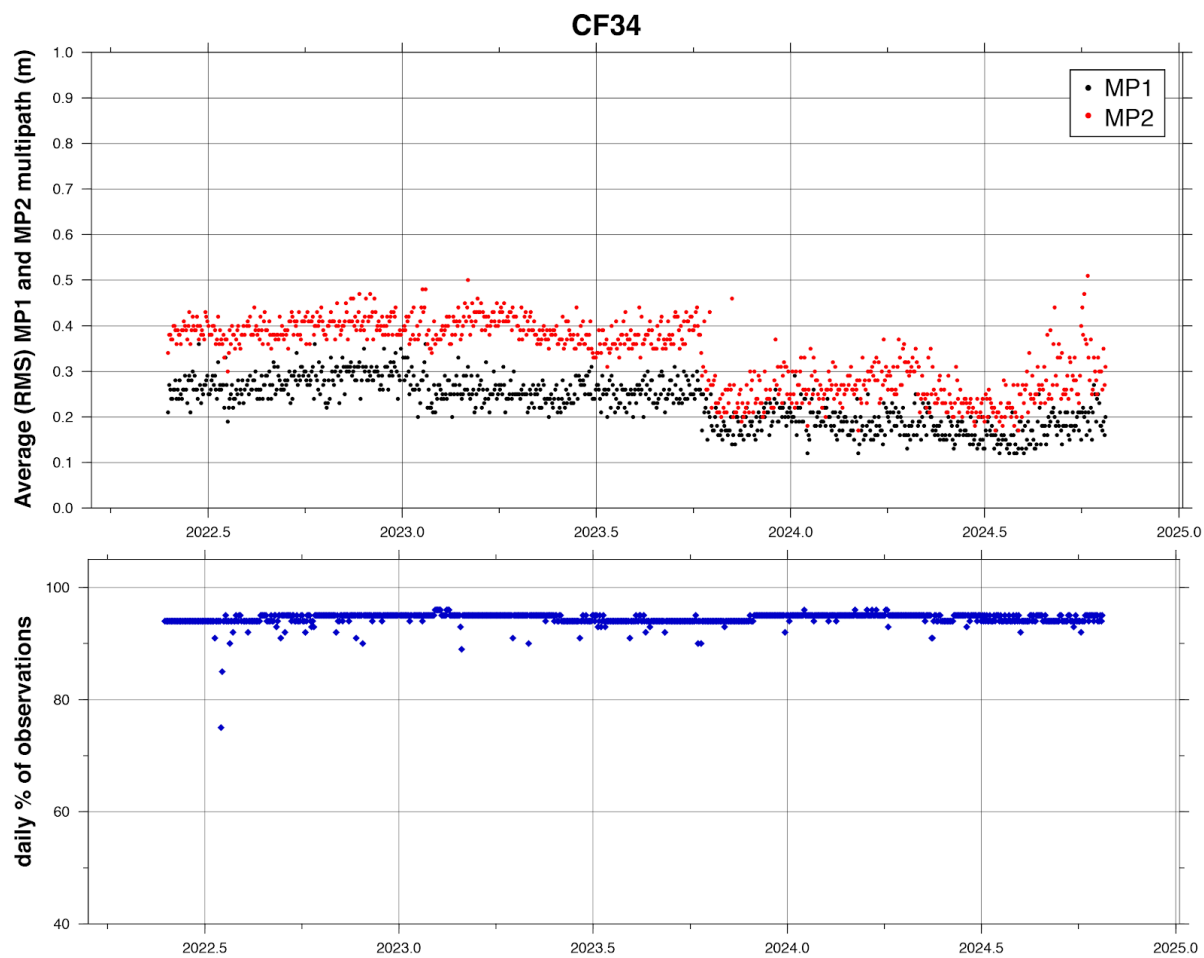


Figura B.0.3. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione CF34 (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).

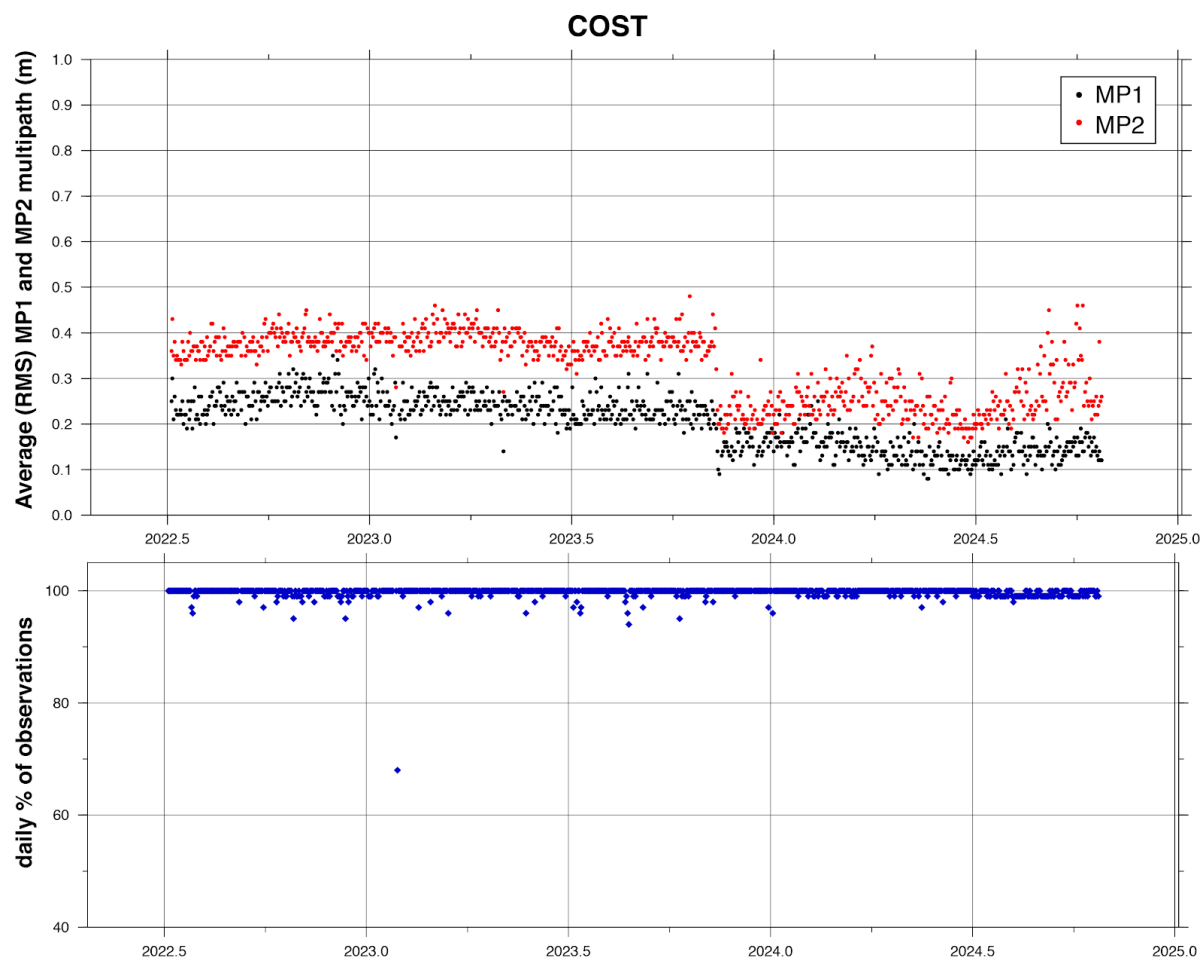


Figura B.0.4. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione COST (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).

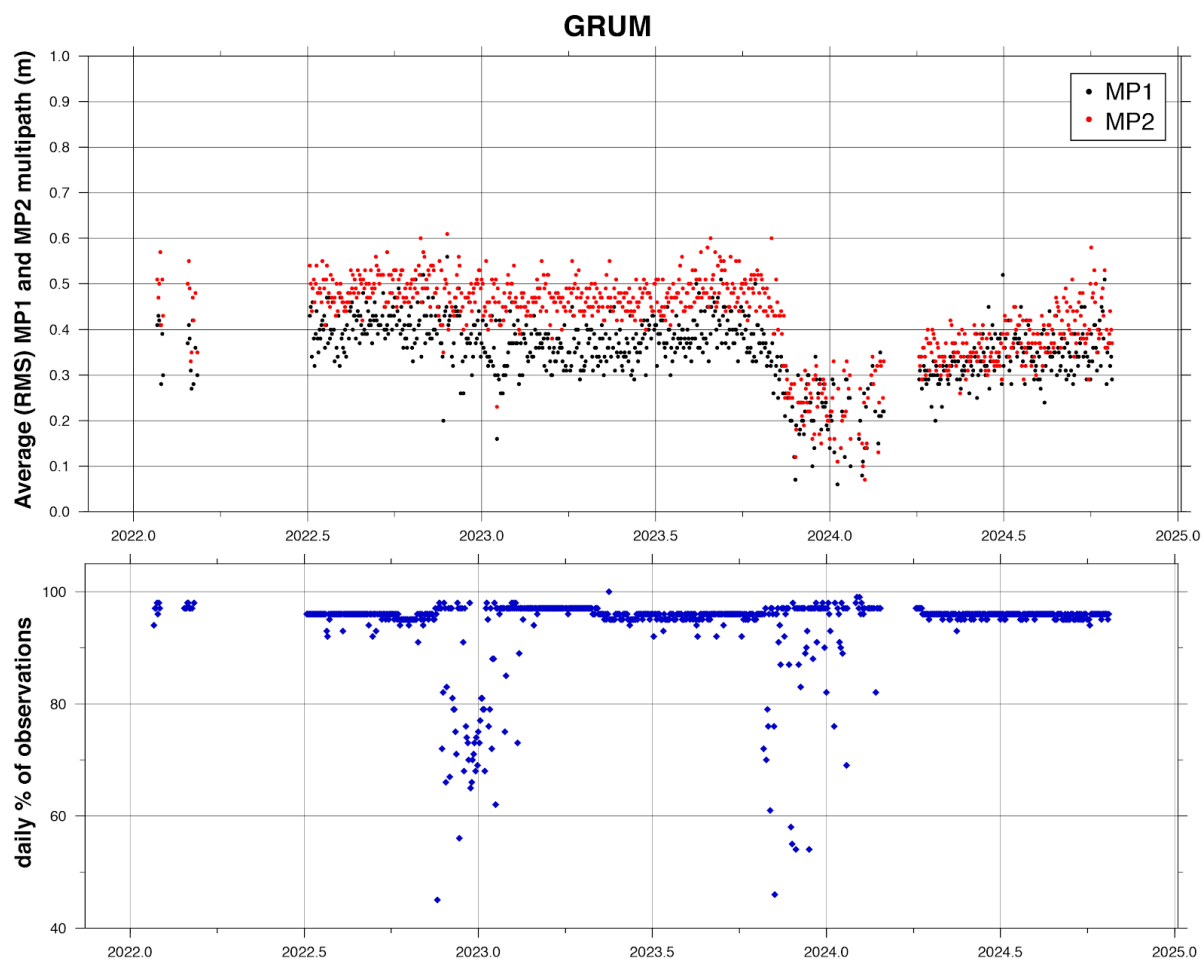


Figura B.0.5. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione GRUM (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).

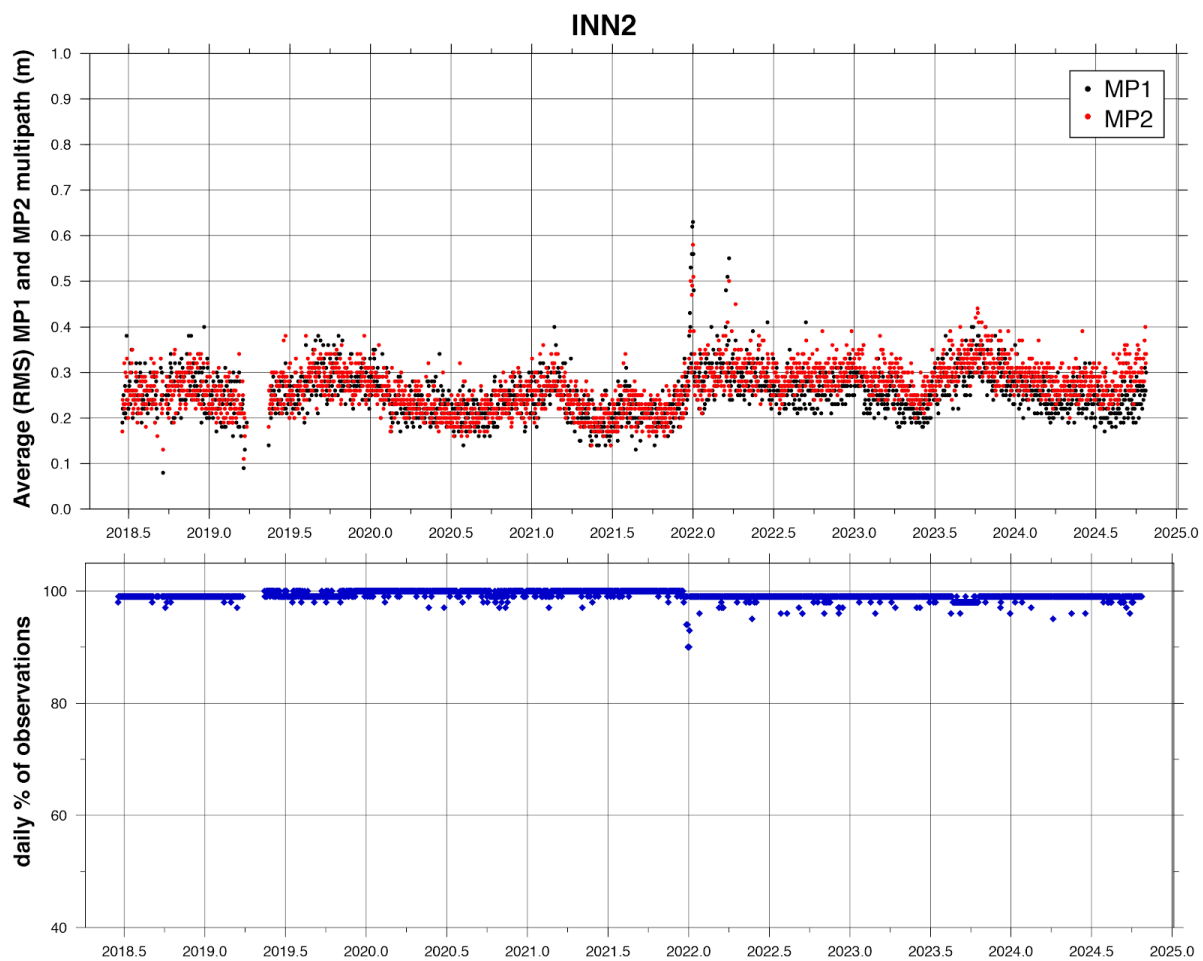


Figura B.0.6. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione INN2 (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).

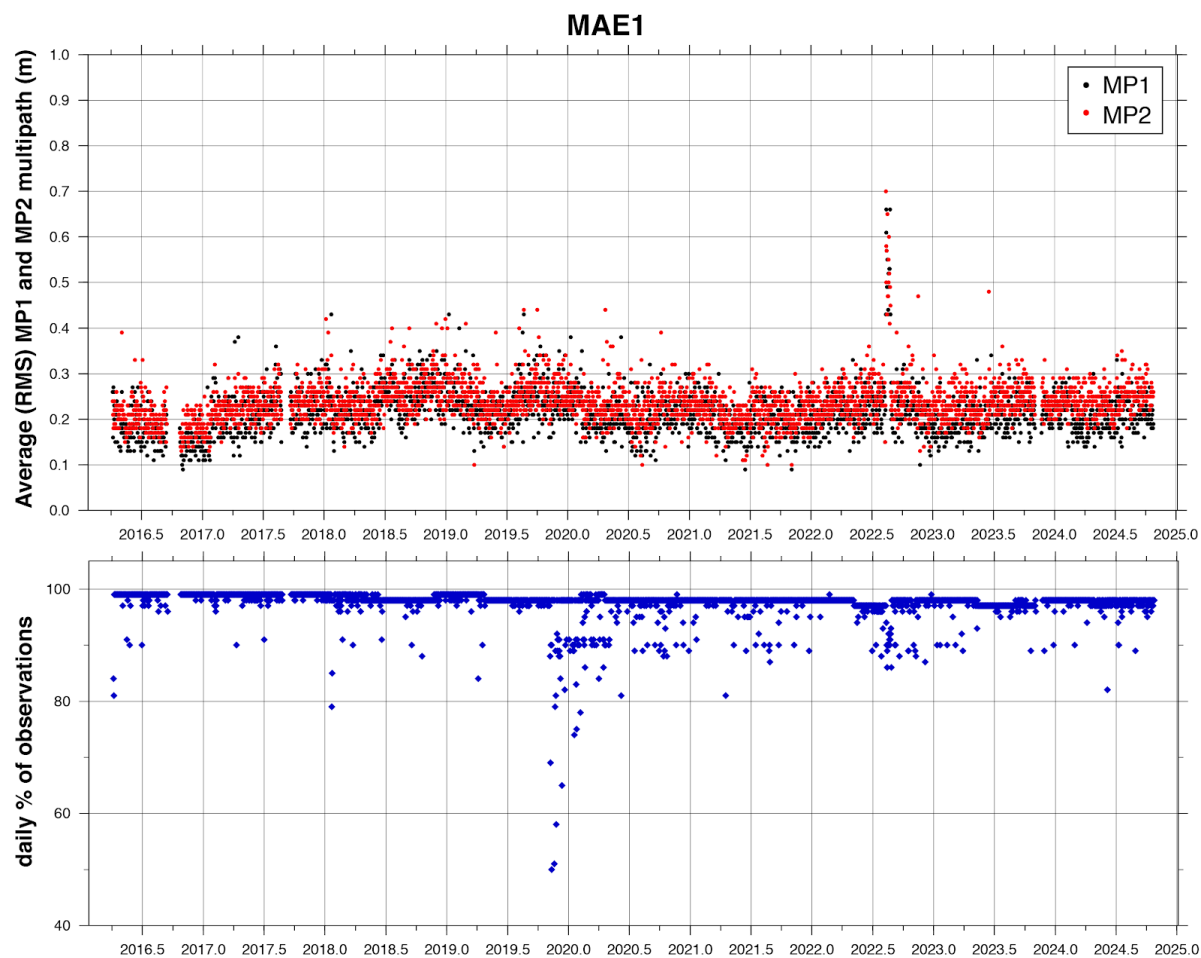


Figura B.0.7. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione MAE1 (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).

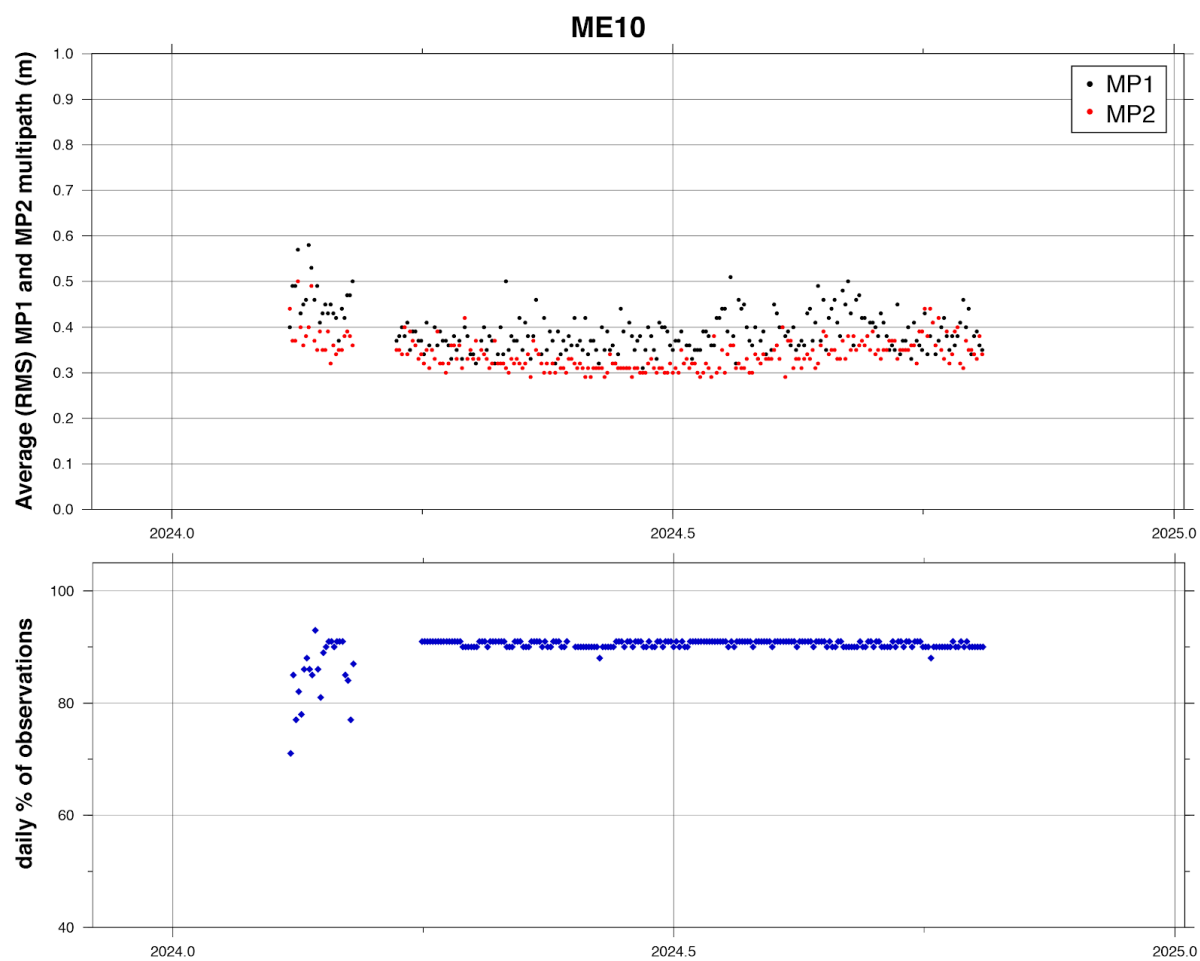


Figura B.0.8. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione ME10 (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).

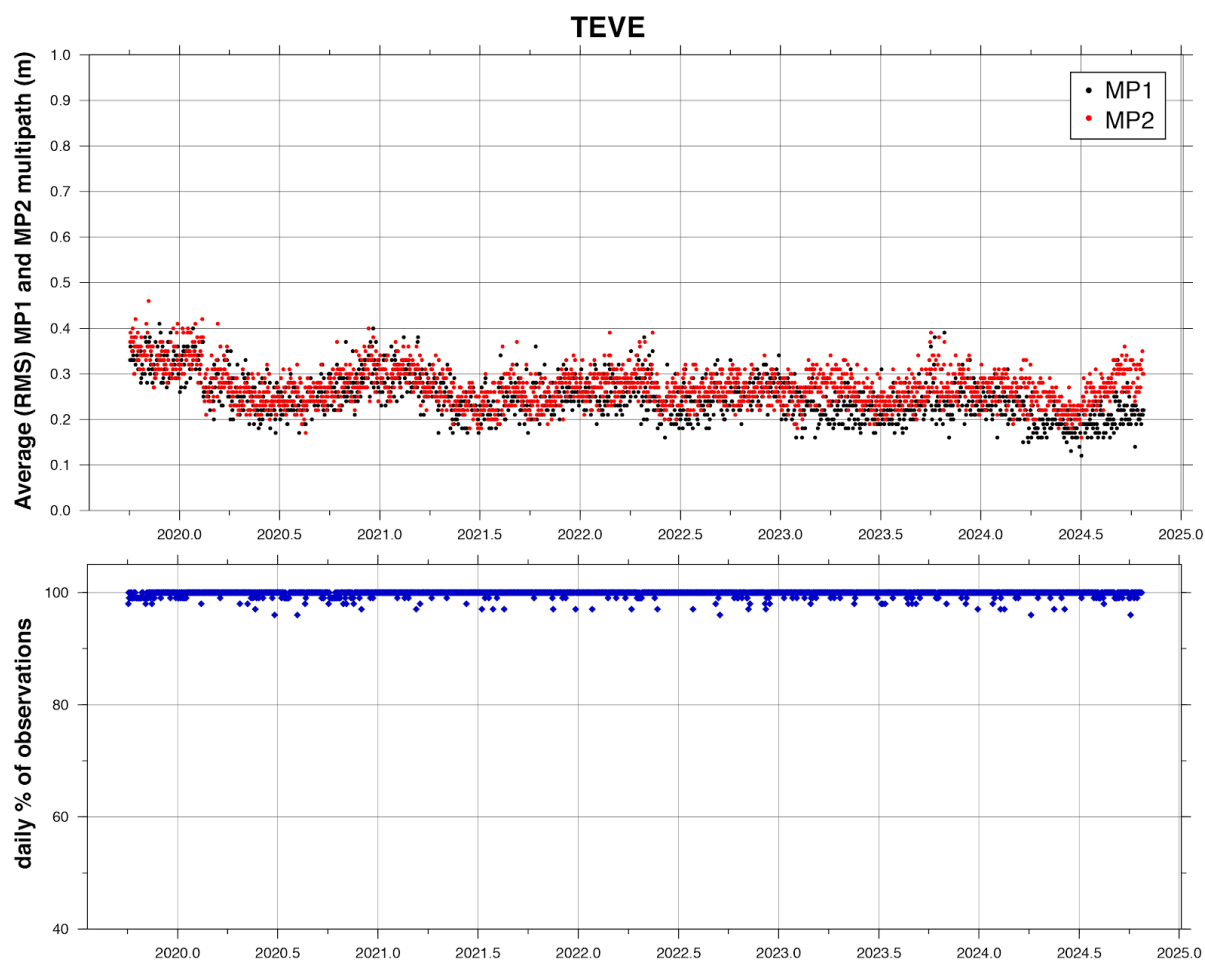


Figura B.0.9. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione TEVE (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).

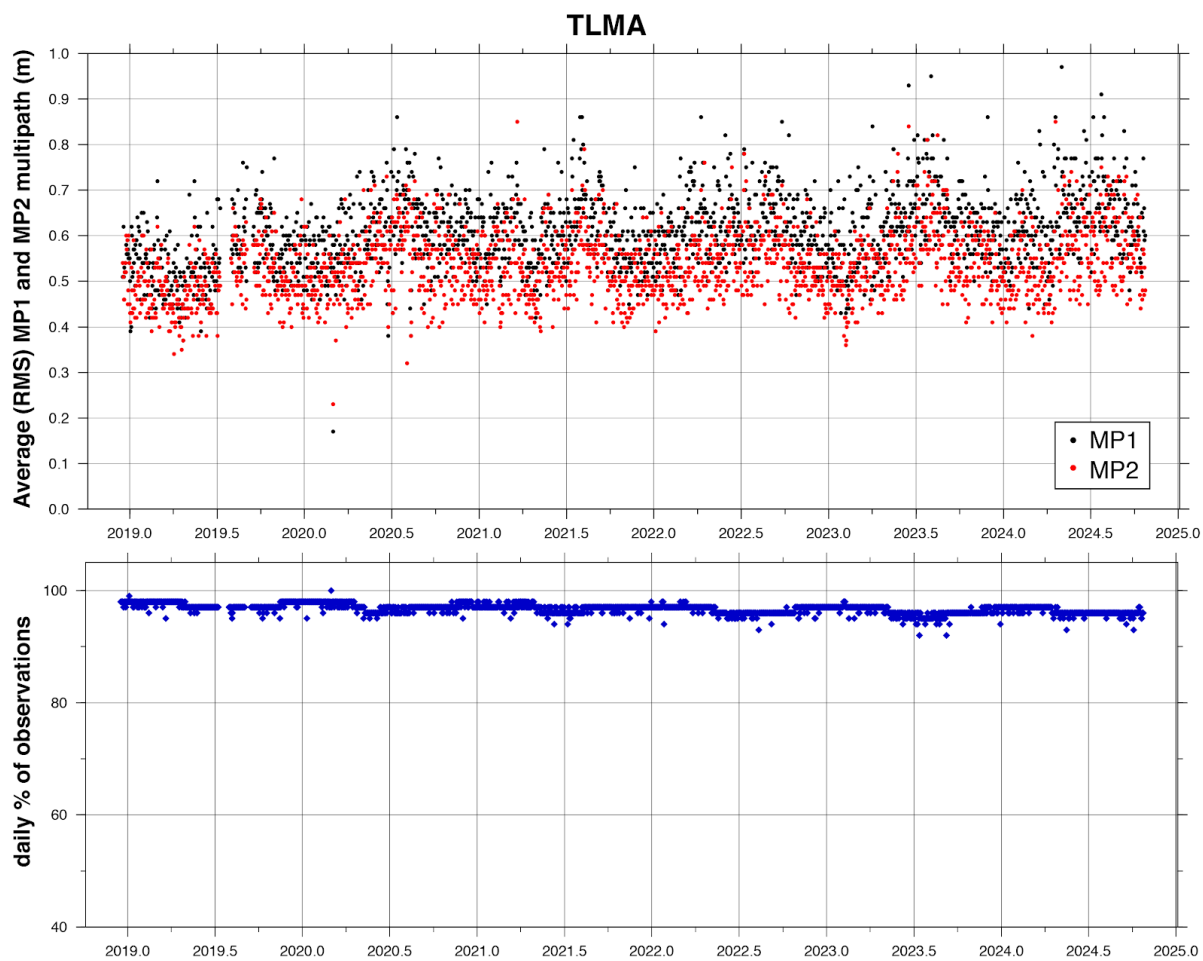


Figura B.0.10. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione TLMA (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).

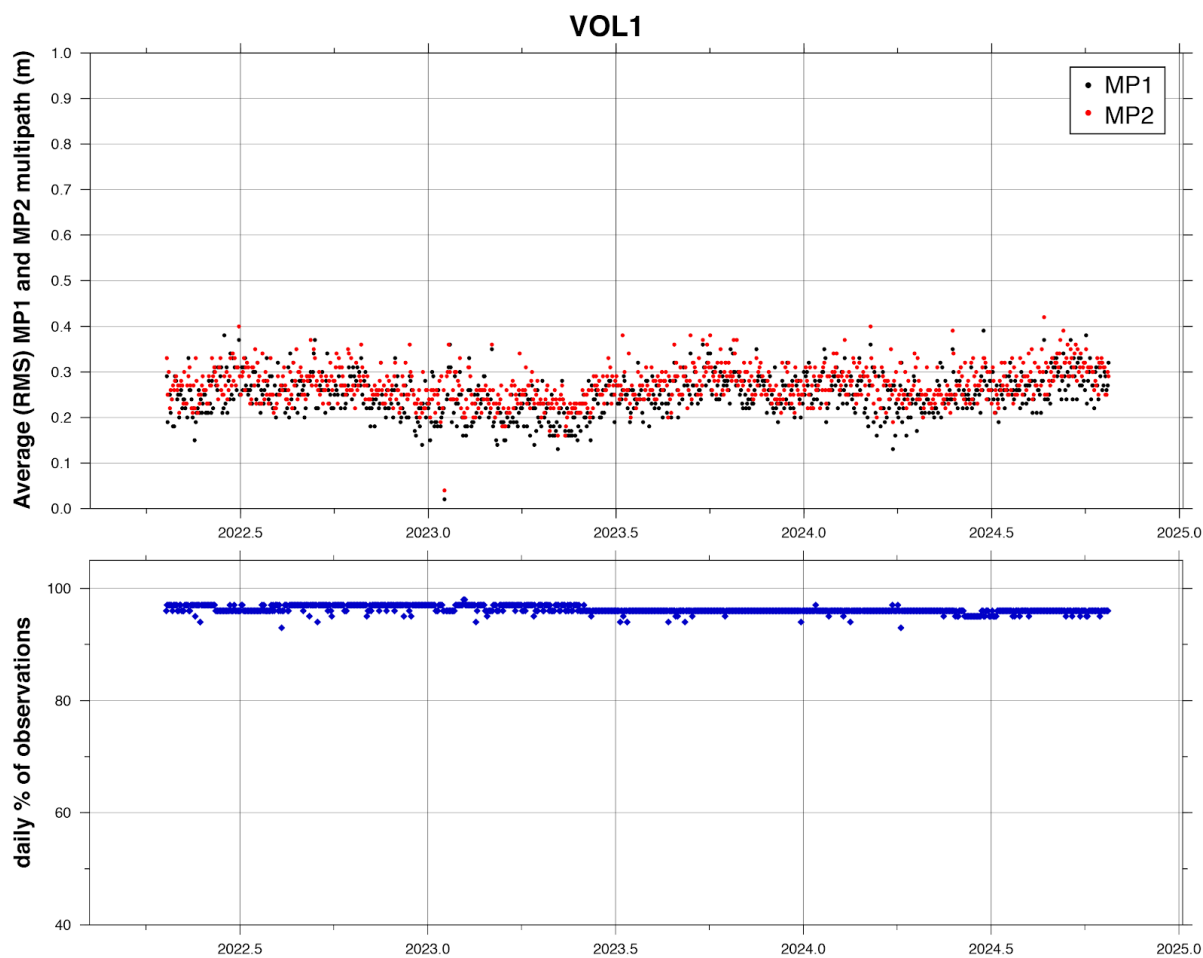


Figura B.0.11. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione VOL1 (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).

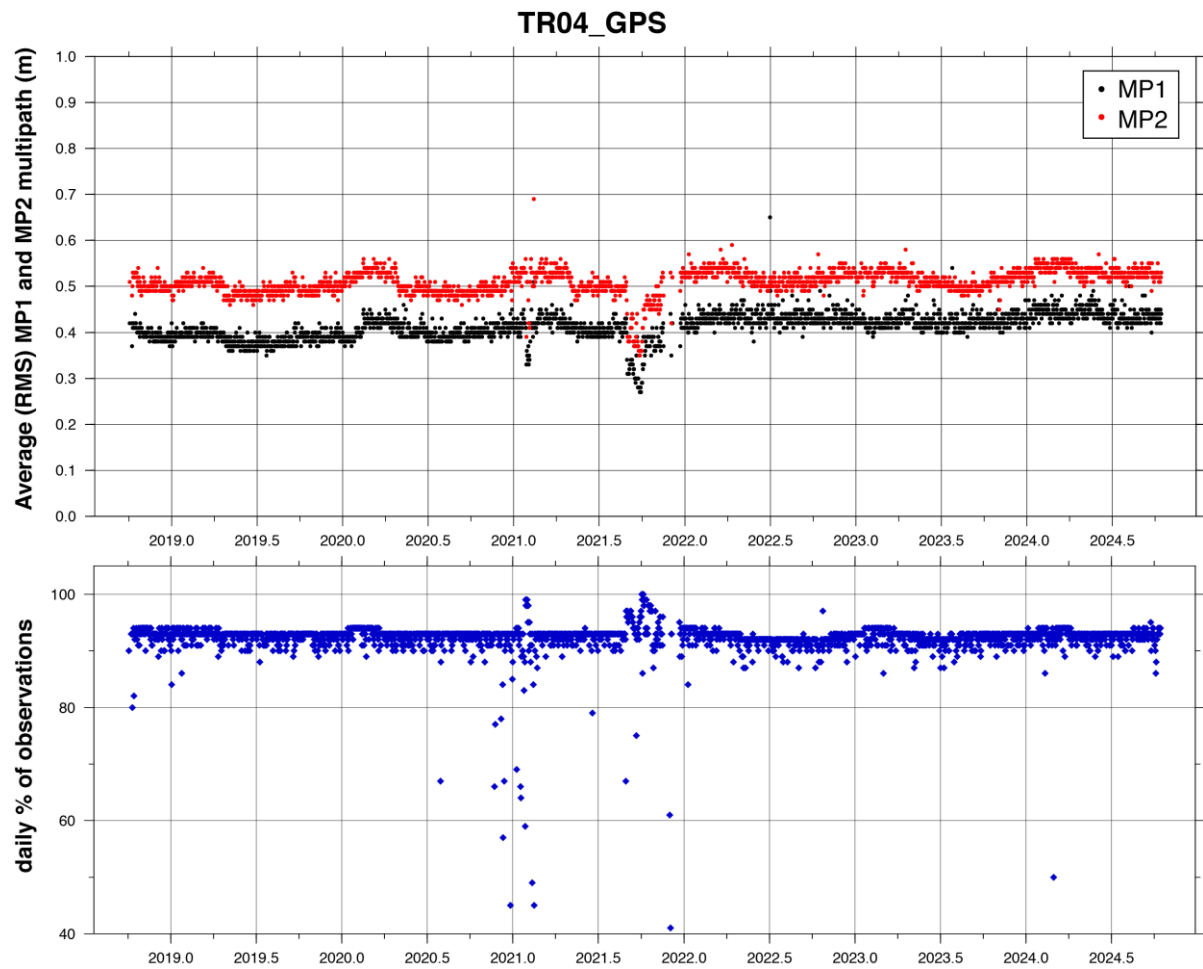


Figura B.0.12. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione TR04 (Gorgoglione) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).

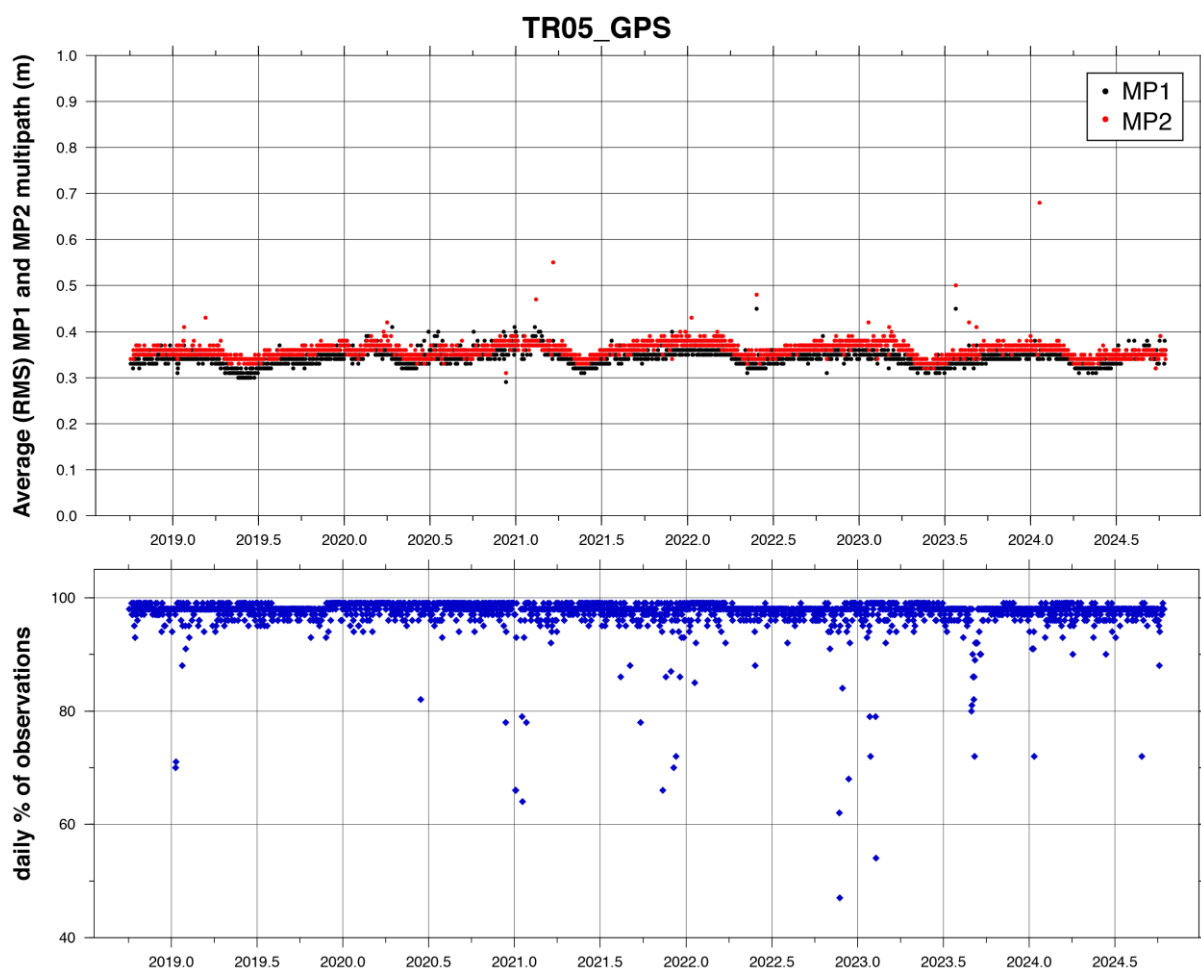


Figura B.0.13. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione TR05 (Gorgoglione) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).

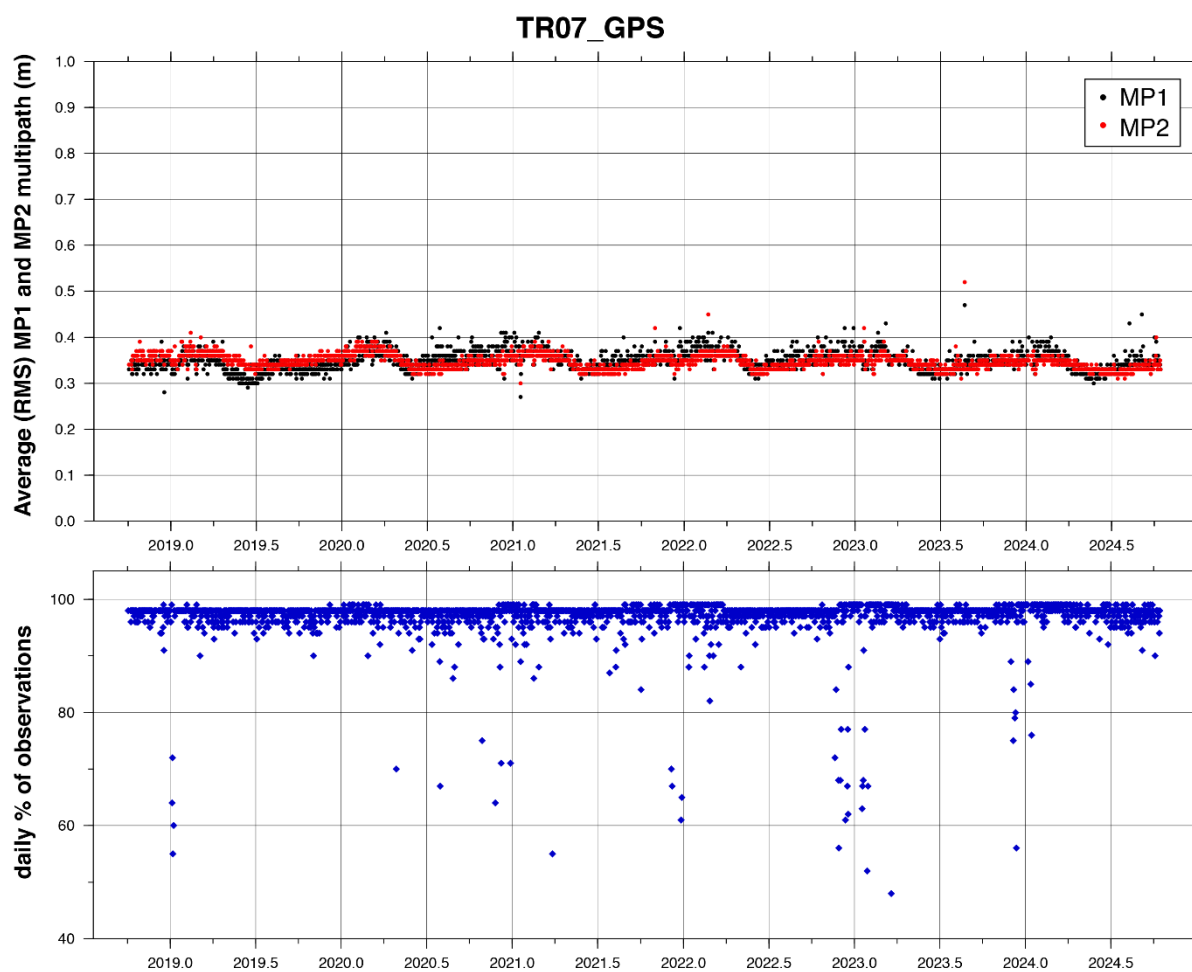


Figura B.0.14. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione TR07 (Gorgoglione) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).

Appendice C – Bollettino di monitoraggio sismico (VAL D'AGRI E GORGOGGLIONE)

C.1. File (allegati) con il bollettino della sismicità localizzata nei diversi domini di Monitoraggio

Val d'Agri

- Allegato_C_ValdAgri_Dom_DE_Zmax_13km.csv
- Allegato_C_ValdAgri_Dom_DI_Zmax_8km.csv
- Allegato_C_ValdAgri_Dom_DR_Geom_cylind_Zmax_8km.csv

Gorgoglione

- Allegato_C_Gorgoglione_Dom_DE_Zmax_15km.csv
- Allegato_C_Gorgoglione_Dom_DI_Zmax_10km.csv

C.2. Descrizione del nome delle colonne negli archivi (in formato csv*) che contengono i bollettini di monitoraggio

**nota: Il formato CSV (Comma-Separated Values, ovvero "Valori Separati da Virgola") è un formato di file di testo leggibile da qualsiasi editor di testo oppure utilizzando qualsiasi software di foglio di calcolo). Può essere aperto facilmente su qualsiasi sistema operativo.*

Nome Colonna	Descrizione
Dominio_sel	Dominio nel quale ricade l'evento (DI/DE)
year	Anno (del tempo origine)
month	Mese (del tempo origine)
day	Giorno (del tempo origine)
hour	Ora (del tempo origine)

minute	Minuto (del tempo origine)
second	Secondo (del tempo origine)
Latitudine	Coordinate dell'evento (Latitudine)
Longitudine	Coordinate dell'evento (Longitudine)
Horiz_error	Errore orizzontale della soluzione (km)
M _{Lbj}	magnitudo locale (Bakun & Joyner, 1984)
Depth_km	Profondità dell'evento (km)
Depth_err	Errore della soluzione in profondità (km)
rms	(Root Mean Square) Radice Quadrata della Media dei Quadrati dei residui di tempo alle diverse stazioni
PGA_station	Nome della stazione nella quale è stata misurata la PGA (<i>peak ground acceleration</i>)
PGA_value	Valore della PGA
PGA_channel	Componente nella quale è stata misurata la PGA
PGV_station	Nome della stazione nella quale è stata misurata la PGV (<i>peak ground velocity</i>)
PGV_value	Valore della PGA (<i>peak ground acceleration</i>)
PGV_channel	Componente nella quale è stata misurata la PGA

Appendice D – Serie temporali di spostamento per le stazioni delle reti GNSS ENI e TEPIT rispetto il sistema di riferimento EURASIA fisso

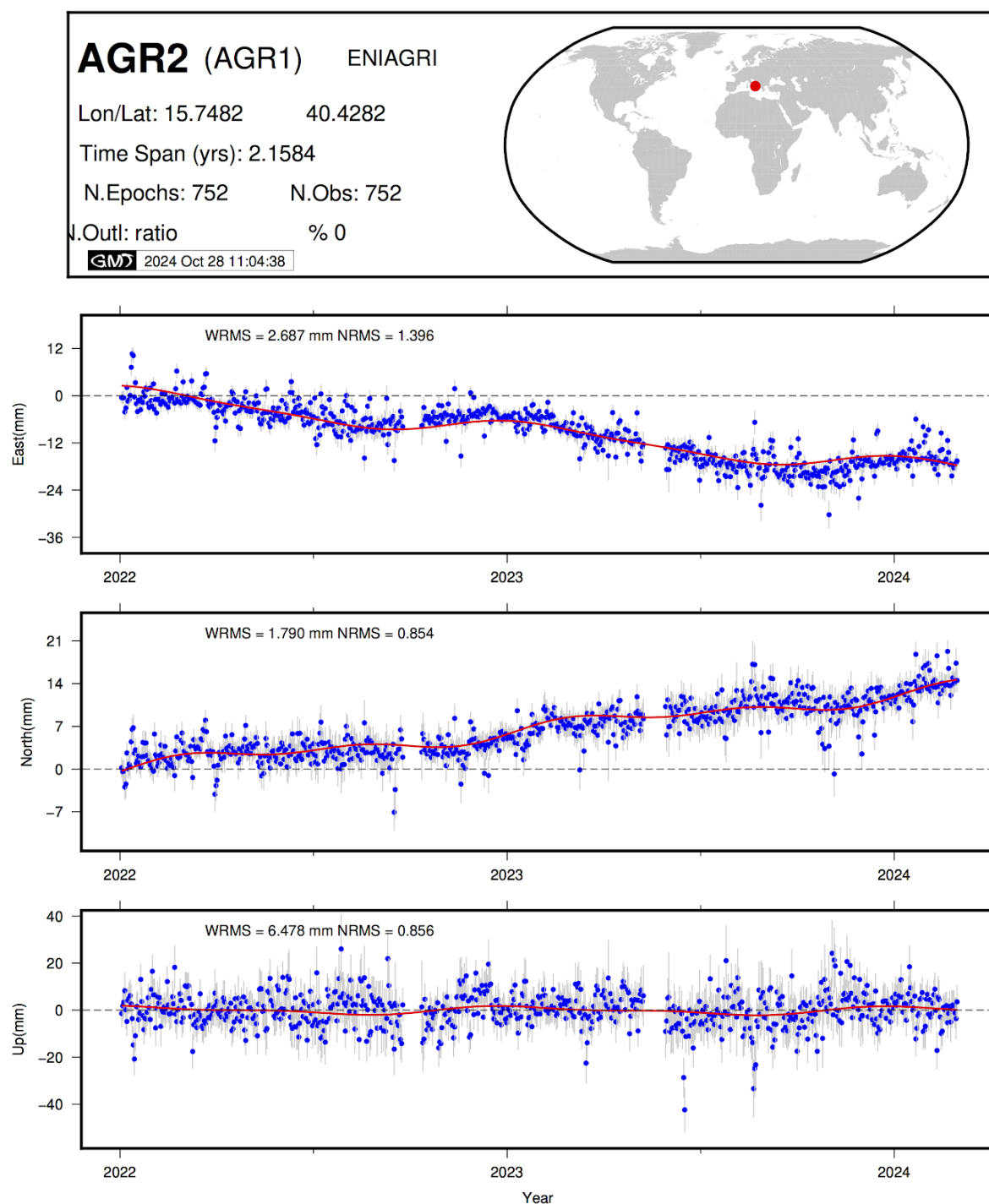


Figura D.0.1. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione AGR1 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in Igb14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1 σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.

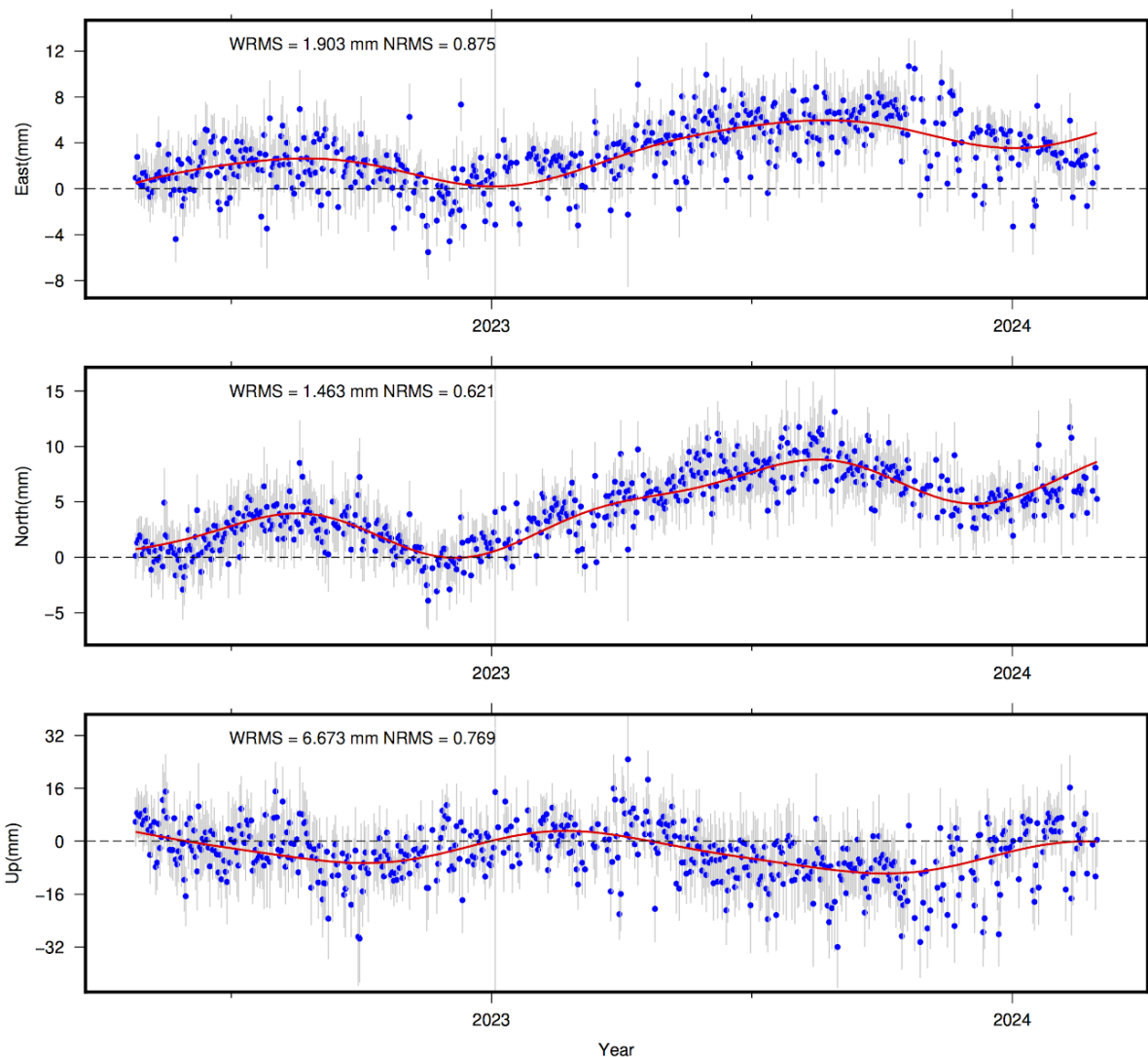
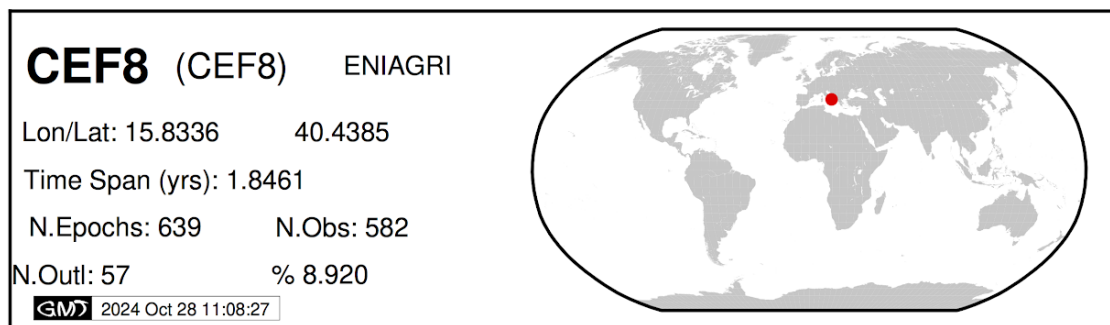


Figura D.0.2. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione CEF8 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGb14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.

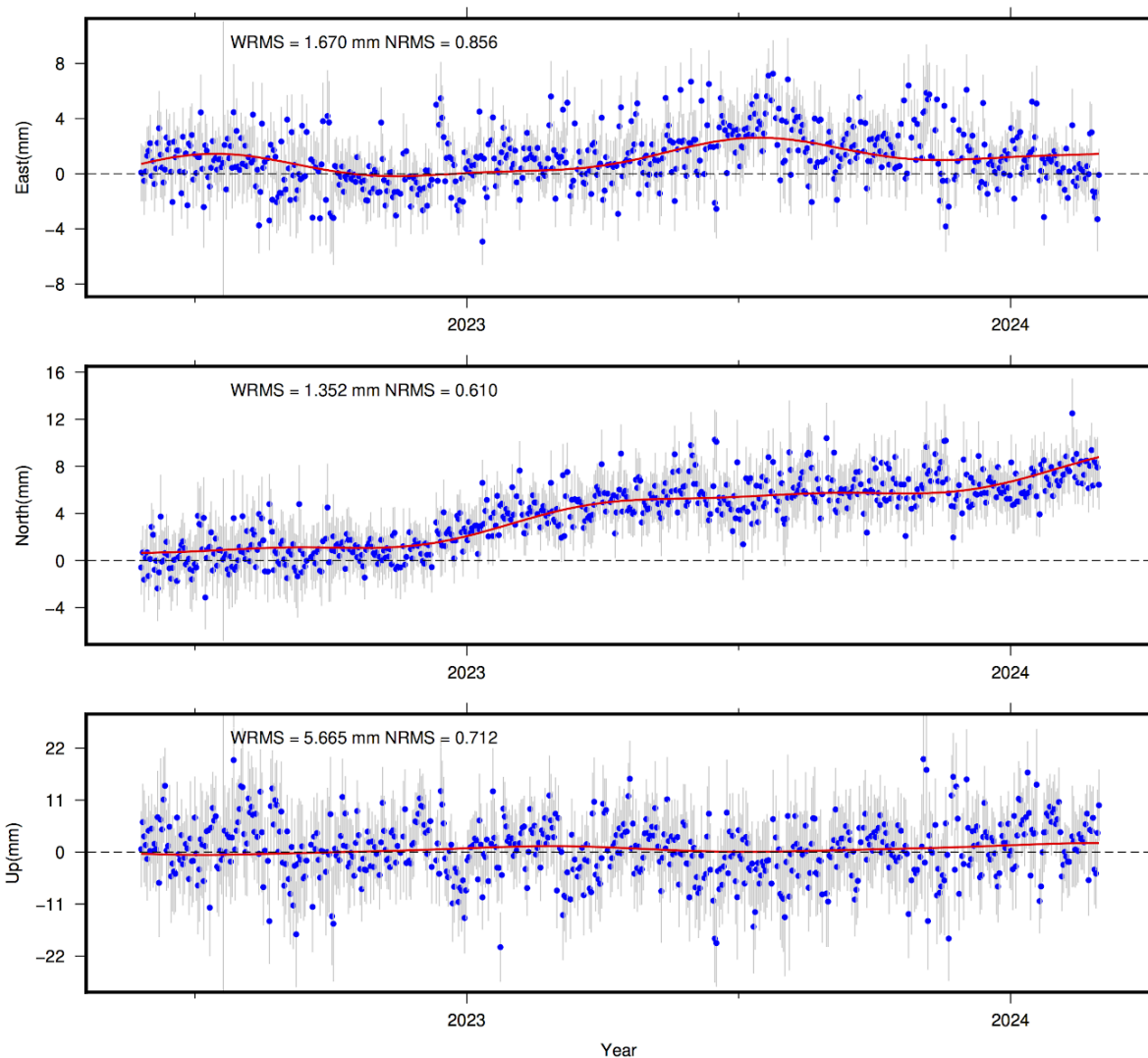
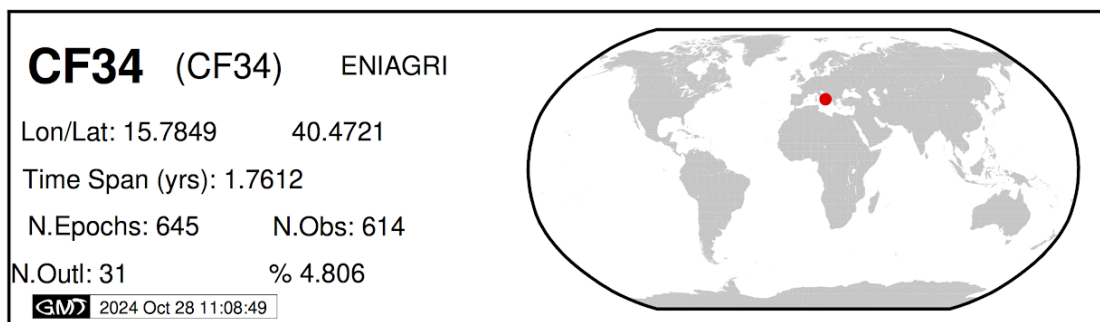


Figura D.0.3. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione CF34 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in Igb14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.

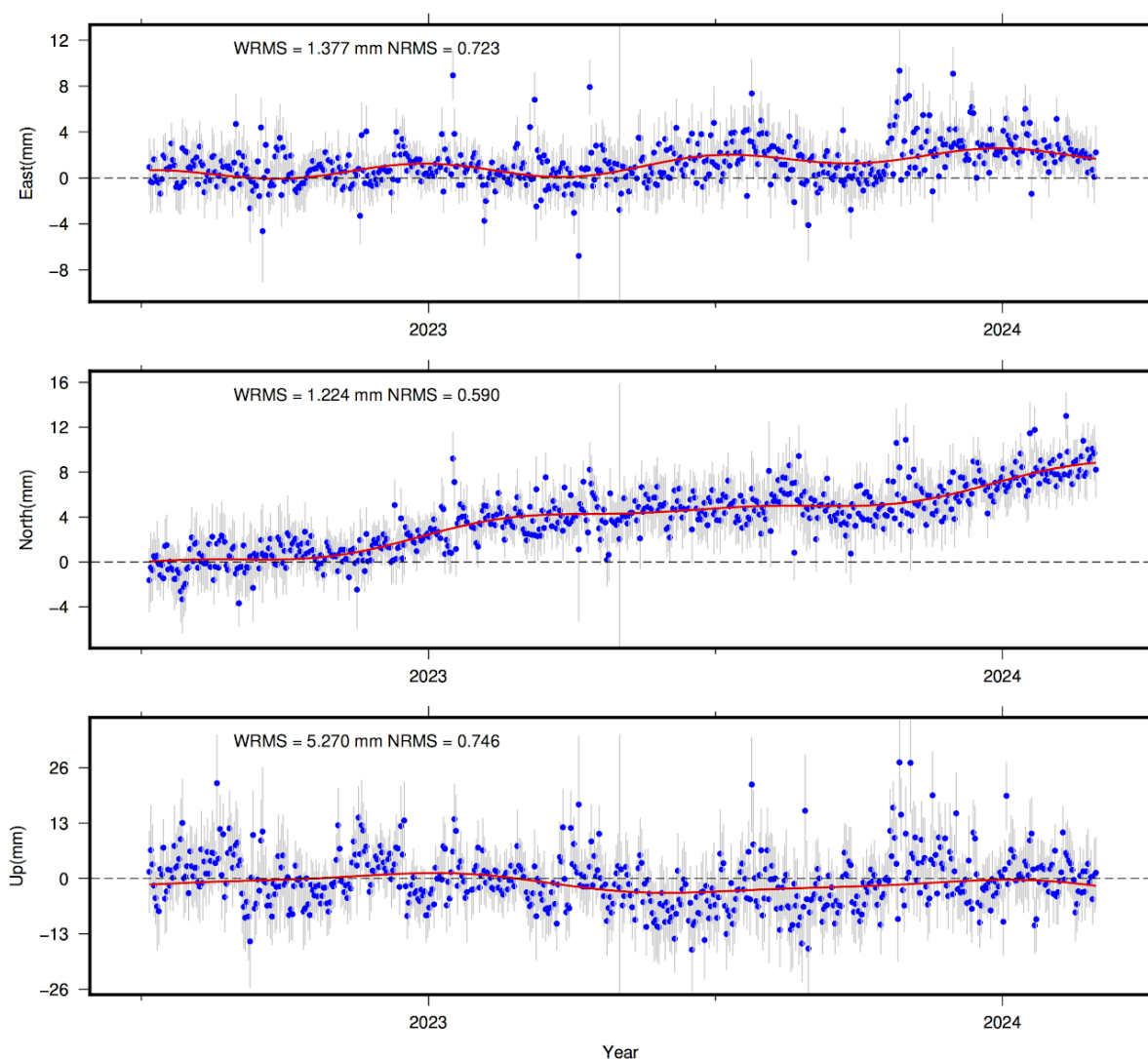
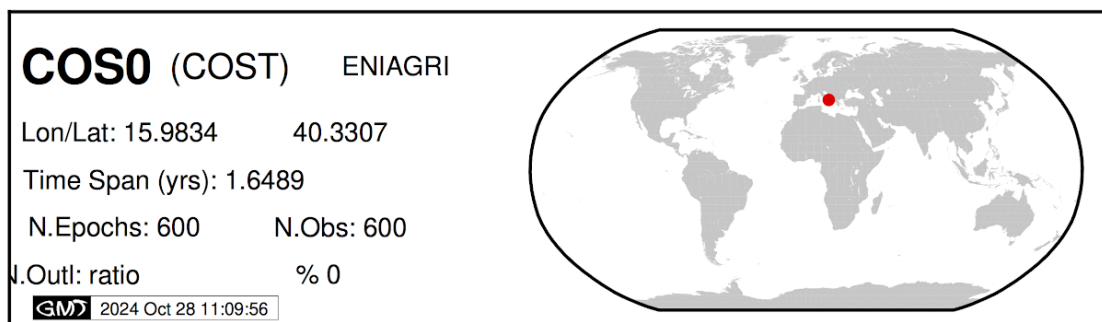


Figura D.0.4. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione COST nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.

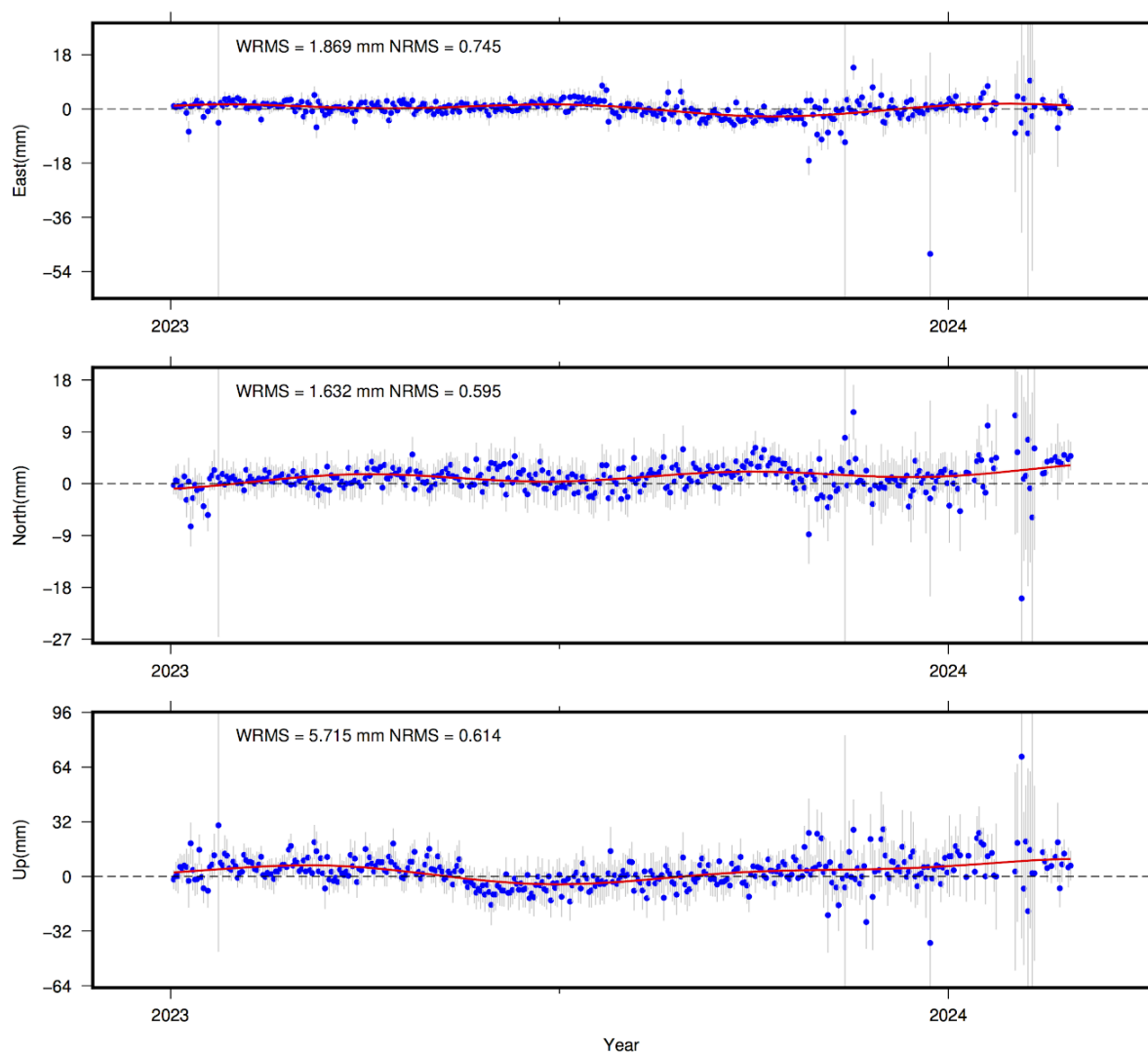
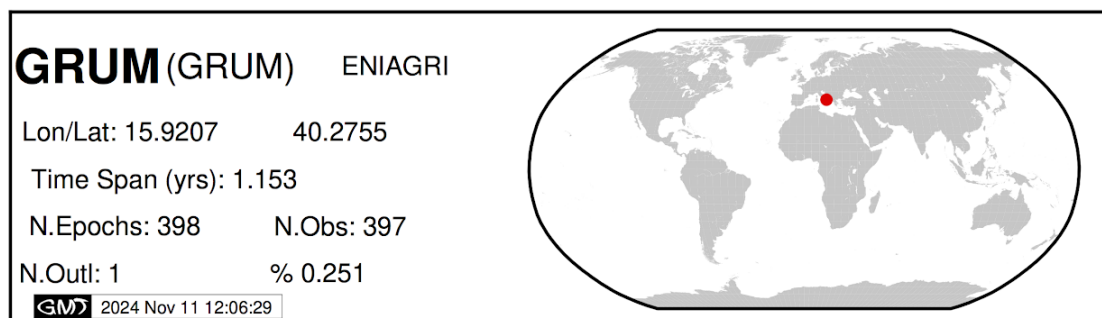


Figura D.0.5. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione GRUM nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in Igb14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.

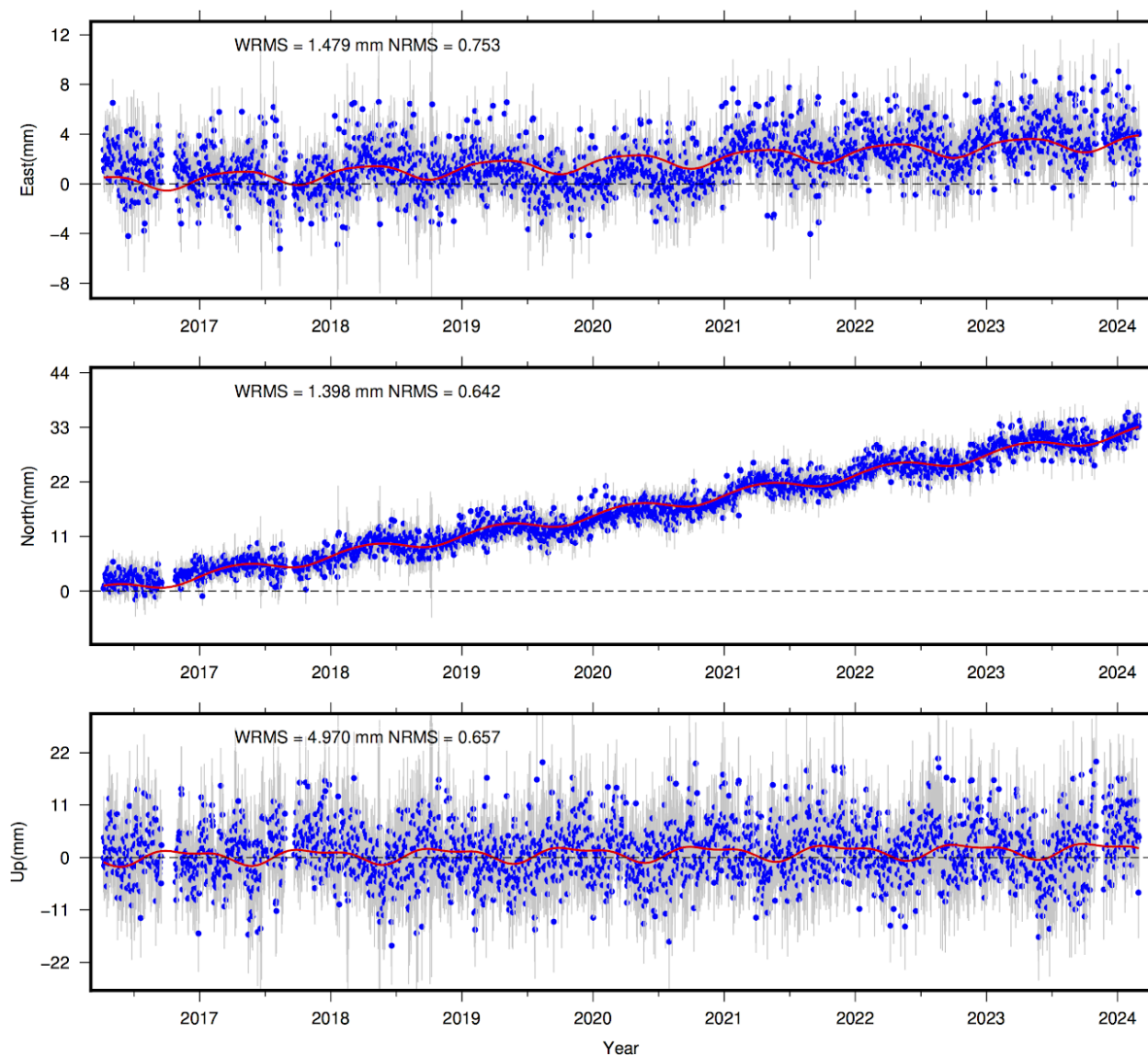
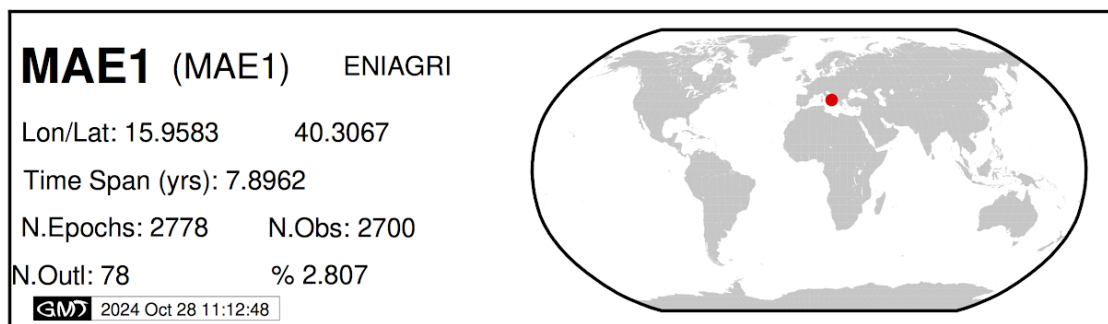


Figura D.0.6. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione MAE1 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGb14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.

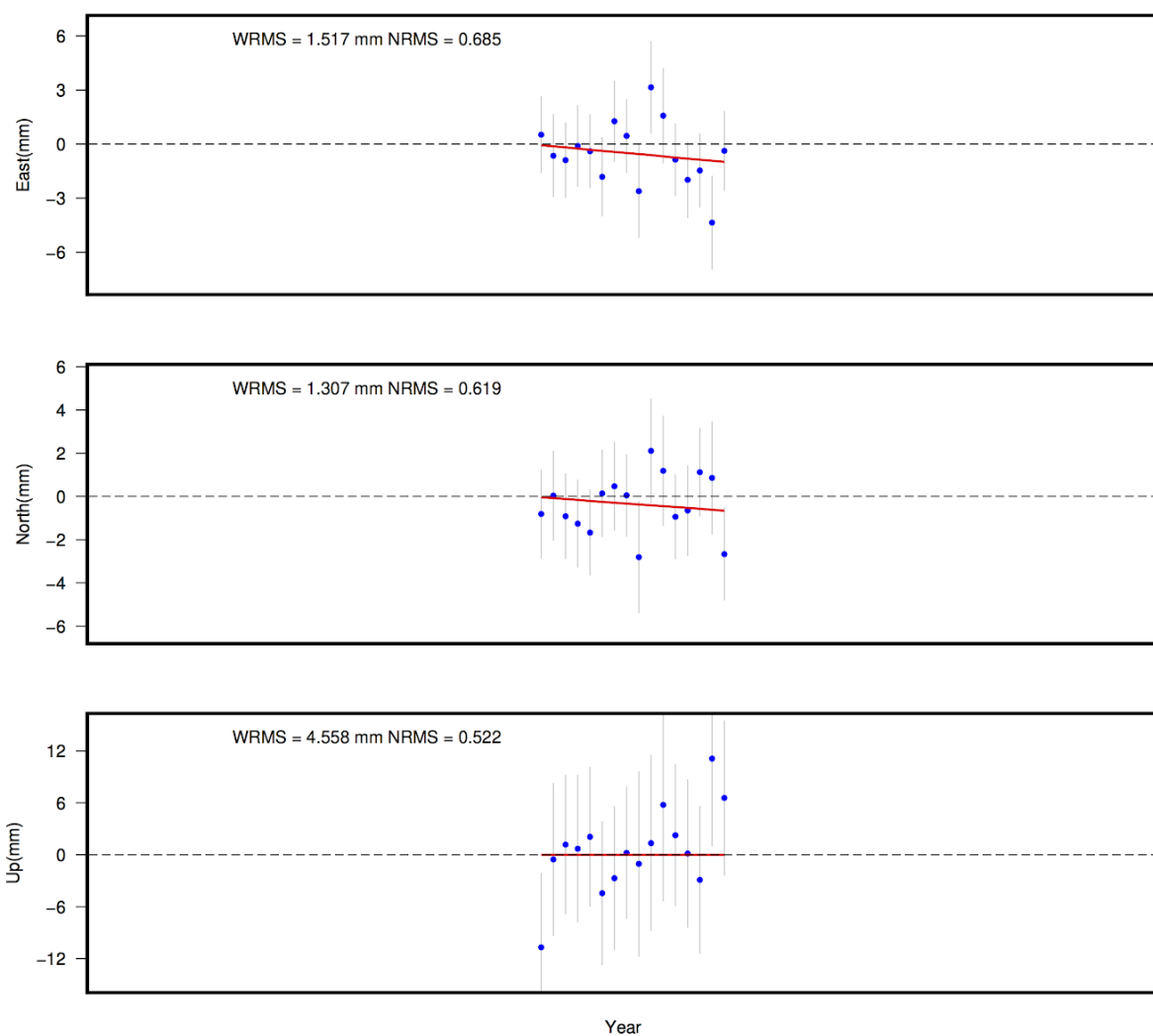
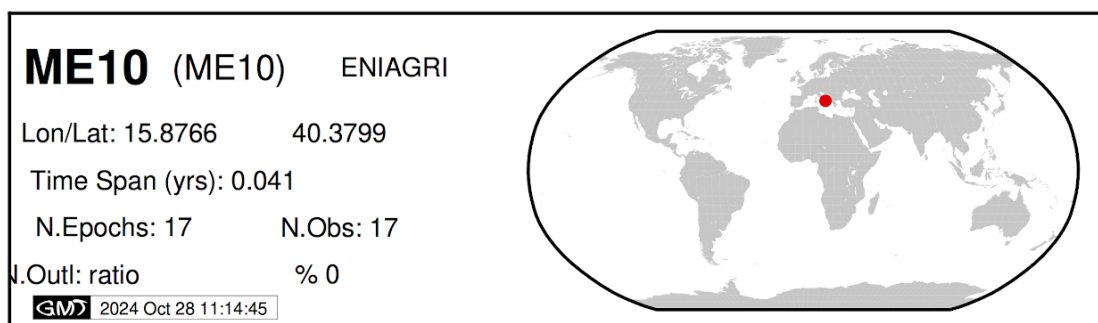


Figura D.0.7. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione ME10 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGb14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.

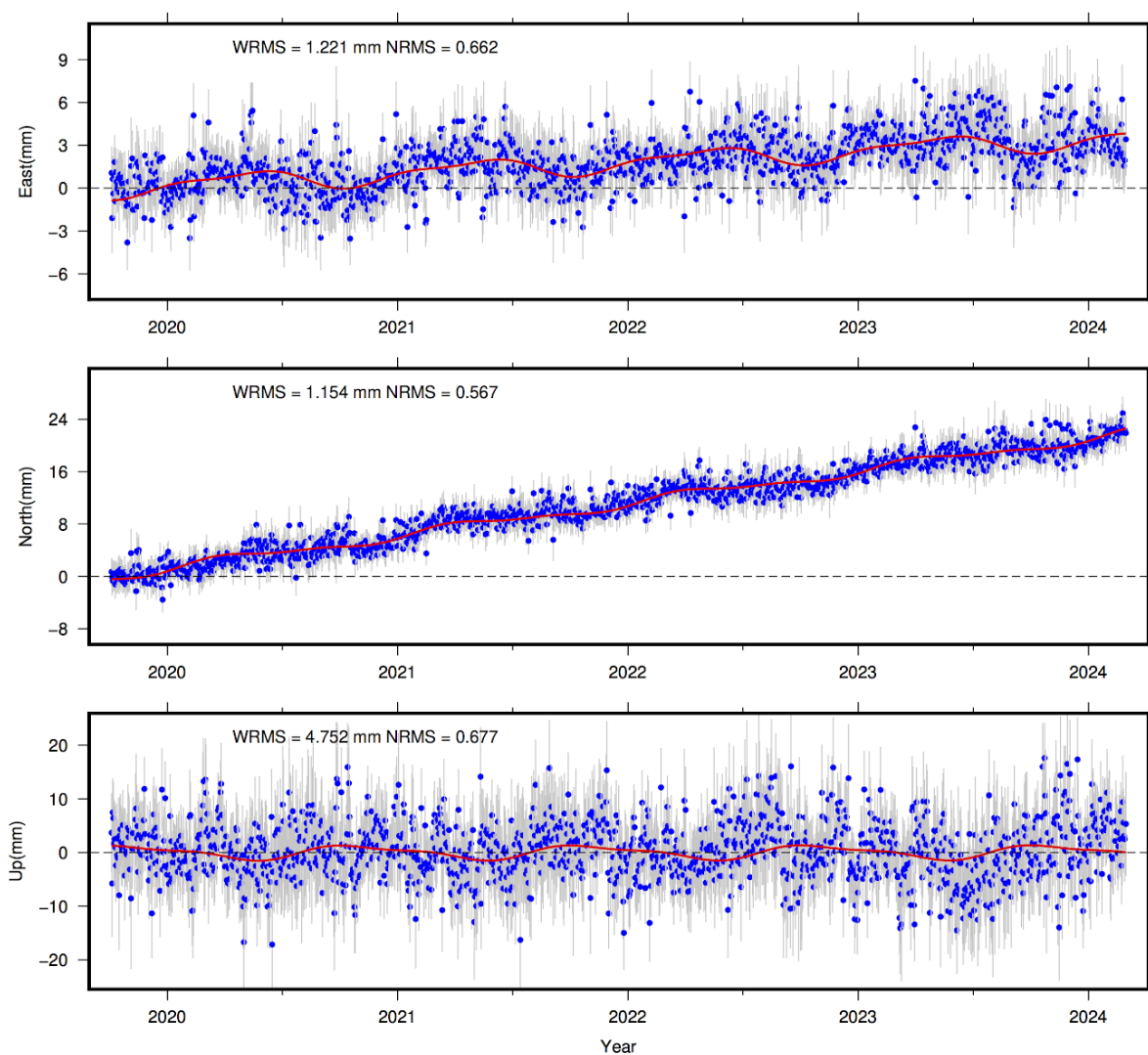
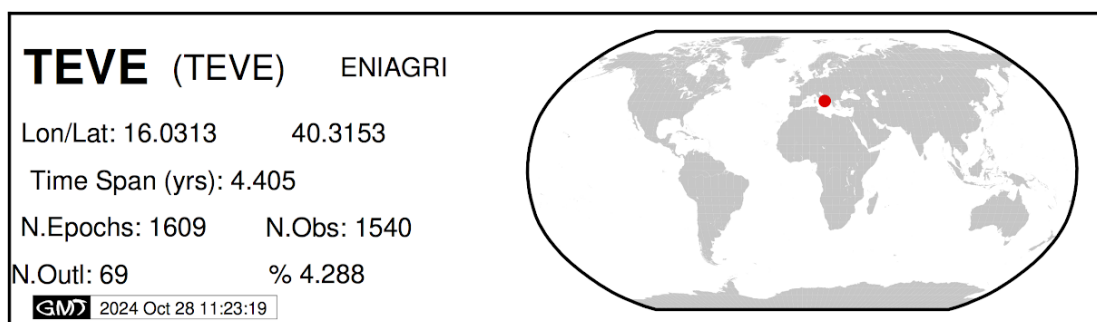


Figura D.0.8. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione TEVE nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in Igb14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.

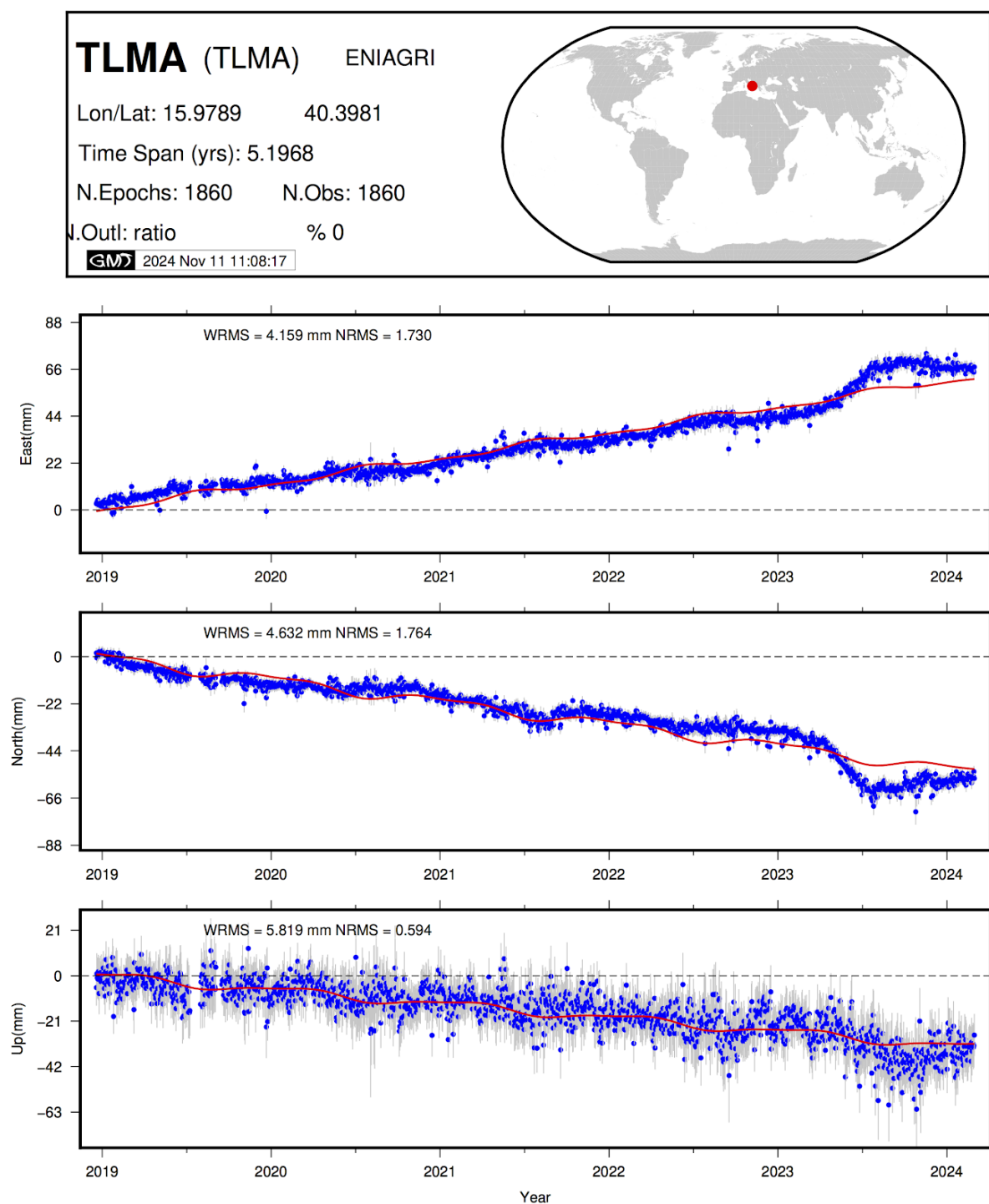


Figura D.0.9. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione TLMA nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.

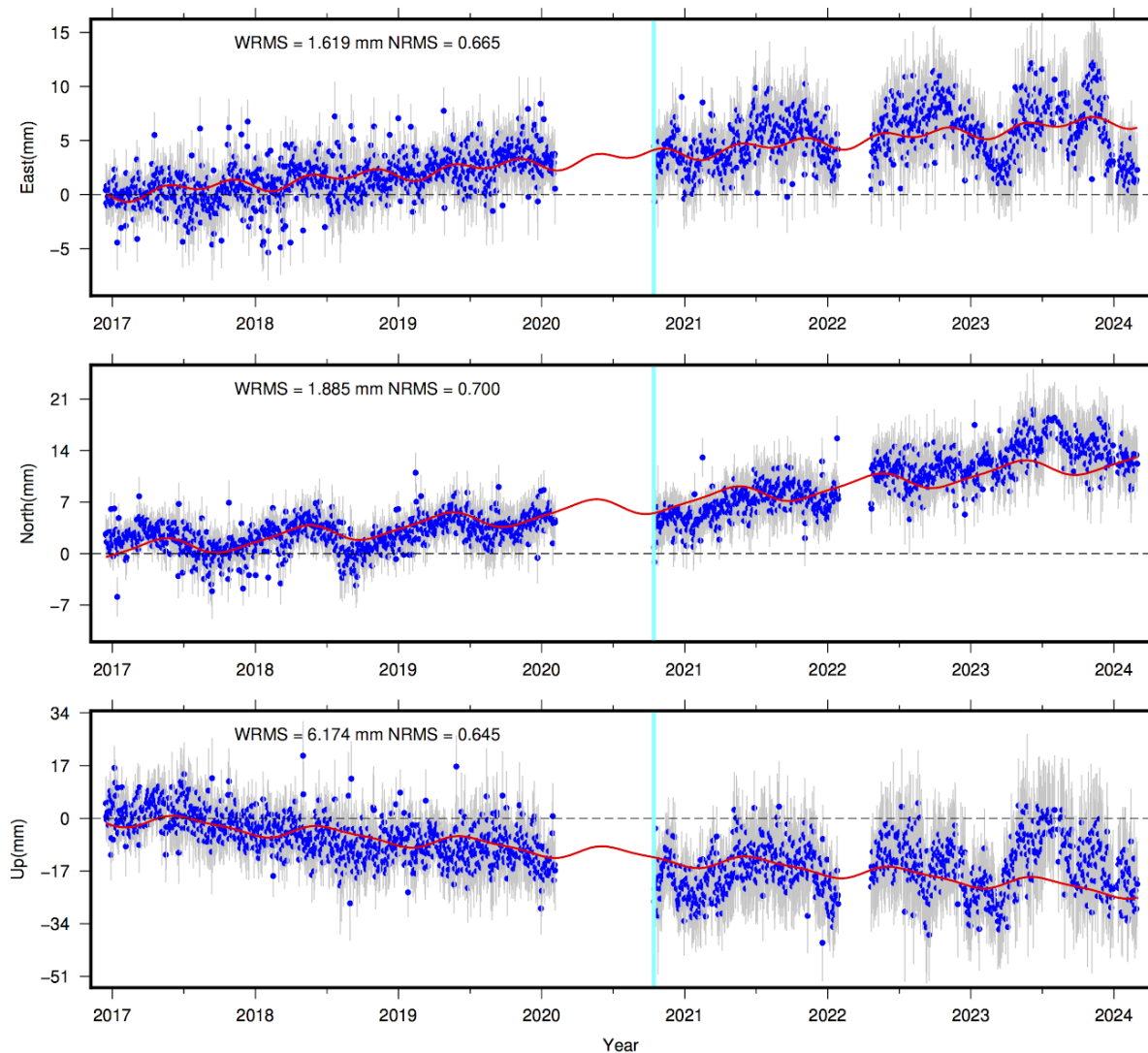
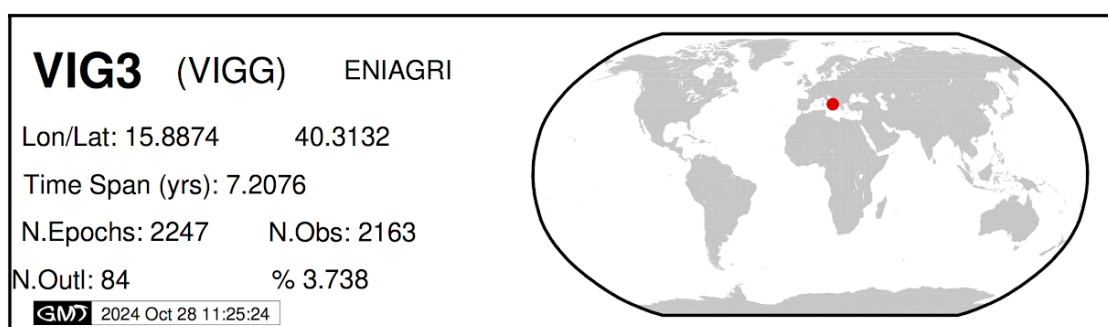


Figura D.0.10. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione VIGG nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in Igb14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso. La barra celeste indica l'epoca in cui è avvenuto un cambio strumentale.

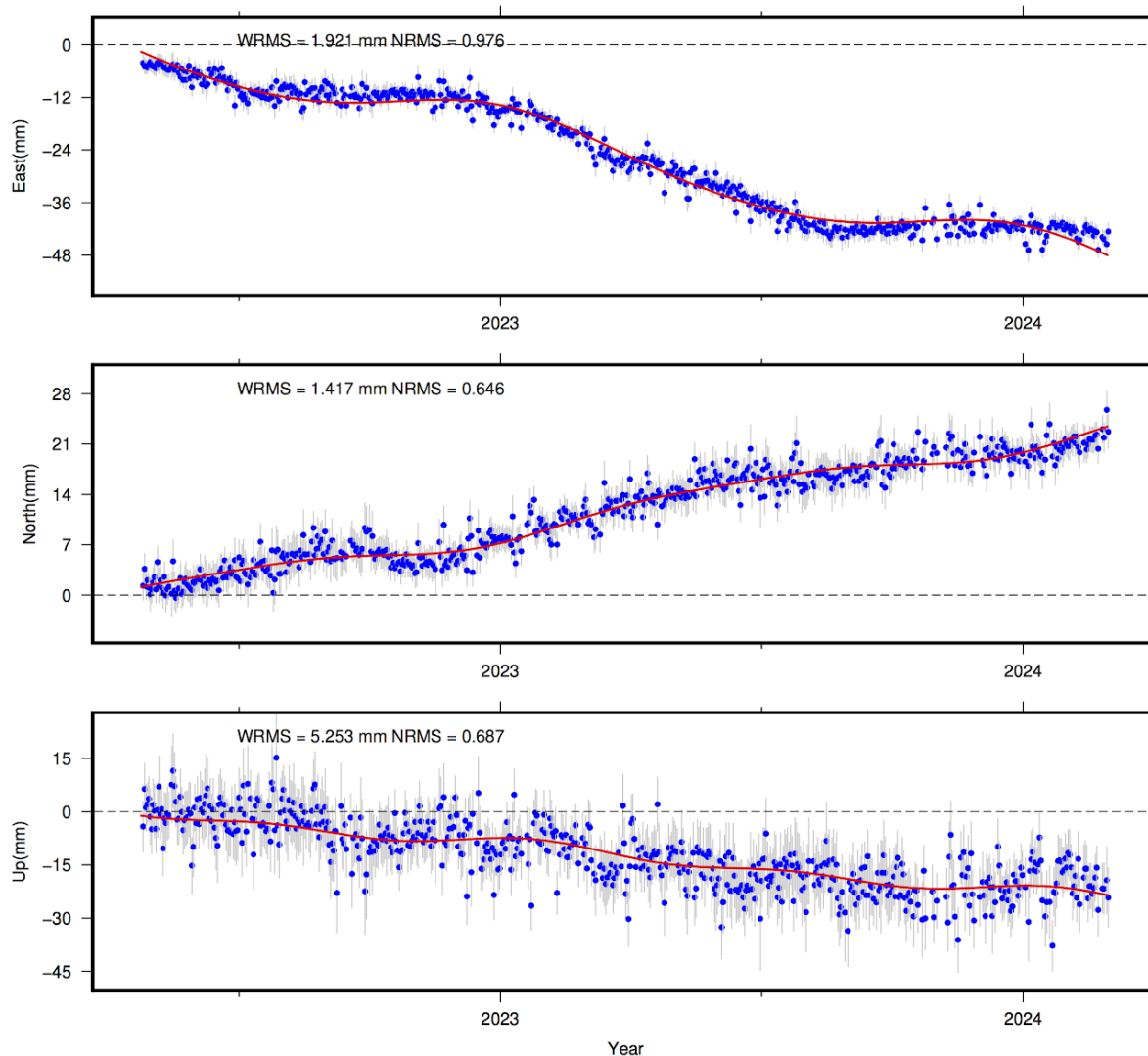
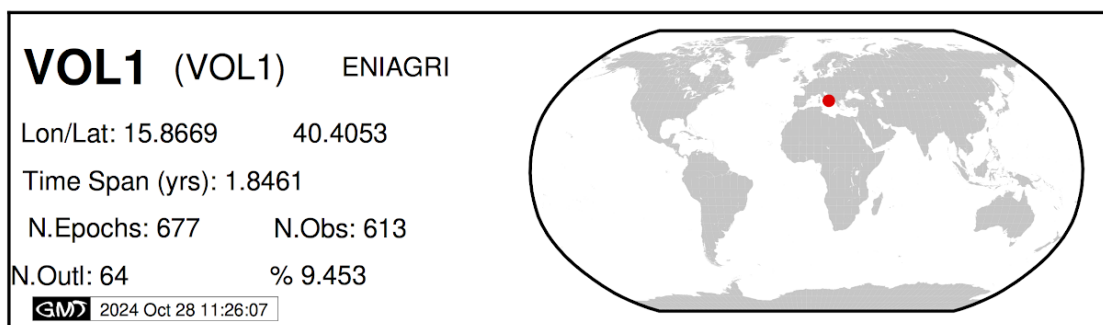


Figura D.0.11. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione VOL1 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in Igb14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.

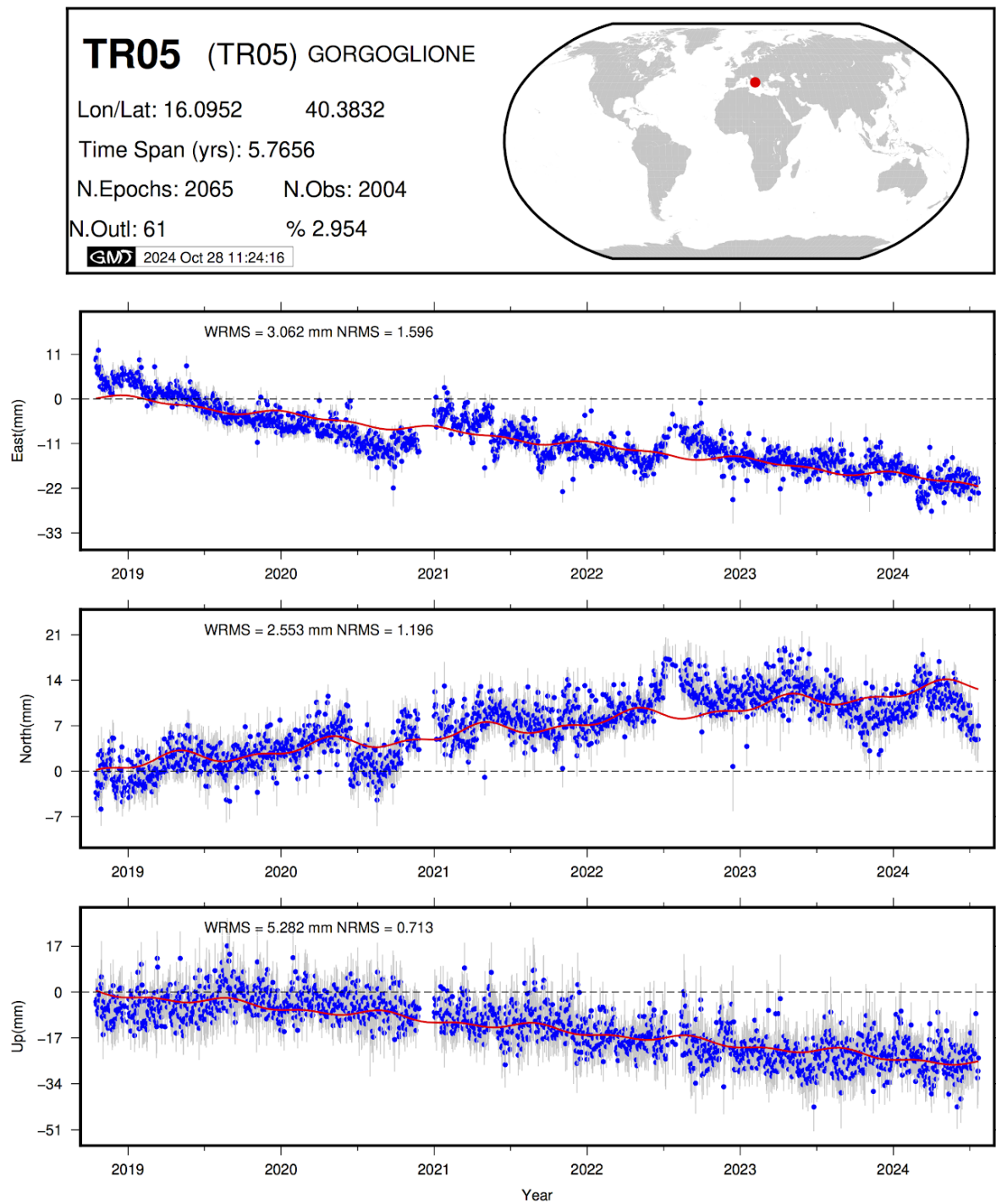


Figura D.0.12. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione TR05 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in Igb14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.

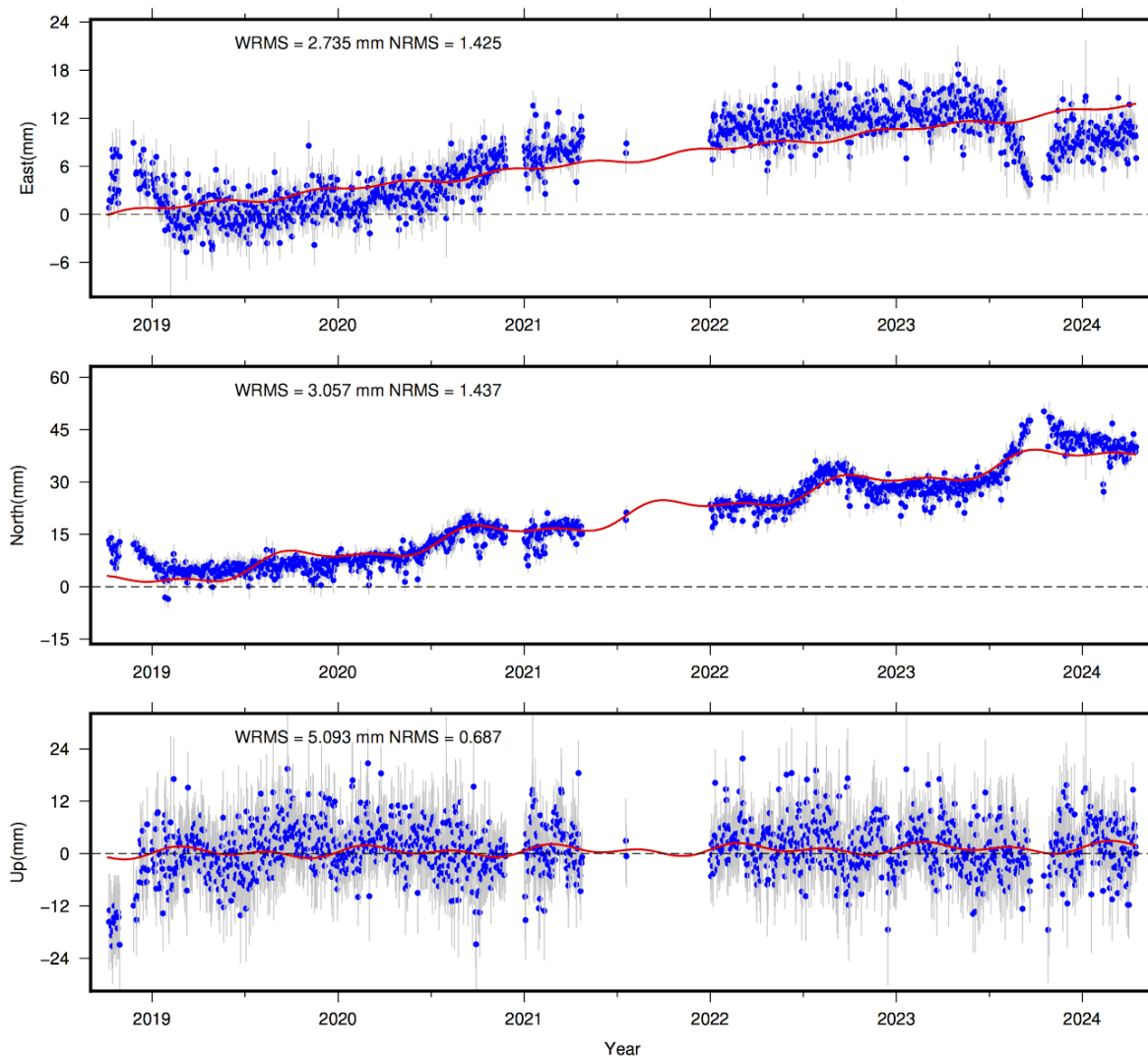
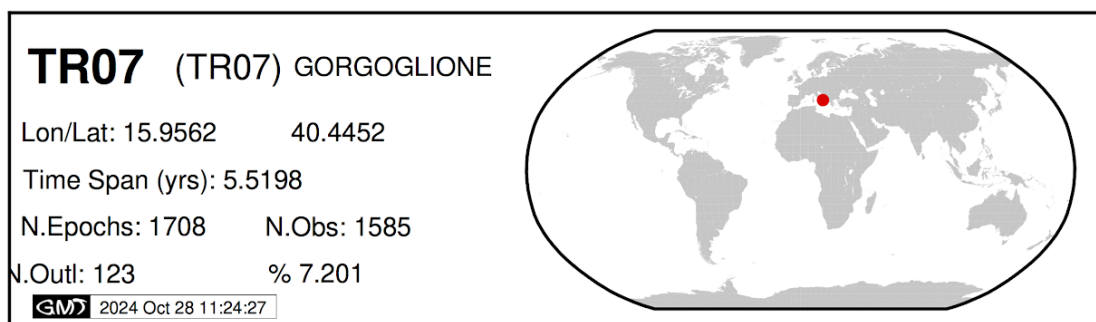


Figura D.0.13. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione TR07 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in Igb14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1 σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.

Appendice E – Disponibilità dei dati negli ultimi sei mesi delle stazioni delle reti sismiche ENI e TEPIT

Disponibilità dati rete ENI

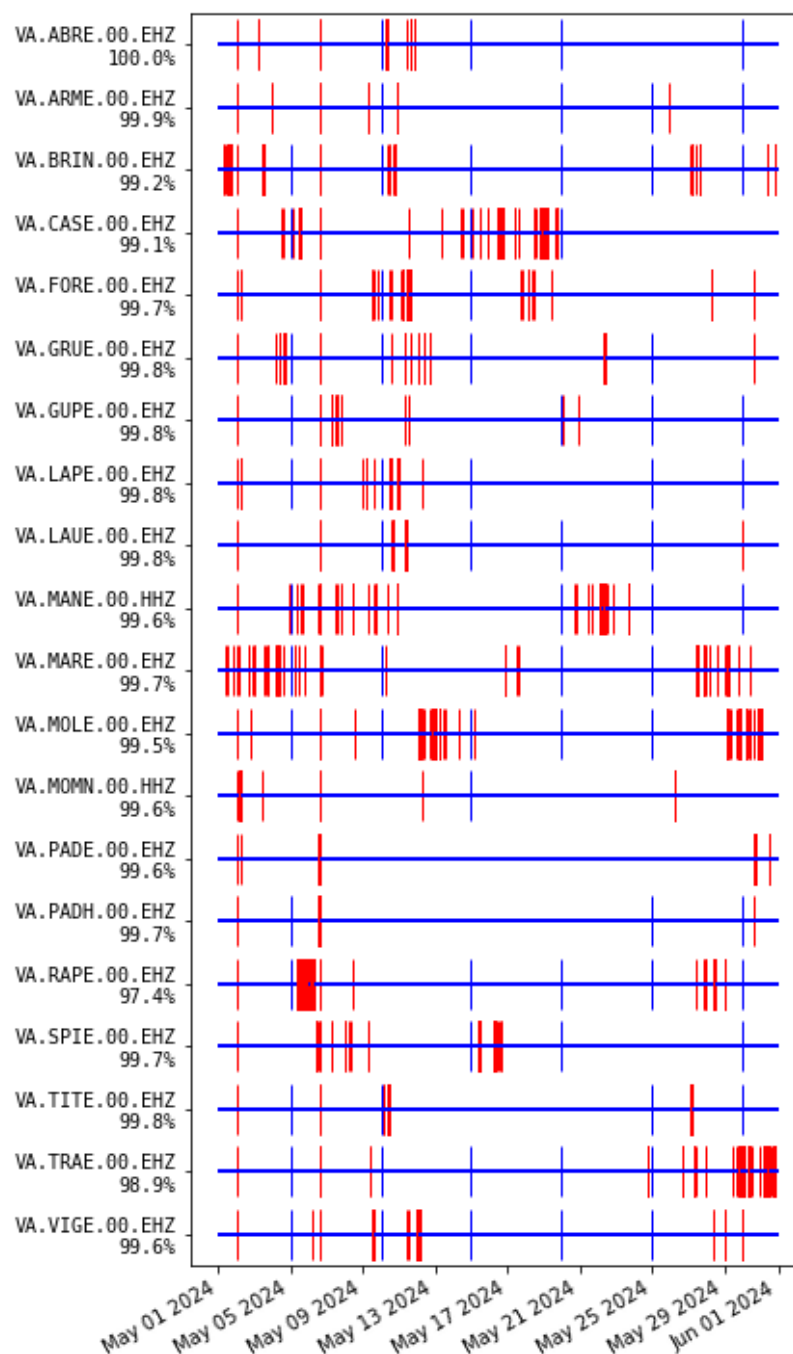


Figura E.0.1. Disponibilità del dato delle stazioni della rete ENI nel mese di Maggio 2024.

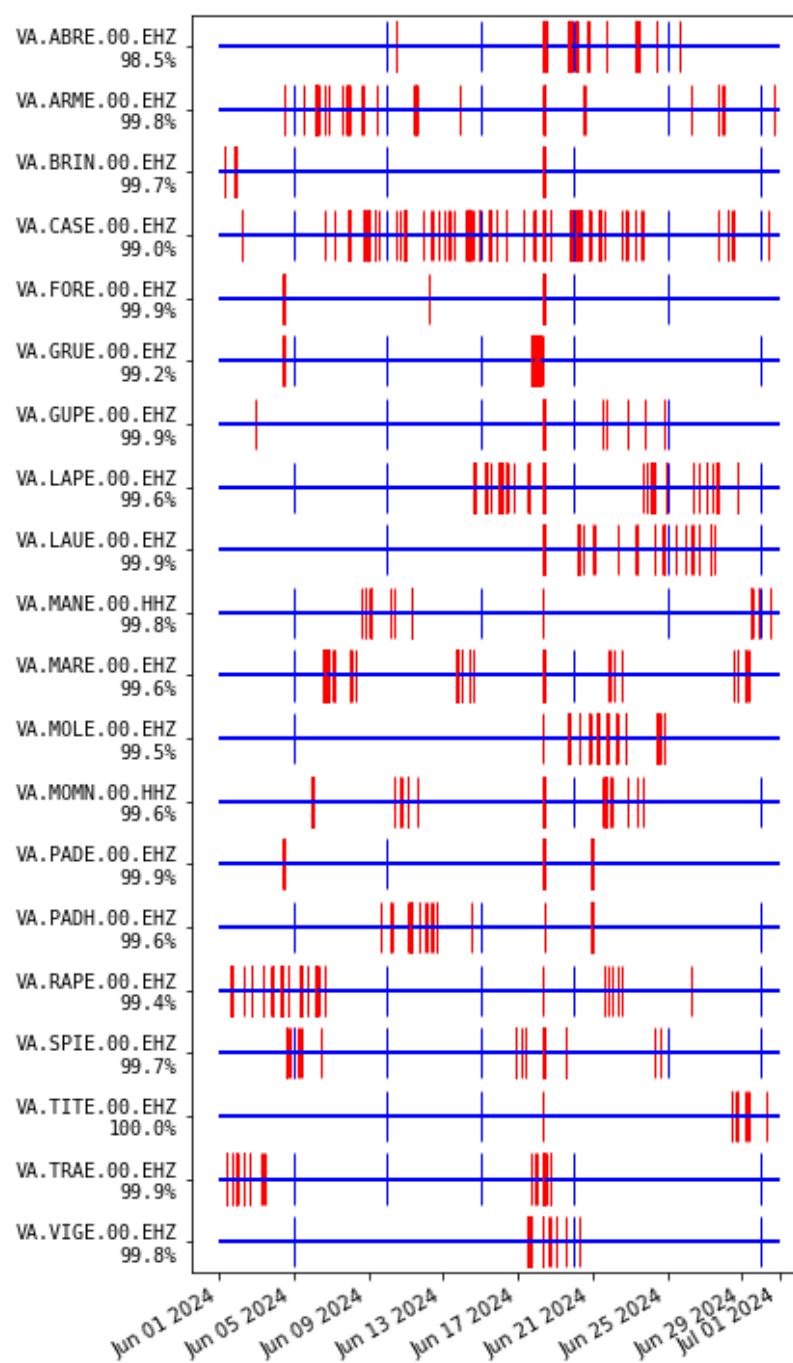


Figura E.0.2. Disponibilità del dato delle stazioni della rete ENI nel mese di Giugno 2024.

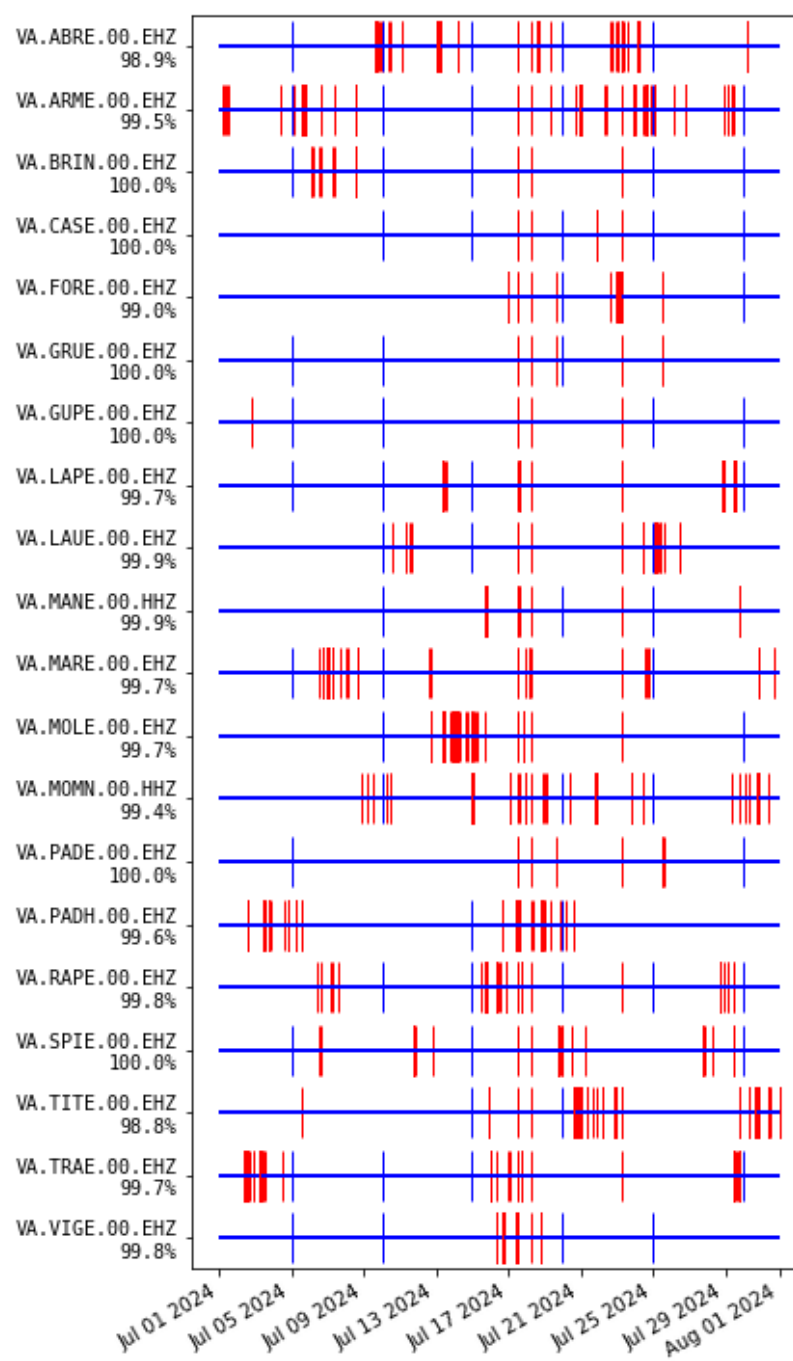


Figura E.0.3. Disponibilità del dato delle stazioni della rete ENI nel mese di Luglio 2024.

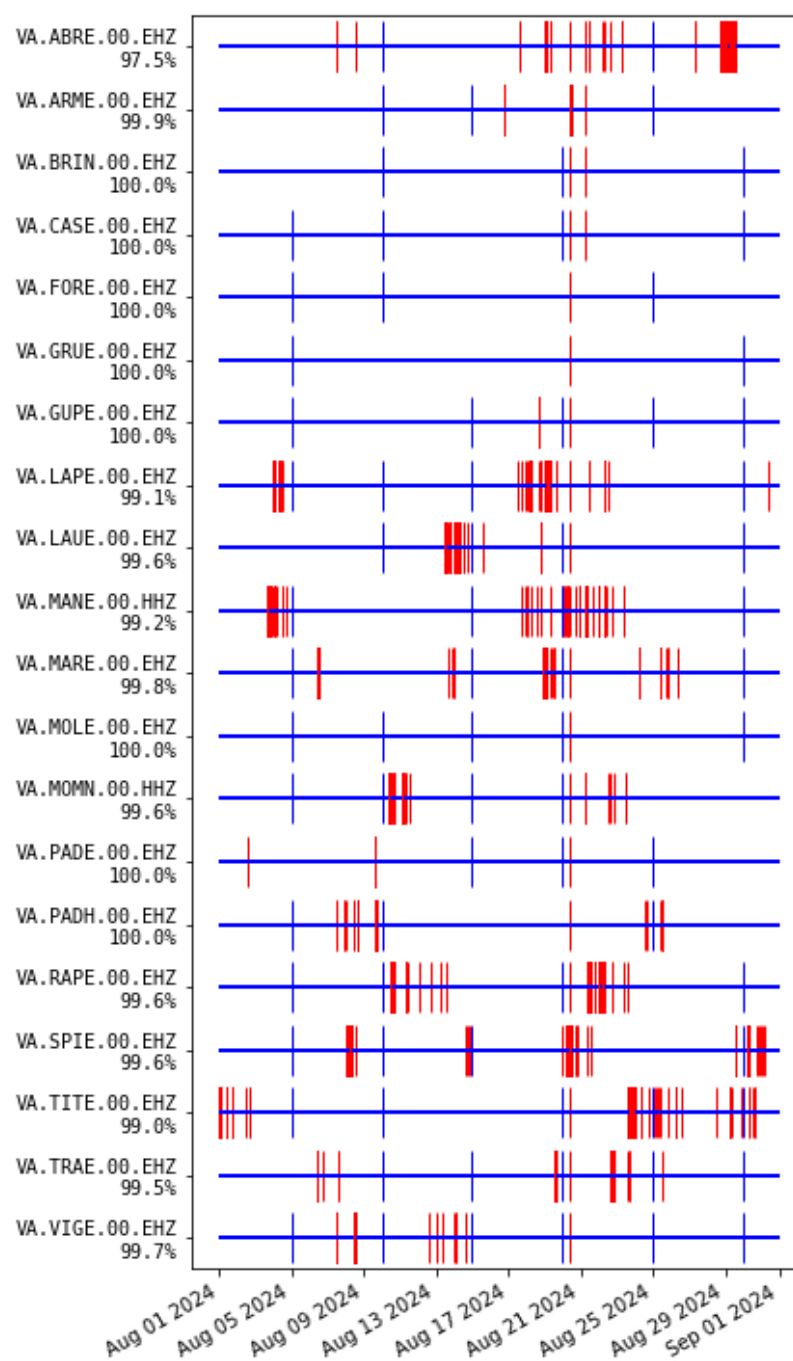


Figura E.0.4. Disponibilità del dato delle stazioni della rete ENI nel mese di Agosto 2024.

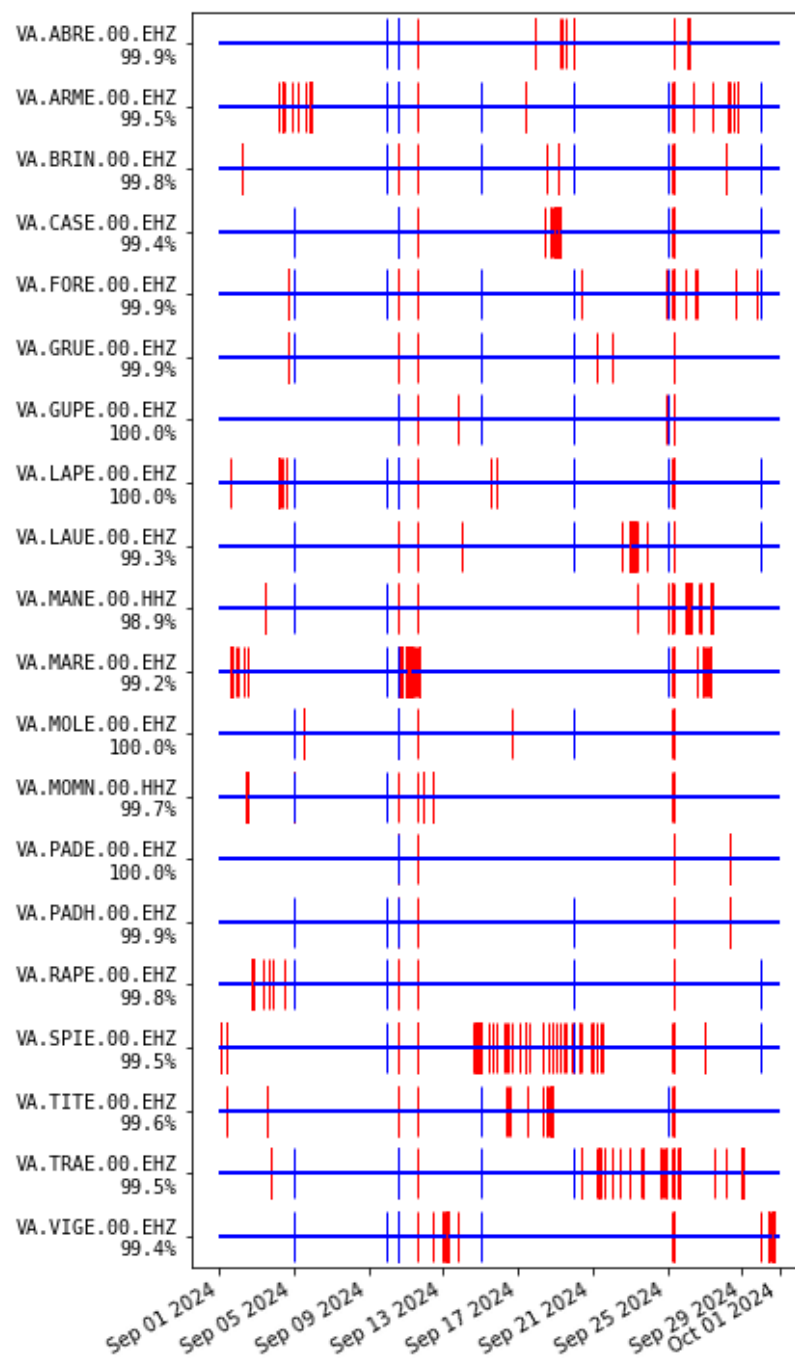


Figura E.0.5. Disponibilità del dato delle stazioni della rete ENI nel mese di Settembre 2024.

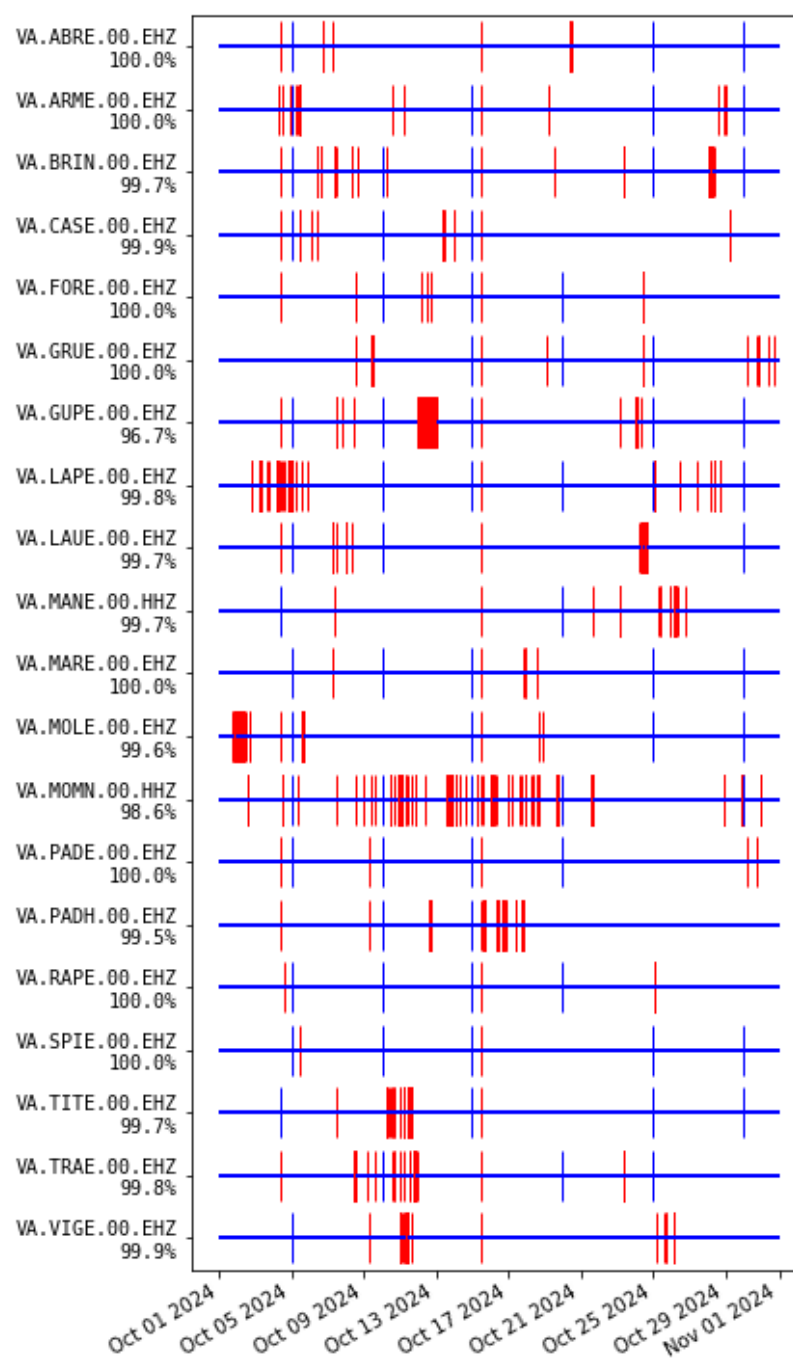


Figura E.0.6. Disponibilità del dato delle stazioni della rete ENI nel mese di Ottobre 2024.

Disponibilità dati rete TEPIT

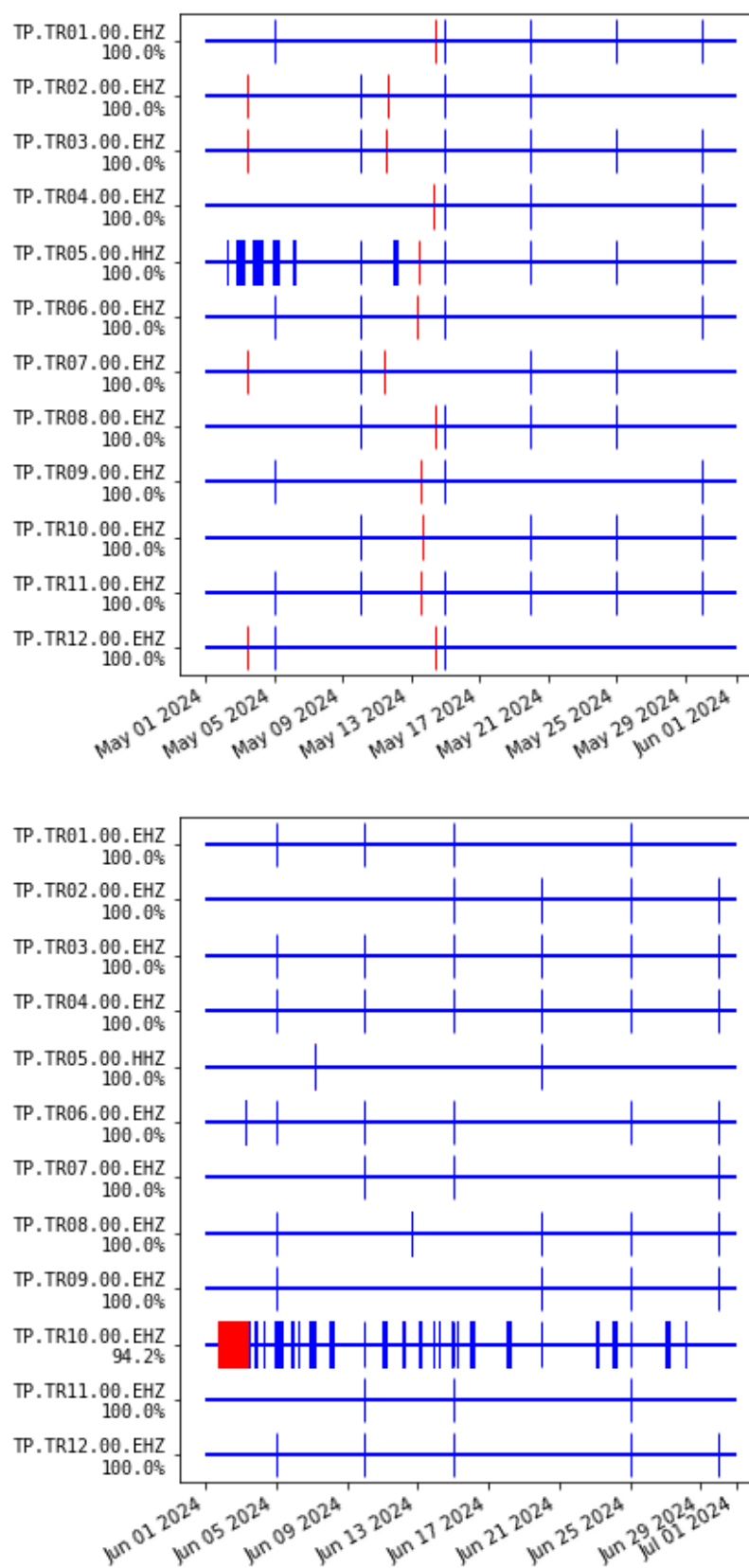


Figura E.0.7. Disponibilità del dato delle stazioni della rete TEPIT nei mesi di Maggio e Giugno 2024.

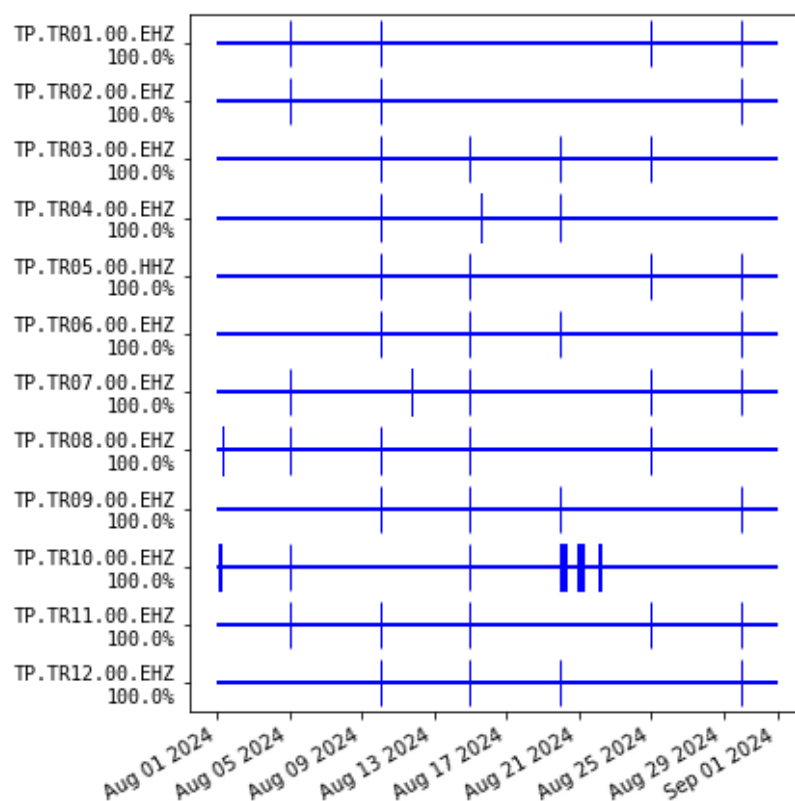
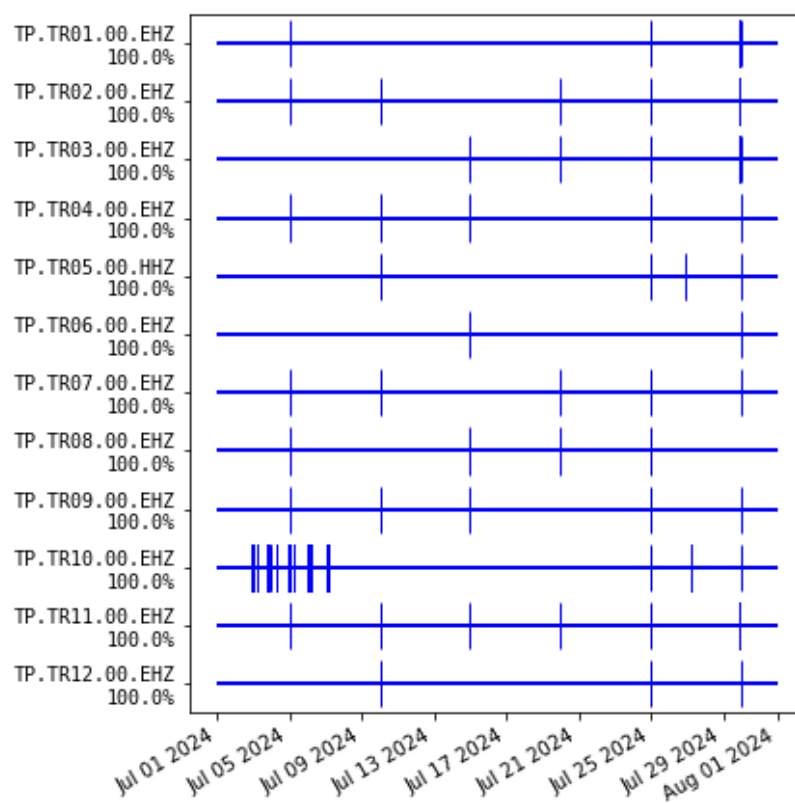


Figura E.0.8. Disponibilità del dato delle stazioni della rete TEPIT nei mesi Luglio e Agosto 2024.

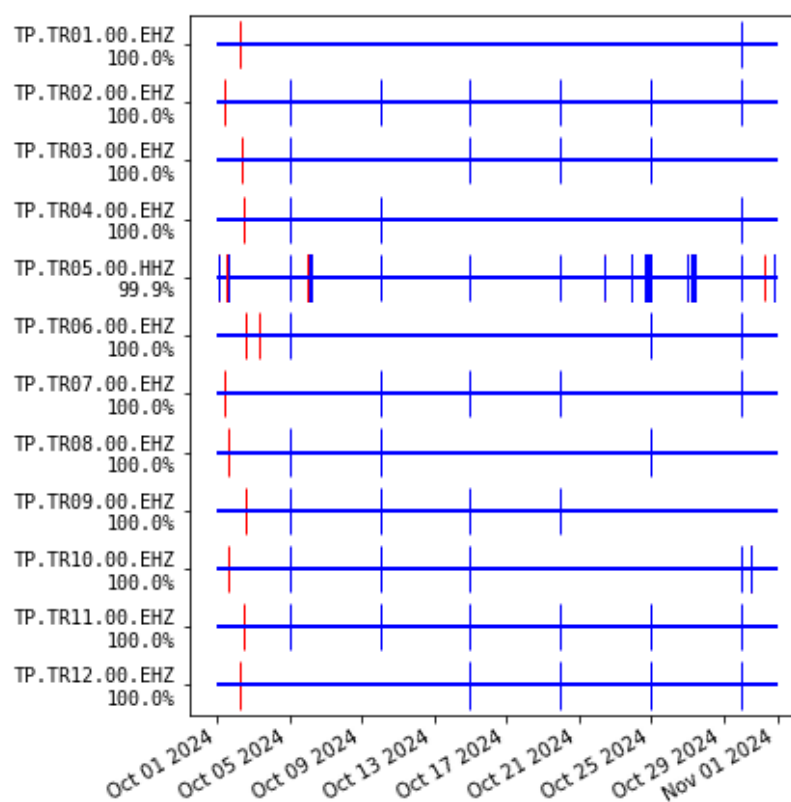
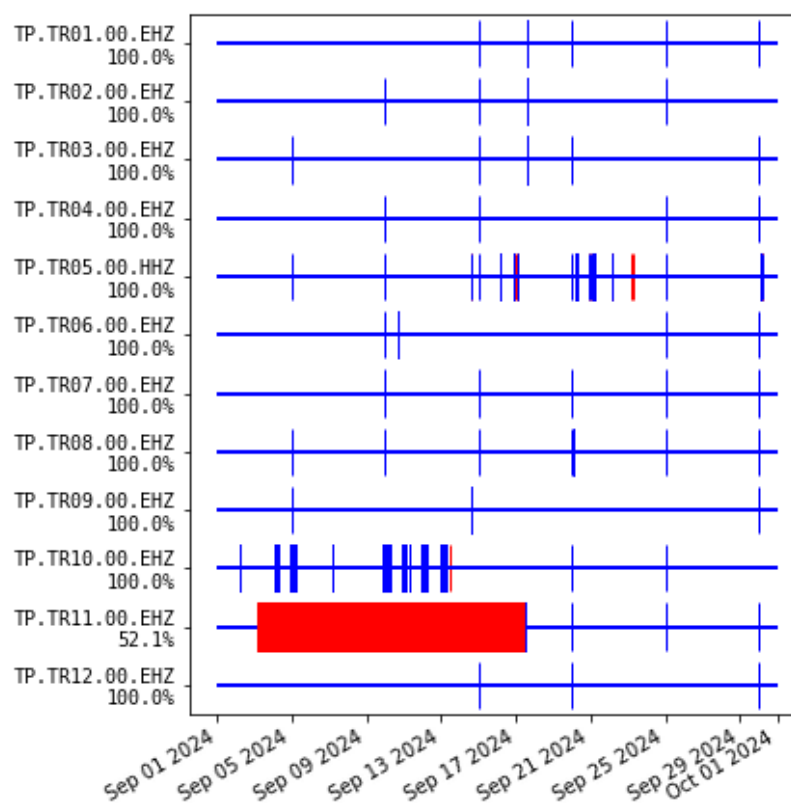


Figura E.0.9. Disponibilità del dato delle stazioni della rete TEPIT nei mesi di Settembre e Ottobre 2024.

Appendice F – Sezioni verticali della sismicità lungo altri profili nei domini di monitoraggio della concessione Val D'Agri

In questa appendice si trovano i profili disegnati in Figura 5.1 e non mostrati nel testo principale del rapporto.

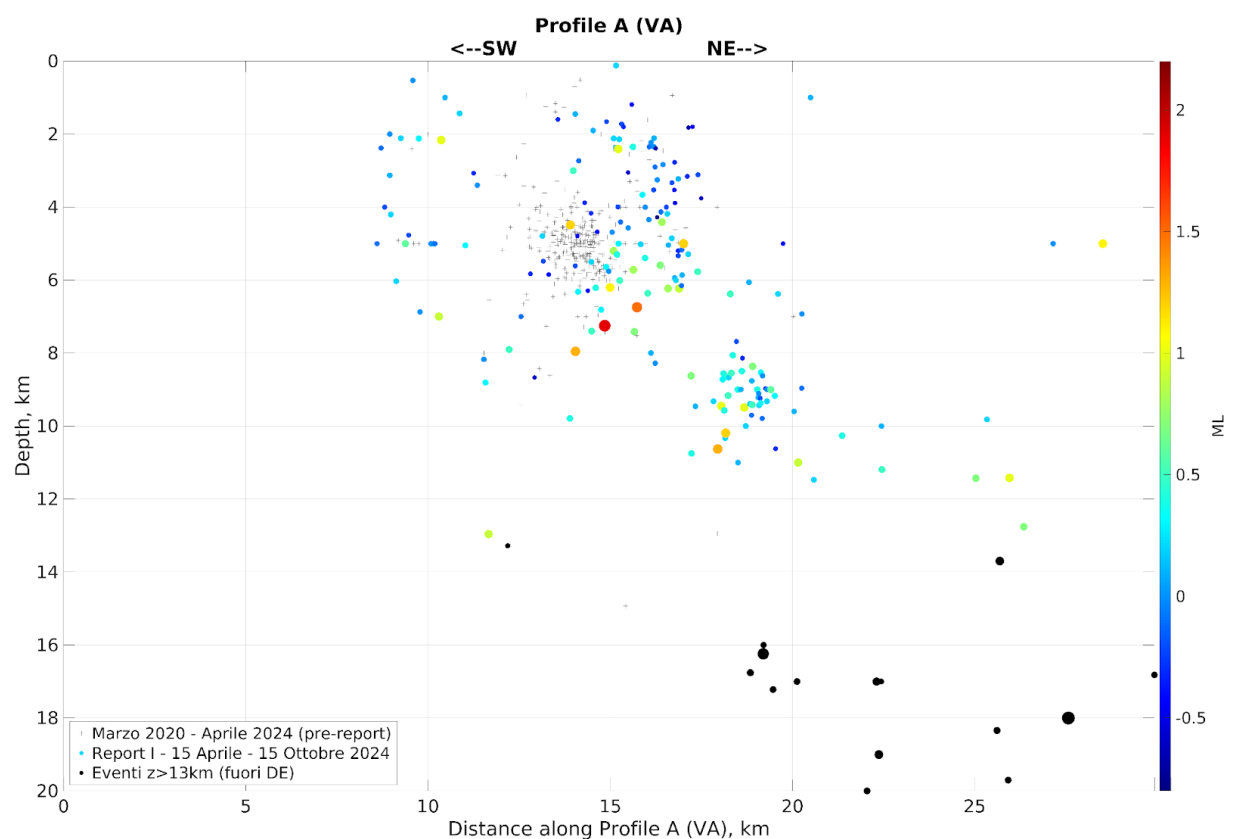


Figura F.0.1. Profilo A - Concessione Val d'Agri.

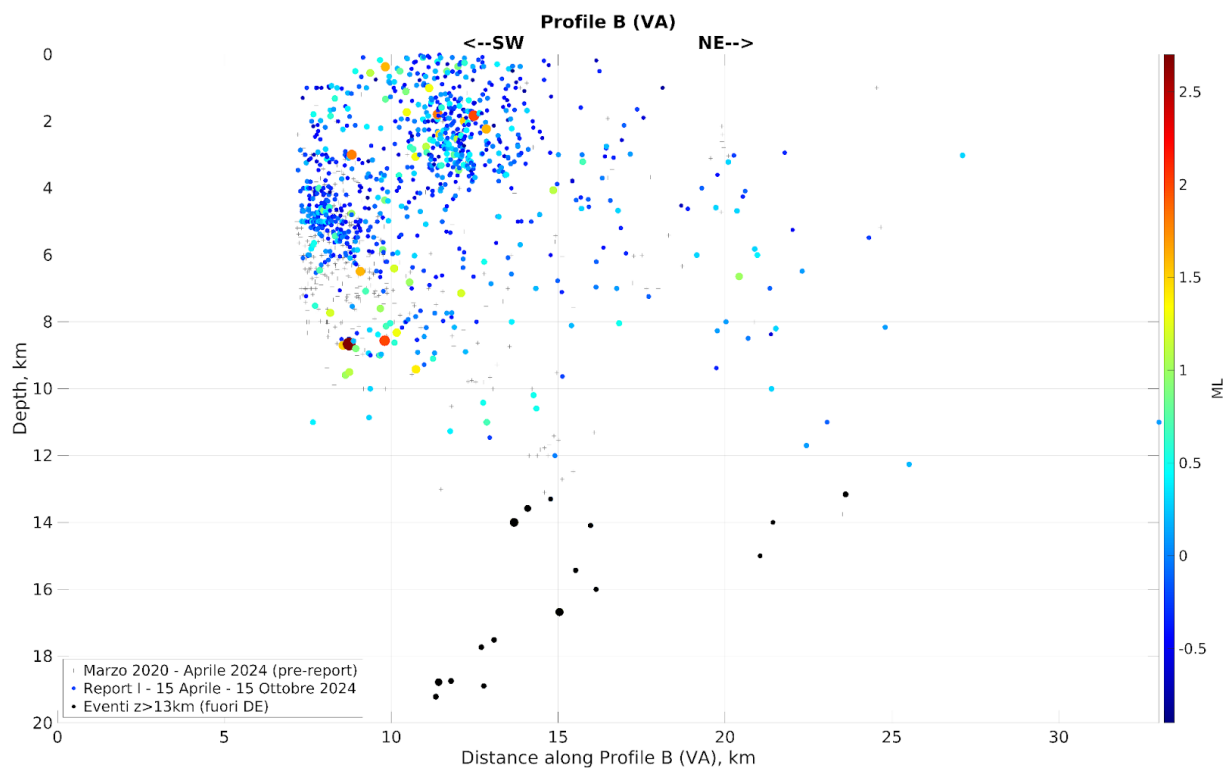


Figura F.0.2. Profilo B - Concessione Val d'Agri.

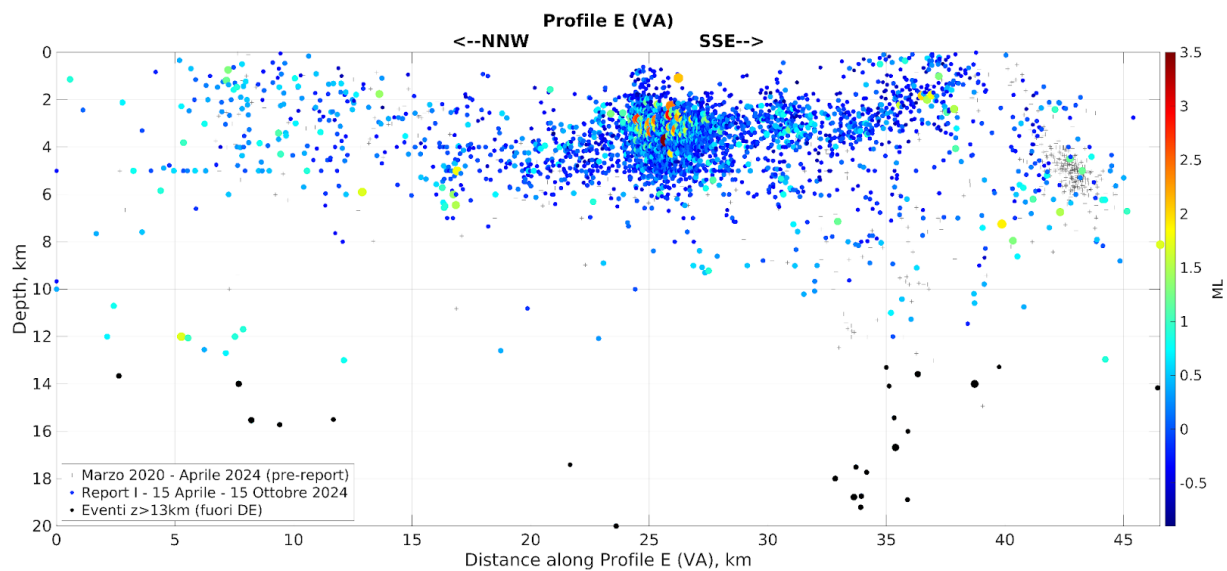


Figura F.0.3. Profilo C - Concessione Val d'Agri.

Glossario

AQ:	Accordo Quadro
CAD-BO:	Centro Acquisizione Dati - Bologna
CIRM:	Commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie
CGPS:	<i>Continuous Global Positioning System</i>
CMS:	Centro di Monitoraggio per le attività di Sottosuolo
DE:	Dominio Esteso
DEM:	<i>Digital Elevation Model</i>
DI:	Dominio Interno
DMA:	<i>daily moving average</i>
EAFS:	<i>Eastern Agri Fault System</i>
ERT:	<i>Electrical Resistivity Tomography</i>
GNSS:	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS:	<i>Global Positioning System</i>
GR:	Gutenberg Richter
IGS:	<i>International GNSS Service</i>
ILG:	Indirizzi e Linee Guida per il Monitoraggio della sismicità delle Deformazioni del Suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche
InSAR:	<i>Interferometric SAR</i>
INGV:	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
IPTA:	<i>Interferometric Point Target Analysis</i>
IV:	Sigla rete (NW-Code) RSN (INGV)
LIDAR:	<i>Laser Imaging Detection and Ranging</i>
MiSE:	Ministero dello Sviluppo Economico
MiTE:	Ministero della Transizione Ecologica
MMFS:	Monti della Maddalena <i>Fault System</i>
M _L :	Magnitudo Locale
M _{bj} :	Magnitudo Locale Bakun e Joyner
NRMS:	<i>Normalized Root Mean Square</i>
NW:	<i>Network</i>
PDF:	<i>Probability Density Function</i>
PGA:	<i>Peak Ground Acceleration</i>
PGV:	<i>Peak Ground Velocity</i>
PSD:	<i>Power Spectral Density</i>
RB:	Regione Basilicata
RING:	Rete Nazionale Integrata GPS
RMSE:	Root Mean Square Error
RSN:	Rete Sismica Nazionale (INGV)
SNR:	<i>Signal-to-Noise Ratio</i>

SAR:	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SPM:	Struttura Preposta al Monitoraggio
SVD:	<i>Single Value Decomposition</i>
THP:	<i>Tubing Head Pressure</i> - pressione a testa pozzo
TLS:	<i>Traffic Light System</i> - sistema a semaforo
TWT:	<i>Two Way Travel Time</i>
VIR:	<i>Volume Injection Rate</i> - rata del volume di fluido iniettato (portata)
VA:	Val d'Agri
WRMS:	<i>Weighted Root Mean Square</i>

Bibliografia

- Aki, K., 1965. Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log(N) = a - bM$ and its confidence limits, *Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo Univ.*, 43, 237–239.
- Altamimi, Z., Métivier, L., Rebischung, P., Rouby, H., Collilieux, X. (2017). ITRF2014 plate motion model. *Geophys. J. Int.* 209, 1906–1912. doi:10.1093/gji/ggx136.
- Bakun, W.H., and W.B. Joyner (1984). The M_L scale in Central California *Bulletin of the Seismological Society of America* (1984) 74 (5): 1827–1843.
- Bevis, M., & Brown, A. (2014). Trajectory models and reference frames for crustal motion geodesy. *Journal of Geodesy*, 88(3), 283–311. <https://doi.org/10.1007/s00190-013-0685-5>.
- Blewitt, G., and Lavallée, D. (2002). Effect of Annual Signals on Geodetic Velocity. *J. Geophys. Res.* 107 (B7), 9–1. doi:10.1029/2001JB000570
- Bobbio, A., M. Vassallo, & G. Festa (2009): Local Magnitude estimation for the Irpinia Seismic Network, *Bull. Seism. Soc. Am.* 99, 2461–2470, doi:10.1785/0120080364.
- Brune, J. N., (1970) Tectonic Stress and the Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, 75, no. 26. , 4997–5009.
- Dialuce, G., Chiarabba, C., Di Bucci, D., Doglioni, C., Gasparini, P., Lanari, R., Priolo, E., 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. GdL MISE, Roma. unmig.mise.gov.it/unmig/agenda/upload/85238.pdf. (ultimo accesso Ottobre 2019).
- Dieterich J.H., Frohlich C., Hager B.H., Juanes R., Shaw, J. (2018): Report on the potential for induced seismicity at the Val d'Agri Oilfield. Rapporto finale, 265 pp.
- Gutenberg B., and Richter C.F. (1944). Frequency of earthquakes in California, *Bull. seism. Soc. Am.*, vol. 34 (pg. 185-188)
- Improta L., Bagh S., De Gori P., Valoroso L., Pastori M., Piccinini D., Buttinelli, M. (2017): Reservoir Structure and Wastewater-Induced Seismicity at the Val d'Agri Oilfield (Italy) Shown by Three-Dimensional V_p and V_p/V_s Local Earthquake Tomography. *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 122(11), 9050–9082.
- Kreemer, C., and Blewitt, G. (2021). Robust Estimation of Spatially Varying Common-Mode Components in GPS Time-Series. *J. Geod.* 95 (1), 13. doi:10.1007/s00190-020-01466-5
- Leptokaropoulos, K., Karakostas, V., Papadimitriou, E., Adamaki, A., Tan, O. & Inan, S., 2013. A homogeneous earthquake catalog for Western Turkey and magnitude of completeness determination., *Bull. seism. Soc. Am.*, 103(5), 2739–2751
- 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
- Margheriti, L., and A. Zollo (2010). High-resolution multi-disciplinary monitoring of active fault test-site areas in Italy, Final Report S5-DPC-INGV Project, <http://dpc-s5.rm.ingv.it/en/S5.html> (last accessed October 2011), 14 pp.

- Marzorati, S., and Bindi, D. (2006), Ambient noise levels in north central Italy, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 7, Q09010, doi:10.1029/2006GC001256.
- McNamara, D. E. and Buland, R. P. (2004) Ambient Noise Levels in the Continental United States, *B. Seism. Soc. Am.*, 94, 1517–1527.
- Orlecka-Sikora B, Lasocki S, Kocot J, Szepieniec T, Grasso JR, Alexander Garcia Aristizabal, Schaming M, Urban P, Jones G, Stimpson I, Dineva S, Salek P, Leptokaropoulos K, Lizurek G, Olszewska D, Schmittbuhl J, Kwiatek G, Saccarotti G, Chodzińska K, Rudziński L, Dobrzycka I, Mutke G, Barański A, Pierzyna A, Kozlovskaya E, Nevalainen J, Kinscher J, Sileny J, Sterzel M, Cielesta S, Fischer T (2020). an open data infrastructure for the study of anthropogenic hazards linked to georesource exploitation. *SCIENTIFIC DATA*, vol. 7, p. 1-16, ISSN: 2052-4463, doi: 10.1038/s41597-020-0429-3
- Pintori, F., Serpelloni, E., Longuevergne, L., Garcia, A., Faenza, L., D'Alberto, L., et al. (2021). Mechanical Response of Shallow Crust to Groundwater Storage Variations: Inferences from Deformation and Seismic Observations in the Eastern Southern Alps, Italy. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 126 (2), e2020JB020586. doi:10.1029/2020jb020586
- Serpelloni E, Cavaliere A, Martelli L, Pintori F, Anderlini L, Borghi A, Randazzo D, Bruni S, Devoti R, Perfetti P and Cacciaguerra S (2022) Surface Velocities and Strain-Rates in the Euro-Mediterranean Region From Massive GPS Data Processing. *Front. Earth Sci.* 10:907897. doi: 10.3389/feart.2022.907897
- Tape, C., Musé, P., Simons, M., Dong, D., & Webb, F. (2009). Multiscale estimation of GPS velocity fields. *Geophys. J. Int.* 179(2), 945–971. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04337.x>.
- Vassallo, M., Festa, G. & Bobbio, A. (2012). Seismic Ambient Noise Analysis in Southern Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America*; 102 (2): 574–586. doi: <https://doi.org/10.1785/0120110018>
- Wcisło, M., Stabile, T. A., Telesca, L. and Eisner, L. (2018), Variations of attenuation and VP/VS ratio in the vicinity of wastewater injection: A case study of Costa Molina 2 well (High Agri Valley, Italy). *GEOPHYSICS* 83: B25-B31. <https://doi.org/10.1190/geo2017-0123.1>
- Wiemer, S. & Wyss, M., 2000. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: examples from Alaska, the Western United States, and Japan, *Bull. seism. Soc. Am.*, 90(4), 859–869.
- Zollo et al. (2014)

Elenco delle figure

- Figura 2.1. Domini di monitoraggio provvisori adottati in questo rapporto (DI, DE e DR per la concessione Val d'Agri, e DI e DE per la concessione Gorgoglione), e mappa delle stazioni sismiche attive nell'area del monitoraggio in Basilicata. La rete integrata è composta da stazioni delle reti VA (Eni spa), TP (TotalEnergies spa), IV (INGV - rete sismica nazionale), GE (GFZ), VD (CNR), e IX (U. Federico II di Napoli). 9
- Figura 2.2. Livelli di attivazione e parametri sismici definiti negli ILG [Dialuce et al., 2014], §9 Tabella 3. Nel documento originale l'unità fisica di PGV è stata erroneamente indicata in cm/s^2 (Dialuce et al., 2014). 10
- Figura 3.1. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la dete-zione di eventi a una profondità di 4 km conside-rando almeno 4 stazioni della rete VA e considerando fase P (a) e fasi S (b). 16
- Figura 3.2. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la dete-zione di eventi a una profondità di 4 km conside-rando almeno 4 stazioni della rete TP e considerando fase P (a) e fasi S (b). 17
- Figura 3.3. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la dete-zione di eventi a una profondità di 4 km considerando almeno 4 stazioni delle reti VA e TP e considerando fase P (a) e fasi S (b). Mappe con le soglie per alte profondità (da 0 a 10 km) si trovano nell'Appendice A. 18
- Figura 3.4. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la dete-zione di eventi a una profondità di 4 km conside-rando almeno 4 stazioni di tutte le reti prese in esame, e considerando fase P (a) e fasi S (b). 19
- Figura 3.5. Localizzazione degli eventi sismici registrati dalla sala sismica di sorveglianza nei domini di monitoraggio delle concessioni Val d'Agri e Gorgoglione. Le croci nere mostrano gli eventi rilevati nel periodo precedenti a questo rapporto (i.e., Gennaio 2021 - Aprile 2024). I simboli colorati identificano gli eventi nel periodo 15 aprile - 15 ottobre 2024 (vedere la legenda della mappa per la spiegazione dei colori) 22
- Figura 3.6. Magnitudo di completezza stimata per la sismicità registrata dalla Rete Sismologica Nazionale nei domini estesi delle concessioni (a) Val d'Agri e (b) Gorgoglione, senza limiti di profondità. 23
- Figura 3.7. Magnitudo di completezza stimata per la sismicità registrata dalla sala di monitoraggio del CMS nel (a) DI e nel (b) DE della concessione Val d'Agri, Basilicata. 23
- Figura 3.8. Magnitudo di completezza stimata per la sismicità registrata dalla sala di monitoraggio del CMS nel DR definito per il pozzo di reiniezione Costa Molina 2 della concessione Val d'Agri, Basilicata. 24
- Figura 3.9. Magnitudo di completezza stimata per la sismicità registrata dalla sala di monitoraggio del CMS nel (a) DI e nel (b) DE della concessione Val d'Agri, Basilicata. 25
- Figura 3.10. Distribuzione degli errori di localizzazione, orizzontali e verticali, relativamente agli eventi localizzati nel periodo 01/01/2021 - 15/10/2024 nei domini della concessione Val d'Agri. 26
- Figura 3.11. Distribuzione degli errori di localizzazione, orizzontali e verticali, relativamente agli eventi localizzati nel periodo 01/01/2021 - 15/10/2024 nei domini della concessione Gorgoglione. 27
- Figura 4.1. Interdistanze entro i 15 km tra le stazioni GNSS. a) tra le sole stazioni della rete ENI in Val d'Agri; b) tra le sole stazioni GNSS della rete TEPIT per Tempa Rossa; c) tra tutte le

stazioni attive per le due concessioni e integrando anche le stazioni pubbliche (rosse) e private (gialle) disponibili nell'area.	32
Figura 4.2. Risoluzione spaziale in termini di valore massimo della scala q di <i>wavelet</i> sferiche riproducibile con la distribuzione spaziale di tutte le stazioni GNSS, corrispondente alla scala spaziale riportata in Tabella 4.3.	33
Figura 4.3. Piazzola di installazione della stazione GNSS TR04.	35
Figura 4.4. Percentuale di RINEX giornalieri disponibili per ciascun mese di acquisizione per ogni stazione della rete di Val d'Agri	37
Figura 4.5. Percentuale di RINEX giornalieri disponibili per ciascun mese di acquisizione per ogni stazione della rete Gorgoglione.	38
Figura 4.6. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione VIGG (Val d'Agri) in termini di valori di <i>multipath</i> MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).	39
Figura 5.1. Mappa degli epicentri degli eventi sismici localizzati dalla SPM nel periodo 15/04/2024 - 15/10/2024. I perimetri dei Domini Interno ed Esteso della Concessione Val d'Agri sono disegnati in blu. Il Dominio di Riferimento di raggio 5 km attorno alla postazione del CM2 è segnalato in azzurro. I domini di monitoraggio di Gorgoglione sono mostrati per riferimento con linee tratteggiate grigie.	44
Figura 5.2. Sezioni verticali della sismicità lungo i profili C, D e F (mostrati in Figura 5.1).	45
Figura 5.3. Sismicità registrata nel dominio interno della concessione Val d'Agri sopra la soglia di completezza calcolata ($M_c=0,1$): Plot della magnitudo vs tempo (sinistra-sopra), del numero giornaliero di eventi (sinistra-sotto), e del numero cumulato ed il momento sismico rilasciato cumulato (destra). Dati da gennaio 2021, quelli evidenziati in rosso (o dopo la linea tratteggiata rossa) sono relativi al periodo di riferimento di questo rapporto.	46
Figura 5.4. Mappa degli epicentri degli eventi sismici localizzati dalla SPM dentro al DR del pozzo di reiniezione Costa Molina2 nel periodo 15/04/2024 - 15/10/2024. I perimetri dei Domini Interno ed Esteso della Concessione Val d'Agri sono disegnati in blu. Il Dominio di Riferimento di raggio 5 km attorno alla postazione del CM2 è segnalato in azzurro. I domini di monitoraggio di Gorgoglione sono mostrati per riferimento con linee tratteggiate grigie.	47
Figura 5.5. Sismicità registrata sopra la soglia di completezza calcolata ($M_c=-0,1$) nel DR associato al pozzo di reiniezione Costa Molina 2 della concessione Val d'Agri: Plot della magnitudo vs. tempo (sinistra-sopra), del numero giornaliero di eventi (sinistra-sotto), e del numero cumulato e momento sismico rilasciato cumulato (destra). Dati da gennaio 2021, ed evidenziato in rosso il periodo di riferimento di questo rapporto.	48
Figura 5.6. Meccanismo focale dell'evento di $M=1.94$, verificatosi in data 18/04/2024 alle ore 22:00:40 all'interno del DR. (cerchi rossi/bianchi = polarità UP/DOWN).	49
Figura 5.7. Meccanismo focale dell'evento di cui sopra (Figura 5.6) comparato con il meccanismo focale composito dello sciame sismico del 2006 (Improta et al., 2015).	49
Figura 5.8. Valori delle misure di PGA e PGV nelle stazioni della rete integrata nei domini di monitoraggio in Basilicata, per eventi accaduti all'interno del (a) DI e (b) DE della concessione Val d'Agri	50
Figura 5.9. Mappa degli epicentri degli eventi sismici localizzati dalla SPM nei domini di monitoraggio della concessione Gorgoglione, nel periodo 15/04/2024 - 15/10/2024. I	

perimetri dei Domini Interno ed Esteso della Concessione disegnati in blu (quelli della Val d'Agri sono mostrati con linee tratteggiate grigie, come riferimento).	52
Figura 5.10. Sezioni verticali della sismicità lungo i profili A, B e C (mostrati in Figura 5.9), trasversali alle faglie principali che delimitano il giacimento della concessione Gorgoglione (indicate con le linee continue): TF-W e TF-E (Thrust fault W ed E, rispettivamente; F17: Faglia 17).	54
Figura 5.11. Sezioni verticali della sismicità lungo i profili D ed E (mostrati in Figura 5.9).	55
Figura 5.12. Sismicità registrata (a) nel Dominio Interno e (b) in tutto il Dominio Esteso della concessione Gorgoglione sopra la soglia di completezza calcolata ($M_c=0,4$); in entrambi i casi: grafico della magnitudo vs. tempo (sinistra-sopra), del numero giornaliero di eventi (sinistra-sotto), e del numero cumulato e momento sismico rilasciato cumulato (destra). Dati da gennaio 2021, ed evidenziato in rosso il periodo di riferimento di questo rapporto.	56
Figura 5.13. Valori delle misure di PGA e PGV nelle stazioni della rete integrata nei domini di monitoraggio in Basilicata, per eventi accaduti all'interno del (a) DI e (b) DE della concessione Gorgoglione	58
Figura 6.1. Posizione delle stazioni GNSS installate da ENI (cerchi rossi) e da TEPIT (cerchi blu) all'interno dei domini di monitoraggio di ciascuna concessione (rosso per Val d'Agri e blu per Gorgoglione). I cerchi gialli indicano le stazioni GNSS attive nella regione ed afferenti a diverse tipologie di reti pubbliche e private.	60
Figura 6.2. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione INN2 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso. La barra celeste indica l'epoca in cui è avvenuto un cambio strumentale.	62
Figura 6.3. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione TR04 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.	63
Figura 6.4. Campo di velocità orizzontale (freccette) nel sistema di riferimento locale Eurasia-fissa e verticale (cerchi colorati). Le stazioni ENI sono evidenziate in rosso e quelle TEPIT in blu. Le ellissi d'errore per le componenti orizzontali sono al livello di confidenza del 95%.	65
Figura 7.1. Esempio di una scheda di produzione distinta per pozzo.	70
Figura 7.2. Mappa della VA con le posizioni geografiche dei pozzi di produzione olio, gas e acqua (triangoli blu) e del pozzo di reiniezione CM2 (giallo). Le linee chiuse rappresentano il DI (rosso) e il DE (azzurro) di monitoraggio.	71
Figura 7.3. Produzione giornaliera di Olio, Gas e acqua dai pozzi della concessione VA per il periodo da gennaio ad ottobre 2024.	71
Figura 7.4. Produzione cumulativa in VA di olio, gas, acqua per il singolo pozzo (n° 1 - 34 vedi Figura 7.1), nel periodo da gennaio ad ottobre 2024..	72
Figura 7.5. Variazioni temporali di VIR e THP per il periodo 15/04/2024 – 15/10/2024	73
Figura 7.6. Decomposizione della Figura 7.4 (periodo di reiniezione: 15/04 - 15/10/2024): variazione temporale (codificato a colore) dei parametri (a) pressione testa pozzo THP e (b) volume del fluido iniettato VIR; (c) VIR vs THP; (d) presentazione 3D dei dati mostrati in (a) e (b); (e,f) istogramma 3D e 2D dei parametri THP e VIR.	74
Figura 7.7. Valori di produzione cumulativi a Gorgoglione per gas naturale (verde), gas propano liquido (nero) e petrolio (rosso) per il periodo dal 12/12/2019 al 30/09/2024.	75

Figura 8.1. Pagina web dedicata al progetto di monitoraggio in Basilicata pubblicata sul sito http://cms.ingv.it .	76
Figura 8.2. Schermata della home page della intranet interna della SPM e un esempio di bollettino mensile prodotto dal centro di Monitoraggio del Sottosuolo.	77
Figura A.0.1. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z=0$ km)	81
Figura A.0.2. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z=0$ km)	81
Figura A.0.3. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z=2$ km)	82
Figura A.0.4. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z=2$ km)	82
Figura A.0.5. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z=6$ km)	83
Figura A.0.6. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z=6$ km)	83
Figura A.0.7. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z=8$ km)	84
Figura A.0.8. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z=8$ km)	84
Figura A.0.9. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z=10$ km)	85
Figura A.0.10. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z=10$ km)	85
Figura A.0.11. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z=0$ km)	86
Figura A.0.12. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z=0$ km)	86
Figura A.0.13. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z=2$ km)	87
Figura A.0.14. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z=2$ km)	87
Figura A.0.15. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z=6$ km)	88
Figura A.0.16. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z=6$ km)	88
Figura A.0.17. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z=8$ km)	89
Figura A.0.18. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z=8$ km)	89
Figura A.0.19. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z=10$ km)	90
Figura A.0.20. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z=10$ km)	90
Figura A.0.21. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z=0$ km)	91

Figura A.0.22. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z= 0$ km)	91
Figura A.0.23. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z= 2$ km)	92
Figura A.0.24. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z= 2$ km)	92
Figura A.0.25. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z= 6$ km)	93
Figura A.0.26. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z= 6$ km)	93
Figura A.0.27. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z= 8$ km)	94
Figura A.0.28. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z= 8$ km)	94
Figura A.0.29. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z= 10$ km)	95
Figura A.0.30. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z= 10$ km)	95
Figura A.0.31. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z= 0$ km)	96
Figura A.0.32. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z= 0$ km)	96
Figura A.0.33. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z= 2$ km)	97
Figura A.0.34. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z= 2$ km)	97
Figura A.0.35. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z= 6$ km)	98
Figura A.0.36. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z= 6$ km)	98
Figura A.0.37. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z= 8$ km)	99
Figura A.0.38. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z= 8$ km)	99
Figura A.0.39. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde P ($z= 10$ km)	100
Figura A.0.40. Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi - Onde S ($z= 10$ km)	100
Figura B.0.1. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione AGR1 (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).	101
Figura B.0.2. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione CEF8 (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).	102

Figura B.0.3. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione CF34 (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).	103
Figura B.0.4. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione COST (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).	104
Figura B.0.5. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione GRUM (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).	105
Figura B.0.6. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione INN2 (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).	106
Figura B.0.7. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione MAE1 (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).	107
Figura B.0.8. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione ME10 (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).	108
Figura B.0.9. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione TEVE (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).	109
Figura B.0.10. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione TLMA (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).	110
Figura B.0.11. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione VOL1 (Val d'Agri) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).	111
Figura B.0.12. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione TR04 (Gorgoglione) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).	112
Figura B.0.13. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione TR05 (Gorgoglione) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto).	113
Figura B.0.14. Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione TR07 (Gorgoglione) in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (sopra), e di percentuale di	

- osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo (sotto). 114
- Figura D.0.1. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione AGR1 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso. 117
- Figura D.0.2. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione CEF8 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso. 118
- Figura D.0.3. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione CF34 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso. 119
- Figura D.0.4. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione COST nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso. 120
- Figura D.0.5. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione GRUM nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso. 121
- Figura D.0.6. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione MAE1 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso. 122
- Figura D.0.7. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione ME10 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso. 123
- Figura D.0.8. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione TEVE nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso. 124
- Figura D.0.9. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione TLMA nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso. 125
- Figura D.0.10. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione VIGG nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso. La barra celeste indica l'epoca in cui è avvenuto un cambio strumentale. 126
- Figura D.0.11. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione VOL1 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente

verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.	127
Figura D.0.12. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione TR05 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.	128
Figura D.0.13. Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione TR07 nel sistema di riferimento Eurasia-fisso per le componenti Est e Nord e in IGB14 per la componente verticale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) per gli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.	129
Figura E.0.1. Disponibilità del dato delle stazioni della rete ENI nel mese di Maggio 2024.	130
Figura E.0.2. Disponibilità del dato delle stazioni della rete ENI nel mese di Giugno 2024.	131
Figura E.0.3. Disponibilità del dato delle stazioni della rete ENI nel mese di Luglio 2024.	132
Figura E.0.4. Disponibilità del dato delle stazioni della rete ENI nel mese di Agosto 2024.	133
Figura E.0.5. Disponibilità del dato delle stazioni della rete ENI nel mese di Settembre 2024.	134
Figura E.0.6. Disponibilità del dato delle stazioni della rete ENI nel mese di Ottobre 2024.	135
Figura E.0.7. Disponibilità del dato delle stazioni della rete TEPIT nei mesi di Maggio e Giugno 2024.	136
Figura E.0.8. Disponibilità del dato delle stazioni della rete TEPIT nei mesi Luglio e Agosto 2024.	137
Figura E.0.9. Disponibilità del dato delle stazioni della rete TEPIT nei mesi di Settembre e Ottobre 2024.	138
Figura F.0.1. Profilo A - Concessione Val d'Agri.	139
Figura F.0.2. Profilo B - Concessione Val d'Agri.	140
Figura F.0.3. Profilo C - Concessione Val d'Agri.	140

Elenco delle tabelle

Tabella 3.1 Stazioni sismiche impiegate nel monitoraggio sismico in Basilicata, tranne la stazione ANZE che non è stata utilizzata per le analisi di questo report	12
Tabella 3.2. Stima della M_c nei diversi domini di monitoraggio in Basilicata utilizzando diversi metodi: metodo di massima curvatura (MaxC, Wiemer & Wyss 2000), il metodo di "Goodness of Fit" considerando la significatività al 90% (gft10) e 95% (gft5, Wiemer & Wyss 2000), e il metodo "Goodness of Fit modificato" (mgft, Leptokaropoulos et al. 2013). In blu si presentano i valori del parametro b della GR calcolato utilizzando il metodo di <i>maximum likelihood</i> di Aki (1965).	25
Tabella 4.1. Elenco delle stazioni GNSS installate per la concessione Val d'Agri con coordinate, data di installazione e strumentazione in uso.	30
Tabella 4.2. Elenco delle stazioni GNSS installate per la concessione Gorgoglione con coordinate, data di installazione e strumentazione in uso.	30
Tabella 4.3. Scala spaziale delle <i>wavelet</i> sferiche che indicano la semi-lunghezza d'onda del segnale ripro-dotto	33
Tabella 4.4. Tabella riassuntiva dei parametri di qualità per le acquisizioni disponibili delle stazioni ENI e TEPIT analizzate.	38
Tabella 5.1. Modello 1D a strati su semispazio per la velocità V_P utilizzato presso la Sala di monitoraggio CMS per l'elaborazione dei dati di sismicità nell'area di monitoraggio in Basilicata (da Improta et al., 2017). Si riporta il valore V_P in km/s corrispondente al top di ogni strato e del semispazio. Il rapporto V_P/V_S è fissato a 1.9.	41
Tabella 5.2. Percentuale della disponibilità dei dati delle stazioni della rete VA negli ultimi sei mesi.	42
Tabella 5.3. Percentuale della disponibilità dei dati delle stazioni della rete TP negli ultimi sei mesi.	42
Tabella 5.4. Riassunto del numero di eventi registrati nei domini di monitoraggio della concessione Val d'Agri (incluso il DR associato al pozzo di reiniezione Costa Molina 2), nel periodo di riferimento di questo rapporto.	43
Tabella 5.5. Riassunto del numero di eventi registrati nei domini di monitoraggio della concessione Gorgoglione, nel periodo di riferimento di questo rapporto.	51
Tabella 6.1. Velocità di spostamento nelle componenti Est (VE), Nord (VN), e verticale (VU) e relative incertezze (S_{VE} , S_{VN} e S_{VU}) in mm/anno per le stazioni ENI e TEPIT nel sistema di riferimento locale Eurasia-fissa per le componenti orizzontali.	66