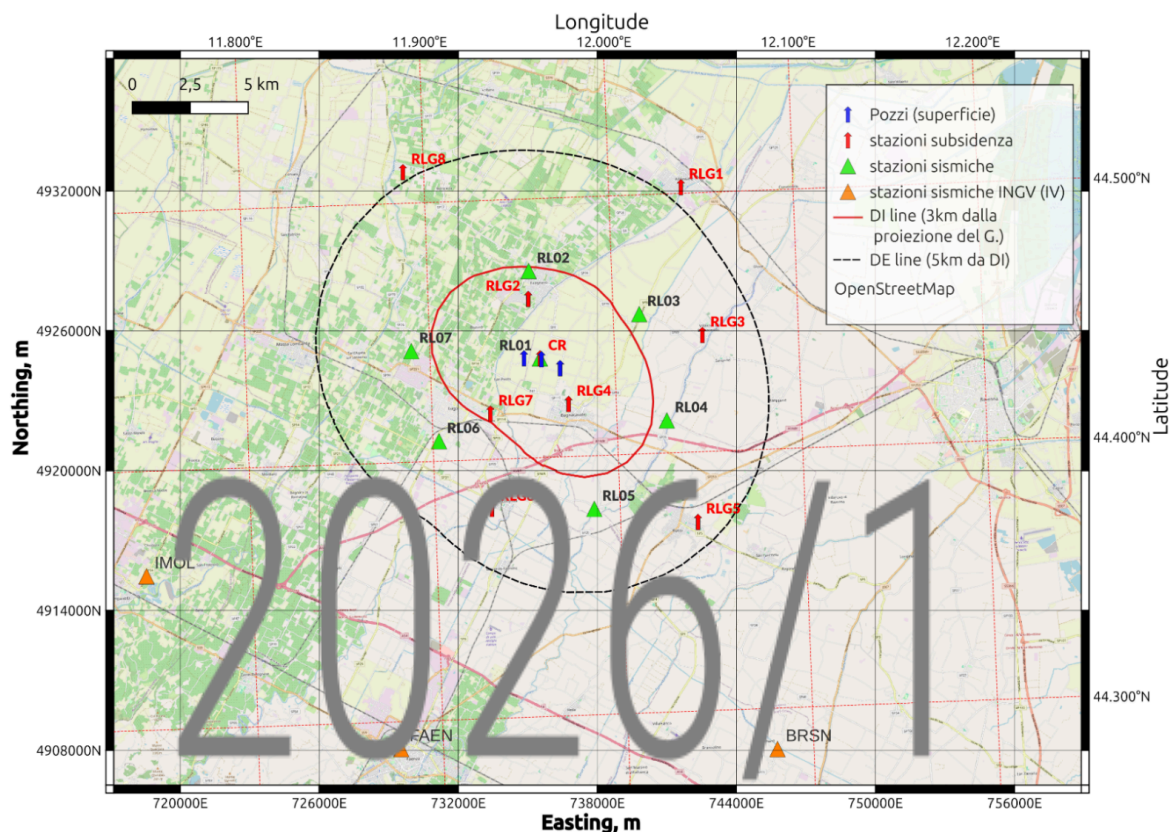


MASE, Regione Emilia Romagna,
Comune di Bagnacavallo, Comune di Lugo, INGV,
SOCIETA' PADANA ENERGIA S.R.L

ACCORDO QUADRO PER L'APPLICAZIONE DEGLI INDIRIZZI E LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO DELLA SISMICITA', DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO E DELLE PRESSIONI DI PORO – ALLA CONCESSIONE DI COLTIVAZIONE DI IDROCARBURI DENOMINATA LONGANESI

Responsabili di Progetto: Giuseppe Pezzo, Alexander Garcia, Gilberto Saccorotti

Autori: A. Garcia, G. Pezzo, L. Anderlini, E. Vitagliano, M. Errico, S. Baranello, A. Borghi, L. Elia,
L. Martelli, E. Serpelloni, M. D'Ambrosio, C. Tolomei, L. Beccaro, P. Zerbinato, G. Saccorotti, e
Gruppo di Lavoro del CMS*



*Gruppo di Lavoro del CMS			
<i>Sismologia</i>	<i>Servizi Informatici e pubblicazione dati</i>	<i>Deformazioni del Suolo & Pressioni di Poro</i>	<i>Comitato Direttivo</i>
Sofia Baranello Camilla Bidini Alessandra Borghi Marco Caciagli Simona Carannante Adriano Cavaliere Ezio D'Alema Michele D'Ambrosio Maddalena Errico Daniela Famiani Irene Molinari Luigi Passarelli Francesco Pintori Simone Salimbeni Maurizio Vassallo	Giampaolo Zerbinato Stefano Marino Paolo Perfetti Enrico Rocchetti Gianpaolo Sensale Simone Vecchi	Lisa Beccaro Letizia Elia Leonardo Martelli Marco Polcari Enrico Serpelloni Cristiano Tolomei Eleonora Vitagliano	Letizia Anderlini Mario Anselmi Thomas Braun Alexander Garcia Giuseppe Pezzo Lucia Zaccarelli <i>Coordinatore</i> Gilberto Saccorotti

Indice

Elenco Tabelle.....	4
Elenco Figure.....	5
Premessa.....	7
1 Parametri di Monitoraggio.....	10
2 Sismicità strumentale dell'area - Catalogo della Rete Nazionale.....	10
3 Monitoraggio sismico.....	11
3.1 Descrizione della rete sismica.....	11
3.2 Funzionamento della rete sismica 05/09/2025 - 05/03/2026.....	14
3.3 Monitoraggio della sismicità.....	15
3.3.1 Analisi dei dati nel periodo di monitoraggio: 06 settembre 2025 - 05 marzo 2026..	15
4 Monitoraggio delle deformazioni del suolo.....	18
4.1 Descrizione rete GNSS.....	18
4.2 Analisi di qualità dei dati GNSS.....	19
4.3 Elaborazione del dato GPS.....	26
4.4 Analisi dati InSAR.....	30
4.5 Analisi dati di livellazione.....	35
4.6 Analisi dati di temperatura, pressione, piezometrici e assestometrici.....	37
5. Dati di portata e pressione.....	40
6. Comunicazione e Disseminazione.....	41
7. Considerazioni conclusive.....	43
Appendice A: Aggiornamento sismicità strumentale.....	45
Glossario.....	46
Riferimenti Bibliografici.....	47

Elenco Tabelle

Tabella 1: Date relative alla approvazione e trasmissione dei documenti necessari a regolamentare il monitoraggio.....	7
Tabella 2: Date relative alle diverse fasi di trasmissione dati dal concessionario alla SPM.....	9
Tabella 3.1: Stazioni sismiche utilizzate nel monitoraggio della concessione Longanesi, la rete LF (inizialmente RL) è la rete locale gestita dal concessionario e si compone di 7 stazioni, la IV invece è la rete sismica nazionale gestita dall'INGV, dalla quale abbiamo selezionato le stazioni più prossime ai domini di monitoraggio.....	13
Tabella 3.2: Percentuali della disponibilità del dato per ogni stazione calcolate per il periodo di riferimento di questo rapporto.....	14
Tabella 3.3: Elenco degli eventi rilevati e localizzati grazie alla rete di monitoraggio della concessione Longanesi tra il 6 settembre 2025 ed il 5 marzo 2026. Ai fini del monitoraggio nell'area di riferimento, la zona immediatamente fuori del DE (in un buffer di altri 5km) è indicata come 'Dominio di Attenzione' (DA).....	16
Tabella 3.4: Valori massimi di PGA e PGV degli eventi rilevati e localizzati grazie alla rete di monitoraggio della concessione Longanesi tra il 6 settembre 2025 ed il 5 marzo 2026.....	16
Tabella 4.1: Caratteristiche delle stazioni GNSS installate per la concessione Longanesi in termini di coordinate, data di installazione, strumentazione in uso e tipologia di frequenze di acquisizione.....	19
Tabella 4.2: Informazioni generali sulla strumentazione. Tutti i valori di profondità sono riferiti al piano campagna che si trova a quota 8.36 m sopra il livello marino; il valore di segno negativo indica che è al di sotto del piano campagna.....	37
Tabella 5.1: Livelli produttivi distinti in base ai pozzi della concessione Longanesi.....	40
Tabella A.1: Aggiornamento dell'elenco dei terremoti strumentali presenti nel bollettino INGV che ricadono nell'area di studio (periodo di riferimento di questo report).....	45

Elenco Figure

Figura 2.1: Mappa della distribuzione dei terremoti che ricadono nell'area di interesse (rettangolo in verde), sia storici (relativi al periodo 1000-1985, rombi turchesi) che strumentali (dal 1985, cerchi rosa). Il contorno viola identifica il DI mentre quello arancione identifica il DE.....	11
Figura 3.1: Rete sismica e domini di monitoraggio Interno (DI) ed Esteso (DE) adottati attualmente per il monitoraggio della concessione Longanesi.....	12
Figura 3.2: Rappresentazione grafica del funzionamento delle 7 stazioni della rete LF. La registrazione del dato sismico è indicata dalla colorazione blu, la mancata colorazione indica la perdita di continuità del flusso di dati per malfunzionamento. Per l'analisi di questi dati è stata applicata una tolleranza di 120 s, le interruzioni inferiori a tale soglia, se presenti, non sono visibili in figura.....	14
Figura 3.3: Mappa degli epicentri calcolati per gli eventi nel periodo relativo a questo rapporto di monitoraggio e riportati in Tabella 3.3. I domini di monitoraggio sono rappresentati in rosso (DI, linea continua) ed in nero (DE, linea discontinua). Le stazioni sismiche della rete LF sono indicate con i triangoli neri.....	16
Figura 3.4: Localizzazione in profondità rispetto ai domini di monitoraggio.....	17
Figura 4.1: Percentuale di RINEX giornalieri forniti per ogni mese di acquisizione della stazione LONG.....	20
Figura 4.2: Percentuale di RINEX giornalieri forniti per ogni mese di acquisizione per ciascuna delle stazioni monofrequenza.....	21
Figura 4.3: Percentuale giornaliera di osservazioni satellitari presenti nei RINEX rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo per le stazioni RLG1, RLG2, RLG3 e RLG4.....	23
Figura 4.4: Percentuale giornaliera di osservazioni satellitari presenti nei RINEX rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo per le stazioni RLG5, RLG6, RLG7 e RLG8.....	24
Figura 4.5: Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione LONG in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (A) e di percentuale delle osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo di funzionamento effettivo giornaliero (B). Il box grigio indica i 6 mesi di dati da scartare e la barra verde un possibile cambio strumentale.....	25
Figura 4.6: Serie temporale di spostamento residua (punti blu) della stazione LONG dopo aver rimosso tutti termini di spostamento del modello funzionale analitico stimato per ciascuna componente (Est, Nord e verticale). Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) degli spostamenti e il parametro Slope indica le velocità a lungo termine stimate nel sistema di riferimento globale IGB20.....	27
Figura 4.7: Campo di velocità di spostamento ottenuto dall'analisi dei dati GPS per le componenti orizzontali (freccie grigie) nel sistema di riferimento locale Eurasia-fissa con ellissi di errore al 95%, e le corrispondenti componenti verticali, mostrate dai cerchi colorati secondo la palette in basso a destra. I domini di monitoraggio sono indicati in rosso e la posizione delle stazioni a singola frequenza sono rappresentati dai quadrati grigi.....	29
Figura 4.8: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 ad aprile 2026 lungo la linea di vista del satellite (orbita ascendente) calcolata dai dati SAR acquisiti dai satelliti della costellazione Sentinel-1. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi. Nella mappa sono riportati anche i domini di rilevazione interno ed esteso (DI e DE) per la concessione Longanesi, la posizione delle stazioni geodetiche GNSS presenti nell'area (triangoli) e quella dei cluster A, B e C (rombi).....	31
Figura 4.9: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 ad aprile 2026 lungo la linea di vista del satellite (orbita discendente) calcolata dai dati SAR acquisiti dai satelliti della costellazione Sentinel-1. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi. Nella mappa sono riportati anche i domini di rilevazione interno ed esteso (DI e DE) per la concessione Longanesi, la posizione delle stazioni geodetiche GNSS presenti nell'area (triangoli) e quella dei cluster A, B e C (rombi).....	32
Figura 4.10: Serie storica di spostamento del suolo (mm) in cui sono riportati gli spostamenti nel tempo lungo la linea di vista discendente del satellite Sentinel-1, calcolati in prossimità della stazione GNSS LONG. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi.....	32
Figura 4.11: Serie storica di spostamento del suolo (mm) in cui sono riportati gli spostamenti nel tempo lungo la linea di vista ascendente del satellite Sentinel-1, calcolati in prossimità della stazione GNSS LONG. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi.....	33
Figura 4.12: Serie storica di spostamento del suolo (mm) in cui sono riportati gli spostamenti nel tempo lungo la linea di vista discendente del satellite Sentinel-1, calcolati in prossimità cluster B. Valori negativi indicano	

allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi.....	33
Figura 4.13: Serie storica di spostamento del suolo (mm) in cui sono riportati gli spostamenti nel tempo lungo la linea di vista ascendente del satellite Sentinel-1, calcolati in prossimità cluster B. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi.....	33
Figura 4.14: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 ad aprile 2026 lungo la componente verticale calcolata dai dati SAR acquisiti dai satelliti della costellazione Sentinel-1. Valori negativi indicano subsidenza, viceversa per valori positivi. Nella mappa sono riportati anche i domini di rilevazione interno ed esteso (DI e DE) per la concessione Longanesi, la posizione delle stazioni geodetiche GNSS presenti nell'area (triangoli) e quella dei cluster A, B e C (rombi).....	34
Figura 4.15: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 ad aprile 2026 lungo la componente orizzontale (est-ovest) calcolata dai dati SAR acquisiti dai satelliti della costellazione Sentinel-1. Valori negativi indicano spostamenti verso ovest, viceversa per valori positivi. Nella mappa sono riportati anche i domini di rilevazione interno ed esteso (DI e DE) per la concessione Longanesi, la posizione delle stazioni geodetiche GNSS presenti nell'area (triangoli) e quella dei cluster A, B e C (rombi).....	35
Figura 4.16: Planimetria dei capisaldi e degli anelli di livellazione fornita dal Concessionario.....	36
Figura 4.17: Dati esportati da Oversite nel periodo 01/01/2025 – 28/02/2026, distinti in base agli strumento di acquisizione. I dati di pressione atmosferica (punti verdi) sono visibili assieme anche all'andamento della media mobile centrata, ottenuta con una finestra mobile di tre mesi.....	38
Figura 4.18: Confronto fra spostamento del suolo e variazione del livello della falda misurati: a) nella parte superficiale e b) profonda del terreno. Le due serie sono indicate rispettivamente in marrone (spostamento del suolo) e in azzurro (variazione della falda). Lo spostamento del suolo corrisponde al dato originale diminuito della serie acquisita con l'assestimento superficiale. La soglia di detezione indicata in b) corrisponde al valore -6.7 m ed equivale al limite di acquisizione del piezometro (cfr. testo per ulteriori dettagli).....	39
Figura 5.1: Pressione del gas (THP) e produzione lorda (Gas Vol., volume del gas) riferite, rispettivamente, al pozzo Longanesi 2dir e al campo di Longanesi nel periodo 12/05/2025 - 28/02/2026. Fase 1 e 2 indicano il primo e il secondo semestre di monitoraggio.....	41
Figura 6.1: Schermata della pagina internet del CMS dedicata al monitoraggio della concessione Longanesi. Il menù a sinistra permette di aprire le diverse sottopagine dedicate ai documenti e conterrà una voce dedicata alle relazioni.....	42

Premessa

La presente relazione descrive le attività svolte dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nell'ambito dell'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) alla concessione di coltivazione idrocarburi denominata "Longanesi" in Emilia Romagna.

Di seguito riportiamo una cronologia essenziale delle fasi che hanno portato alla stesura dei documenti che regolano il monitoraggio (**Tabella 1**) e dei passaggi di dati e informazioni utili ai fini del monitoraggio dal Concessionario all'INGV (**Tabella 2**).

Data	Documento
02 agosto 2024	Trasmissione Accordo Quadro (AQ) sottoscritto tra il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MaSE), Regione Emilia Romagna, comune di Bagnacavallo, comune di Lugo, INGV e per accettazione dal concessionario Padana Energia S.r.l. nel quale l'INGV viene nominato Struttura Preposta al Monitoraggio (SPM) per la concessione di coltivazione idrocarburi denominata Longanesi.
28 agosto 2024	Riunione di insediamento del comitato
23 ottobre 2024	Approvazione Regolamento di Funzionamento del Comitato e Protocollo Trasmissione Dati
26 febbraio 2025	Approvazione DGOM
05 marzo 2025	Firmato protocollo di intesa tra Società Padana Energia S.r.l e Comune
06 marzo 2025	Invio protocollo d'Intesa firmato tra Comune-SPM: inizio formale del monitoraggio
13 marzo 2025	Inizio Produzione

Tabella 1: Date relative alla approvazione e trasmissione dei documenti necessari a regolamentare il monitoraggio.

In questo secondo rapporto semestrale, si riportano i dati aggiornati circa la verifica della rispondenza delle reti di monitoraggio integrate ai requisiti dettati dagli ILG, sia per la rete sismica che per quella geodetica. Inoltre, vengono riportati i risultati del monitoraggio aggiornati al secondo semestre, ovvero dal 06/09/2025 al 05/03/2026.

Data	Dati trasmessi
31 maggio 2024	Trasmissione: ➤ Informazioni circa l'ubicazione, geometria e profondità del giacimento per la definizione dei domini di riferimento per il monitoraggio come da Indirizzi e Linee Guida (ILG). ➤ Ubicazione delle stazioni della rete sismica e geodetica ➤ Ubicazione dei piezometri e degli assestimetri ➤ Ubicazione pozzi di estrazione.
29 novembre 2024	Comunicazione indirizzi IP delle macchine INGV per l'accesso ai dati della rete sismica
13 dicembre 2024	Accesso ai dati microsismici
20 dicembre 2024	Trasmissione documenti grafici relativi ai domini e report semestrali di Seismix
23 gennaio 2025	Trasmissione report di Seismix relativo al IV trimestre 2024
07 marzo 2025	Trasmissione: ➤ Documento "PadanaEnergia_Longanesi_benchmark_description_IMAGEO" con le caratteristiche tecniche della strumentazione GNSS doppia frequenza utilizzata ➤ Relazione tecnica analisi dei dati radar satellitari mediante tecnologia SqueeSAR – analisi storica 2015-2022; ➤ File "Oversite_Access - INGV" con le credenziali per accedere ai dati real-time registrati per assestimetri e piezometri e relativo manuale di istruzioni "Manuale Oversight V1.1."; ➤ Credenziali di accesso ai dati realtime CGPS ed al relativo storico in formato RINEX ➤ n. 4 relazioni tecniche analisi dei dati radar satellitari mediante tecnologia SqueeSAR rispettivamente al giugno 2023, al dicembre 2023, al giugno 2024 ed al dicembre 2024; ➤ livellazione anno 2023 e 2024 ➤ profili di pressione e temperatura e misure con sensori di pozzo (memory gaugs) per i 5 pozzi della concessione.
08 marzo 2025	Trasmissioni credenziali di accesso alla cartella condivisa con il catalogo degli eventi registrati negli anni 2023 e 2024

30 aprile 2025	Trasmissione misure pressioni testa pozzo e volume di idrocarburi prodotti - mese di marzo 2025
29 maggio 2025	Trasmissione misure pressioni testa pozzo e volume di idrocarburi prodotti - mese di aprile 2025
25 giugno 2025	Trasmissione misure pressioni testa pozzo e volume di idrocarburi prodotti - mese di maggio 2025
14 luglio 2025	Trasmissione misure pressioni testa pozzo e volume di idrocarburi prodotti - mese di giugno 2025
25 agosto 2025	Trasmissione misure pressioni testa pozzo e volume di idrocarburi prodotti - mese di luglio 2025
19 settembre 2025	Trasmissione misure pressioni testa pozzo e volume di idrocarburi prodotti - mese di agosto 2025
21 ottobre 2025	Trasmissione misure pressioni testa pozzo e volume di idrocarburi prodotti - mese di settembre 2025
21 ottobre 2025	Trasmissione report di Seismix relativo al I e II trimestre 2025
20 novembre 2025	Trasmissione misure pressioni testa pozzo e volume di idrocarburi prodotti - mese di ottobre 2025 - rettifica
01 dicembre 2025	Trasmissione dati RINEX delle stazioni GNSS monofrequenza disponibili da inizio acquisizione (26-27 gennaio 2023)
09 dicembre 2025	Trasmissione misure pressioni testa pozzo e volume di idrocarburi prodotti - mese di novembre 2025 e profilo PT Longanesi 2 dir SC del 04.12.2025
16 gennaio 2026	Trasmissione misure pressioni testa pozzo e volume di idrocarburi prodotti - mese di dicembre 2025
20 febbraio 2026	Trasmissione misure pressioni testa pozzo e volume di idrocarburi prodotti del mese di gennaio 2026 e profilo PT Longanesi 3 dir SC del 10.02.2026
09 marzo 2026	Trasmissione misure pressioni testa pozzo e volume di idrocarburi prodotti - mese di febbraio 2026 ed aggiornamento gennaio 2026

Tabella 2: Date relative alle diverse fasi di trasmissione dati dal concessionario alla SPM.

1 Parametri di Monitoraggio

Gli ILG (Dialuce et al., 2014) prescrivono la redazione, ad opera del Comitato, di un Documento di Gestione Operativa del Monitoraggio (DGOM) nel quale vengono indicati i parametri utili al monitoraggio di ogni singola concessione. In prima applicazione del DGOM, vengono adottati i parametri riportati dagli ILG stessi al cap.9, in cui vengono definite le modalità di monitoraggio per le deformazioni del suolo, la pressione di poro e l'attività sismica nella zona interessata dalle operazioni. Mentre per le deformazioni del suolo e le pressioni di poro il monitoraggio mira a identificare eventuali variazioni spazio-temporali di medio-lungo periodo rispetto a dei valori di fondo (*background*), per la sismicità il monitoraggio consiste in un controllo in tempo quasi-reale (entro 24/48 ore) degli eventi sismici avvenuti nei domini di interesse. Sulla base della sismicità rilevata si definisce lo stato di allerta seguendo uno schema di livelli di attivazione (sistema a semaforo, *Traffic Light System TLS*) a cui corrispondono ben determinati limiti di operatività/produttività all'interno della concessione ai fini di limitare il verificarsi di eventi sismici di origine antropica. La definizione del sistema a semaforo è soggetta a regolamentazioni nazionali o regionali e si basa sui seguenti parametri:

- Domini di monitoraggio
- Parametri sismici osservabili
- Livelli e colori di allerta

I parametri del monitoraggio, i domini di riferimento ed il sistema decisionale a semaforo per la concessione Longanesi sono stati definiti nel documento di gestione operativa del monitoraggio (DGOM versione 1 del 17/02/2025) disponibile sul sito del ministero all'indirizzo: <https://unmig.mase.gov.it/wp-content/uploads/allegati/documento-di-gestione-operativa-del-monitoraggio-DGOM-concessione-LONGANESI.pdf> e sul sito INGV-CMS (<https://cms.ingv.it/monitoraggi/longanesi>) all'indirizzo: https://cms.ingv.it/images/documento-di-gestione-operativa-del-monitoraggio-DGOM-concessione-LONGANESI_web.pdf.

2 Sismicità strumentale dell'area - Catalogo della Rete Nazionale

L'analisi della sismicità della zona di interesse, compresa tra Lat 44.251–44.614 e Lon 11.741–12.194, corrispondente all'incirca all'area inclusa tra Argenta e Forlì, in direzione Nord-Sud, e tra Ravenna e Imola in direzione Est-Ovest (**Figura 2.1**), è stata aggiornata integrando i dati strumentali più recenti con il quadro storico già definito nel precedente report.

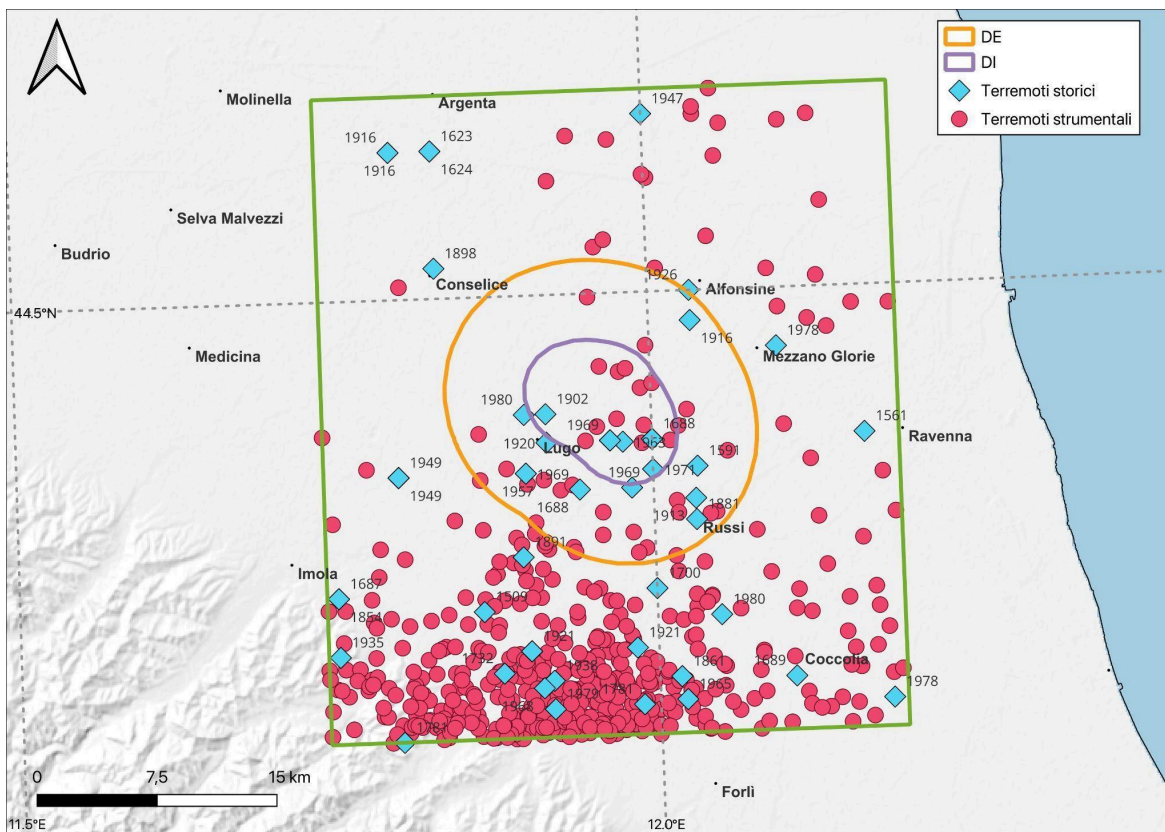


Figura 2.1: Mappa della distribuzione dei terremoti che ricadono nell'area di interesse (rettangolo in verde), sia storici (relativi al periodo 1000-1985, rombi turchesi) che strumentali (dal 1985, cerchi rosa). Il contorno viola identifica il DI mentre quello arancione identifica il DE.

Il catalogo INGV della sismicità strumentale recente (dal 1985 ad oggi), riporta 5 eventi aggiuntivi rispetto a quanto già descritto nel precedente rapporto; i parametri ipocentrali di questi eventi sono riportati in **Tabella A.1** dell'Appendice A, e integrati nella mappa epicentrale complessiva di **Figura 2.1**. Si rammenta infine che, ai fini dell'effettiva collocazione all'interno dei domini del monitoraggio, è comunque necessario considerare anche la rispettiva profondità ipocentrale, pur se nei limiti di precisione delle localizzazioni strumentali.

3 Monitoraggio sismico

3.1 Descrizione della rete sismica

In accordo con quanto disposto al cap. 5.3, punto 4 degli ILG, la SPM acquisisce in tempo reale presso la Sala di Monitoraggio del CMS i dati in continuo della rete sismica installata dal concessionario e di tutte le reti pubbliche presenti nell'area.

Allo stato attuale il monitoraggio sismico all'interno dei domini della concessione Longanesi viene realizzato mediante una rete composta da 10 stazioni sismiche: 7 appartengono alla rete sismica del concessionario (LF) e 3 alla rete sismica nazionale (IV) gestita dall'INGV. Tutte le stazioni operano in continuo, e sono equipaggiate con velocimetri (6 a corto periodo ed uno a banda larga) e accelerometri, temporizzate con GPS, ed acquisiscono a 200 campioni al secondo (passo di 0.005s) per ogni canale.

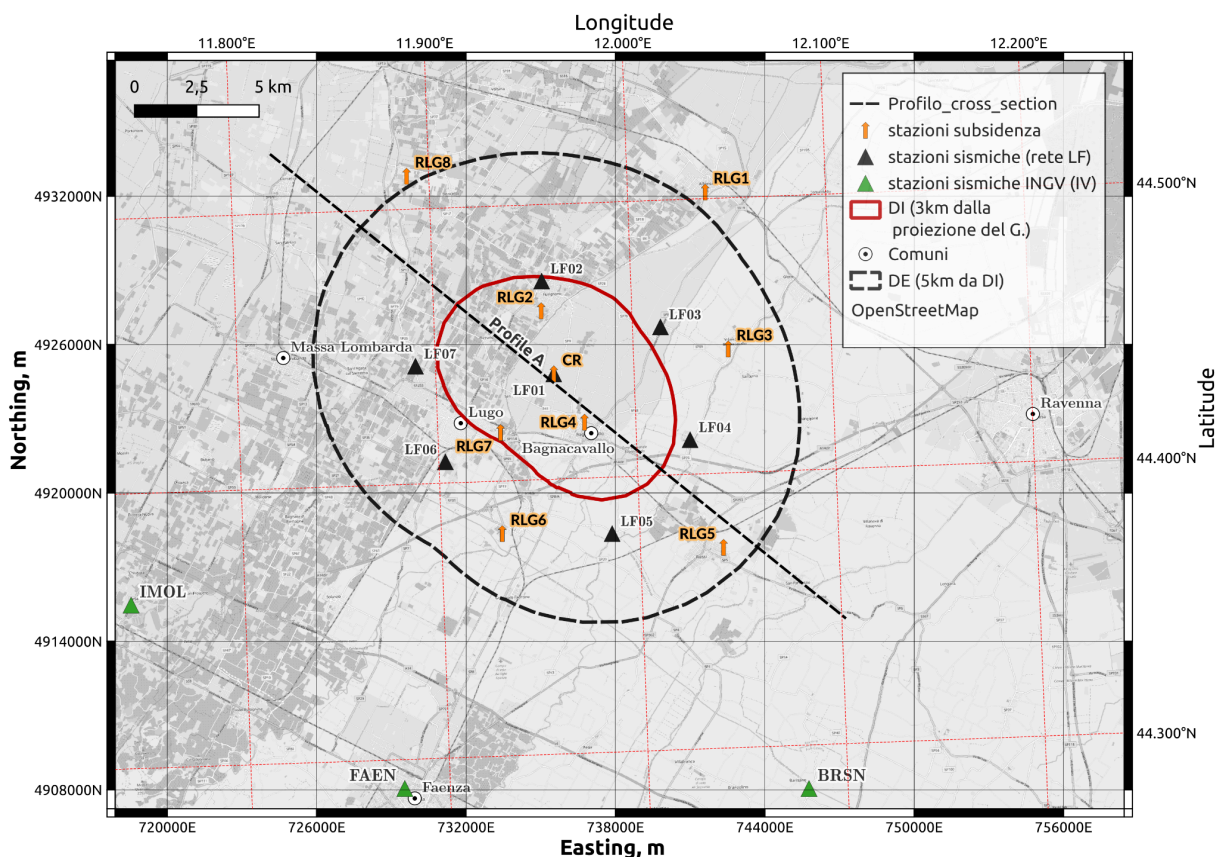


Figura 3.1: Rete sismica e domini di monitoraggio Interno (DI) ed Esteso (DE) adottati attualmente per il monitoraggio della concessione Longanesi.

L'elenco completo è riportato in **Tabella 3.1** e la loro posizione è visibile nella mappa di **Figura 3.1**.

Rete*	Codice Stazione	Longitude [°N]	Latitudine [°E]	Sensori
LF	LF01	11.9595	44.4383	Sismometro ' <i>corto periodo</i> ', e accelerometro
LF	LF02	11.9551	44.4722	Sismometro ' <i>corto periodo</i> ', e accelerometro
LF	LF03	12.0141	44.4540	Sismometro ' <i>corto periodo</i> ', e accelerometro
LF	LF04	12.0270	44.4126	Sismometro ' <i>corto periodo</i> ', e accelerometro
LF	LF05	11.9860	44.3795	Sismometro: - ' <i>banda larga</i> ' (dall'inizio al 18/10/2023) - ' <i>corto periodo</i> ' (dal 19/10/2023 al 14/04/2025) - ' <i>banda larga</i> ' (da 15/04/2025 ad oggi) e accelerometro
LF	LF06	11.9033	44.4078	Sismometro ' <i>corto periodo</i> ', e accelerometro
LF	LFL07	11.8899	44.4429	Sismometro ' <i>corto periodo</i> ', e accelerometro
IV	BRSN	12.0802	44.2842	Sismometro ' <i>corto periodo</i> ', e accelerometro
IV	FAEN	11.8770	44.2895	Accelerometro
IV	IMOL	11.7425	44.3596	Sismometro ' <i>corto periodo</i> ', e accelerometro

Tabella 3.1: Stazioni sismiche utilizzate nel monitoraggio della concessione Longanesi, la rete LF (inizialmente RL) è la rete locale gestita dal concessionario e si compone di 7 stazioni, la IV invece è la rete sismica nazionale gestita dall'INGV, dalla quale abbiamo selezionato le stazioni più prossime ai domini di monitoraggio.

3.2 Funzionamento della rete sismica 05/09/2025 - 05/03/2026

Considerando il dataset a disposizione della SPM, tra settembre 2025 e marzo 2026 le 7 stazioni della rete LF hanno acquisito costantemente, come visibile in **Figura 3.2** dove viene mostrata la disponibilità dei dati per ogni stazione per tutto il periodo con una soglia di tolleranza per i gap fissata a 120 s.

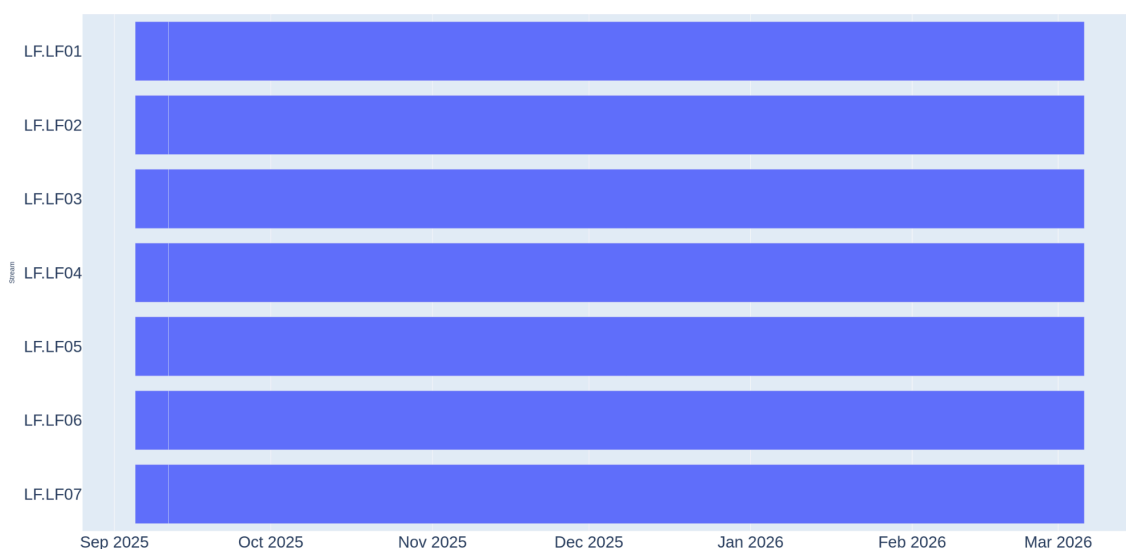


Figura 3.2: Rappresentazione grafica del funzionamento delle 7 stazioni della rete LF. La registrazione del dato sismico è indicata dalla colorazione blu, la mancata colorazione indica la perdita di continuità del flusso di dati per malfunzionamento. Per l'analisi di questi dati è stata applicata una tolleranza di 120 s, le interruzioni inferiori a tale soglia, se presenti, non sono visibili in figura.

La **Tabella 3.2** riporta la percentuale di dato acquisito per ogni stazione nel periodo di riferimento di questo rapporto. Nel complesso si osserva un corretto funzionamento delle stazioni, con percentuali di acquisizione superiori alla soglia del 95% indicata nella raccomandazione f) degli ILG (cap. 5.3 e riportata all'inizio di questa sezione).

	LF01	LF02	LF03	LF04	LF05	LF06	LF07
09/2025-03-2026	97.5%	99.2%	99.2%	97.5%	97.6%	99.2%	97.5%

Tabella 3.2: Percentuali della disponibilità del dato per ogni stazione calcolate per il periodo di riferimento di questo rapporto.

3.3 Monitoraggio della sismicità

Per le procedure di analisi il CMS utilizza il software *SeisComP* (<https://www.seiscomp.de/>) che permette un'analisi automatica del segnale sismico sia in tempo reale che differito. *SeisComP* è stato sviluppato appositamente per un uso in sala di monitoraggio. I segnali continui sono soggetti ad una prima procedura di discriminazione di eventi sismici, che sono successivamente localizzati automaticamente. Questo insieme di localizzazioni automatiche è poi revisionato manualmente su base giornaliera da un analista sismologo, per la creazione del catalogo definitivo. Per la localizzazione dei terremoti in questa zona abbiamo scelto il codice Hypo71 (Lee e Lahr, 1975), associato ad un modello di velocità sismica per quest'area fornito dal Concessionario (Rossi et al., 2022), ed adottato per il monitoraggio nel DGOM.

Per il calcolo della magnitudo locale consideriamo la relazione di Bakun e Joyner (1984), in questo Report contrassegnata con la notazione $MLbj$:

$$MLbj = \log A + \log(R/100) + 0.00301 (R-100) + 3.0$$

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.

Si ricorda che i segnali registrati alle stazioni della rete LF vengono processati in modo automatico e in tempo reale insieme a quelli registrati ad alcune stazioni selezionate dalla rete IV come da rete sismica integrata (elencata in **Tabella 3.1** e mostrata in **Figura 3.1**).

3.3.1 Analisi dei dati nel periodo di monitoraggio: 06 settembre 2025 - 05 marzo 2026

Nel periodo di riferimento di questo rapporto, le analisi condotte dalla SPM sui dati prodotti dalla rete sismica integrata descritta alla precedente sezione 3.1, non ha rilevato nessun evento sismico all'interno dei domini di monitoraggio.

Un solo evento ha avuto epicentro interno alla proiezione in superficie del DI (**Figura 3.3**), ma ad una profondità (12 km), e quindi esterno ai domini di monitoraggio (**Tabella 3.3**). La **Tabella 3.4** mostra i valori di Peak Ground Velocity (PGV) e Peak Ground Acceleration (PGA) rilevati per questo evento, con indicazione della stazione sismica e la componente (verticale, N-S, o E-W) alla quale il valore massimo è stato identificato. La **Figura 3.3** mostra la localizzazione epicentrale dell'evento, mentre la **Figura 3.4** mostra la localizzazione in profondità rispetto ai domini di monitoraggio.

Inoltre, il 13 gennaio 2026 si sono verificati due terremoti in provincia di Ravenna, entrambi di magnitudo superiore a 4.0. Il primo evento è avvenuto alle ore 08:27 UTC, seguito da un secondo a distanza di meno di due minuti. Questi eventi sono stati localizzati esternamente al

DE di entrambe le aree di monitoraggio di Longanesi e San Potito – Cotignola Stoccaggio (v. **Tabella A.1** in appendice).

ID	Data	Ora (UTC)	Latitude	Longitude	Incertezza orizz., (km)	Profondità (± incertezza), km	MLbj (± incertezza)	Num. di fasi	RMS	Dominio ipocentrale	Dominio epicentrale	Comune
1	2026-03-04	20:36:54	44,4398	11,9665	0,8	12,0 +/-0.6	1.6 +/- 0.3	11	013	DA	DI	Ravenna

Tabella 3.3: Elenco degli eventi rilevati e localizzati grazie alla rete di monitoraggio della concessione Longanesi tra il 6 settembre 2025 ed il 5 marzo 2026. Ai fini del monitoraggio nell’area di riferimento, la zona immediatamente fuori del DE (in un buffer di altri 5km) è indicata come ‘Dominio di Attenzione’ (DA).

ID	Data	Ora (UTC)	Magnitudo (+/- errore)	PGA (m/s^2)	Stazione.canale (misura PGA)	PGV (m/s)	Stazione.canale (misura PGV)	Dominio ipocentrale
1	2026-03-04	20:36:54	1.6 +/- 0.3	1,91E-03	LF01.EHN	2,63E-05	LF01.EHN	DA

Tabella 3.4: Valori massimi di PGA e PGV degli eventi rilevati e localizzati grazie alla rete di monitoraggio della concessione Longanesi tra il 6 settembre 2025 ed il 5 marzo 2026.

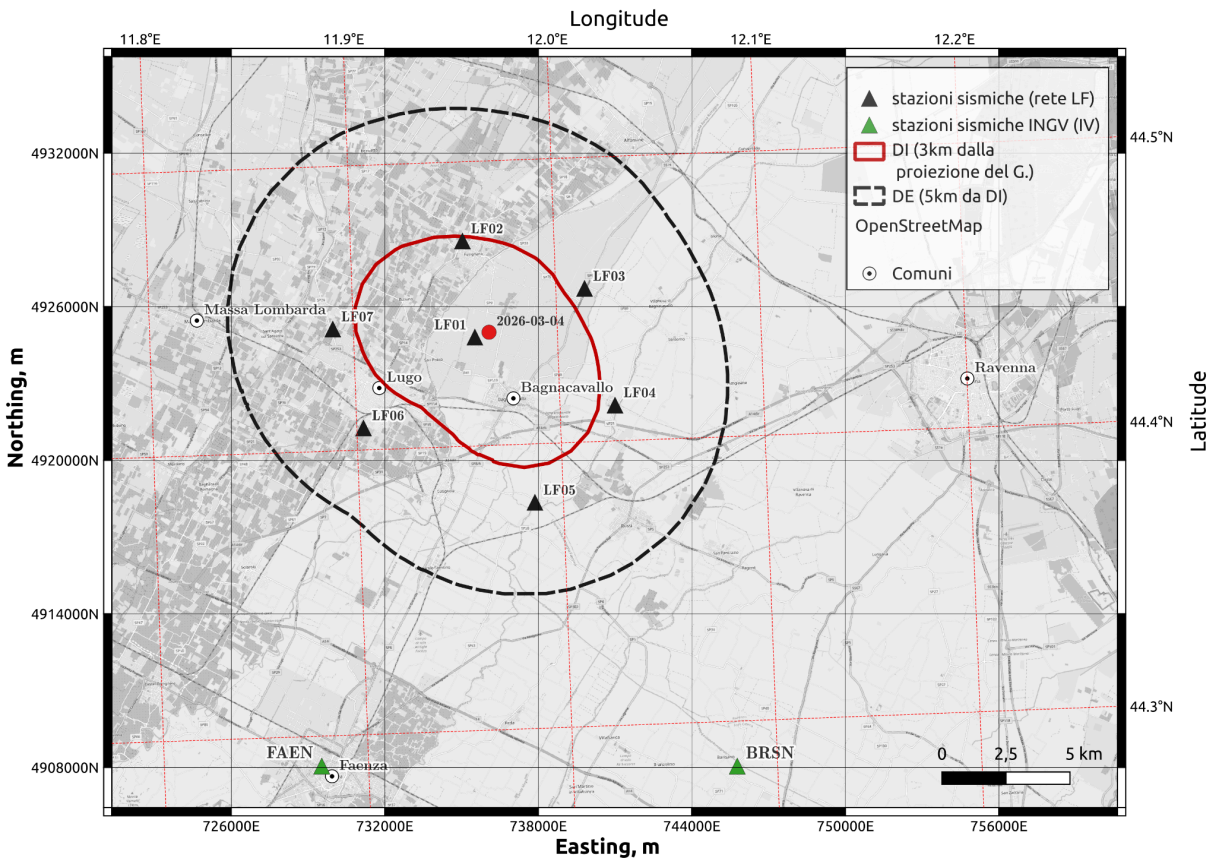


Figura 3.3: Mappa degli epicentri calcolati per gli eventi nel periodo relativo a questo rapporto di monitoraggio e riportati in **Tabella 3.3**. I domini di monitoraggio sono rappresentati in rosso (DI, linea continua) ed in nero (DE, linea discontinua). Le stazioni sismiche della rete LF sono indicate con i triangoli neri.

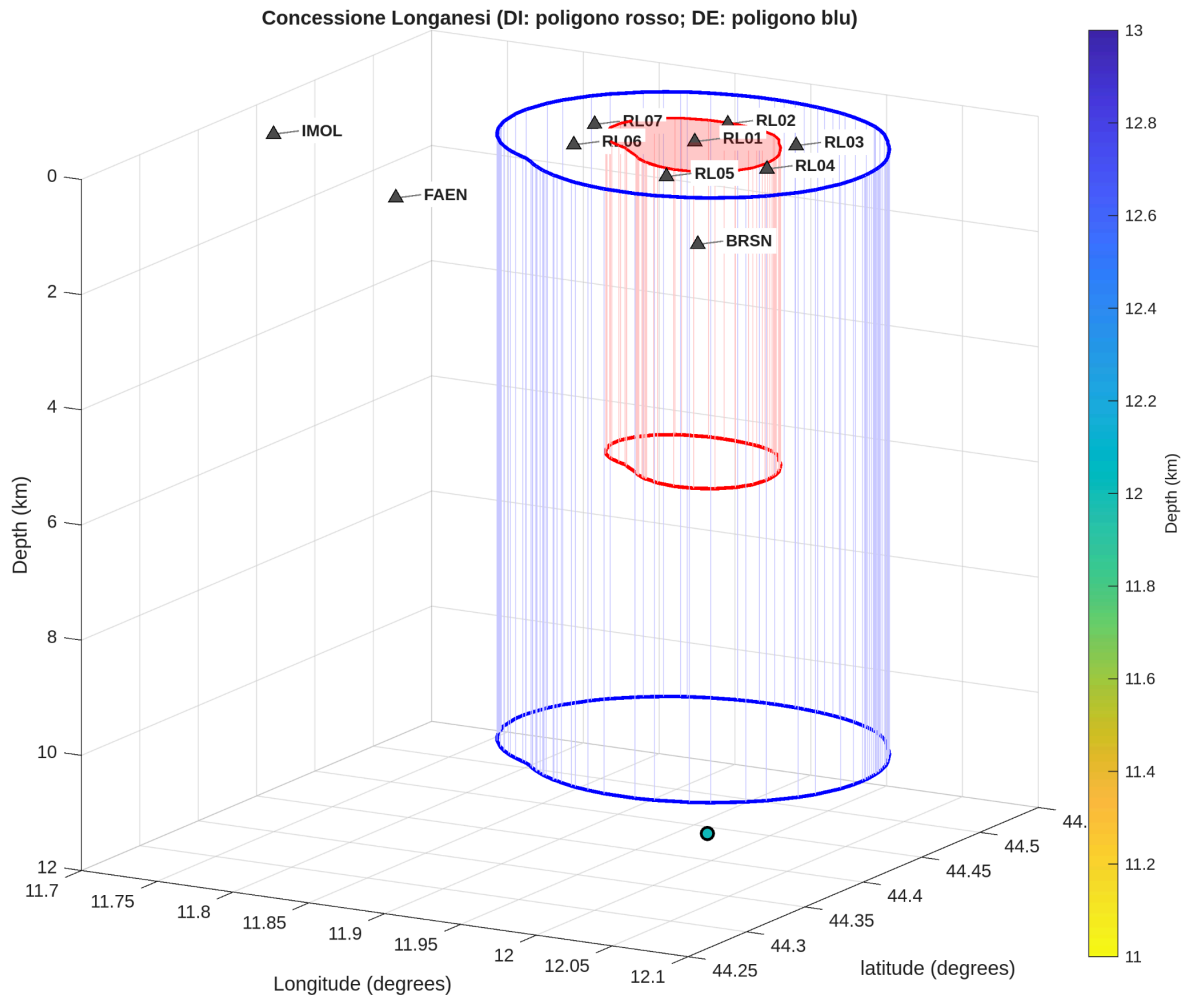


Figura 3.4: Localizzazione in profondità rispetto ai domini di monitoraggio.

4 Monitoraggio delle deformazioni del suolo

In questo capitolo sono descritte le reti e le tecniche di monitoraggio geodetico previsto per il monitoraggio della deformazione per la concessione di Longanesi, in funzione delle informazioni fornite dal concessionario (v. Premessa). La descrizione della rete GNSS (*Global Navigation Satellite System*) in termini di posizione e monumentazione, alla luce delle indicazioni previste dagli ILG, è stata effettuata nella prima relazione semestrale. Nel presente documento viene fornita un'analisi aggiornata della qualità dei dati e dell'elaborazione del dato GPS (*Global Positioning System*). Per quanto riguarda i dati SAR (*Synthetic Aperture Radar*), nella prima relazione semestrale sono stati riportati i risultati delle analisi effettuate da TRE ALTAMIRA per conto del concessionario relativi all'analisi storica del dataset Sentinel-1 e i relativi aggiornamenti per gli anni 2023 e 2024. Qui, saranno mostrati gli aggiornamenti relativi alle elaborazioni InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) del dataset Sentinel-1 effettuato dalla SPM, ad aprile 2026. Per quanto concerne i dati di livellazione relativi, non risultano aggiornamenti rispetto alle campagne di misura del 2023 e 2024 già fornite dal concessionario. Verranno riportate quindi le informazioni relative alla geometria della livellazione e alla qualità dei dati descritte nella prima relazione di monitoraggio della SPM (Report 2025/1).

4.1 Descrizione rete GNSS

Al cap. 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 GNSS 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 GNSS è raccomandata la presenza di *“una rete GPS [più in generale GNSS, ndr.] 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 una 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”*.

Per la concessione di Longanesi la rete di monitoraggio geodetico consta di una stazione permanente a doppia frequenza (portanti L1 e L2) e co-locata con la stazione sismica LF01, e di 8 stazioni permanenti a singola frequenza (portante L1), le cui coordinate di posizione e caratteristiche tecniche sono riportate in **Tabella 4.1**. La stazione GNSS a doppia frequenza (LONG) non risulta co-locata in corrispondenza di una stazione sismica a banda larga della rete di monitoraggio, come richiesto negli ILG. Tuttavia, la stazione GNSS è stata ubicata al centro del giacimento in modo da risultare baricentrica rispetto alle stazioni a singola frequenza per

ottimizzare le misure, mentre la stazione microsismica a banda larga è stata invece ubicata nella posizione RL05 (ora FL05) in quanto durante le misure di rumore antecedenti la realizzazione della rete è stata individuata dal concessionario come migliore da tale punto di vista.

Nome sito	Lon. (°E)	Lat. (°N)	Quota (m)	Data installazione	Antenna	Ricevitore	Frequenza/e di acquisizione
LONG	11.9595	44.4383	50	31/03/2023	TRIMBLE ALLOY	TRIMBLE TRM55971.00	Doppia
RLG1	12.0392	44.5024	44.16	26/01/2023	Tallysman TW3740	U-BLOX NEO M8T	Singola
RLG2	11.9543	44.4614	46.66	27/01/2023	Tallysman TW3740	U-BLOX NEO M8T	Singola
RLG3	12.0479	44.4451	42.39	26/01/2023	Tallysman TW3740	U-BLOX NEO M8T	Singola
RLG4	11.9741	44.4204	48.38	27/01/2023	Tallysman TW3740	U-BLOX NEO M8T	Singola
RLG5	12.0418	44.3730	47.07	27/01/2023	Tallysman TW3740	U-BLOX NEO M8T	Singola
RLG6	11.9306	44.3809	55.98	27/01/2023	Tallysman TW3740	U-BLOX NEO M8T	Singola
RLG7	11.9316	44.4177	51.11	26/01/2023	Tallysman TW3740	U-BLOX NEO M8T	Singola
RLG8	11.8888	44.5121	42.79	26/01/2023	Tallysman TW3740	U-BLOX NEO M8T	Singola

Tabella 4.1: Caratteristiche delle stazioni GNSS installate per la concessione Longanesi in termini di coordinate, data di installazione, strumentazione in uso e tipologia di frequenze di acquisizione.

4.2 Analisi di qualità dei dati GNSS

Per ottenere misure di precisione per scopi geofisici in teoria è necessario che la stazione 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. Nel caso di presenza nelle vicinanze della stazione di superfici riflettenti, l'antenna dovrebbe essere posizionata al di sopra di queste per ridurre il *multipath* (segnale satellitare riflesso indesiderato che riduce la precisione del GPS).

Per valutare la qualità delle acquisizioni geodetiche giornaliere (*file RINEX*) delle stazioni che compongono la rete di monitoraggio sono state eseguite le seguenti analisi:

1. percentuale dei RINEX giornalieri disponibili per ciascun mese di acquisizione (**Figure 4.1 e 4.2**) e valori medi riportati in **Tabella 4.2**;

2. percentuale di osservazioni satellitari presenti nei RINEX rispetto alle osservazioni attese nello stesso intervallo di tempo giornaliero durante il quale la stazione è stata funzionante;
3. 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 il valore quadratico medio (*Root Mean Square*) del multipath su ciascuna portante per la stazione a doppia frequenza LONG.

L'esito dell'analisi del punto 1 è mostrato nelle **Figure 4.1** e **4.2** e l'intervallo temporale dei dati considerato va dal primo giorno di acquisizione (**Tabella 4.1**) fino a fine marzo 2026 per la stazione LONG e fino al 23 febbraio 2026 per le stazioni mono-frequenza, data dell'ultimo RINEX disponibile. Da queste figure si può osservare come tutte le stazioni mostrano un'ottima continuità del dato per il periodo di acquisizione, con le percentuali medie di dati giornalieri riportati in **Tabella 4.1**.

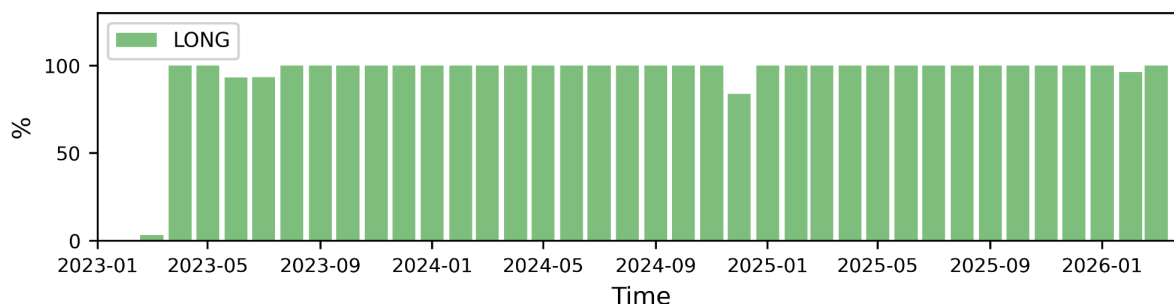


Figura 4.1: Percentuale di RINEX giornalieri forniti per ogni mese di acquisizione della stazione LONG.

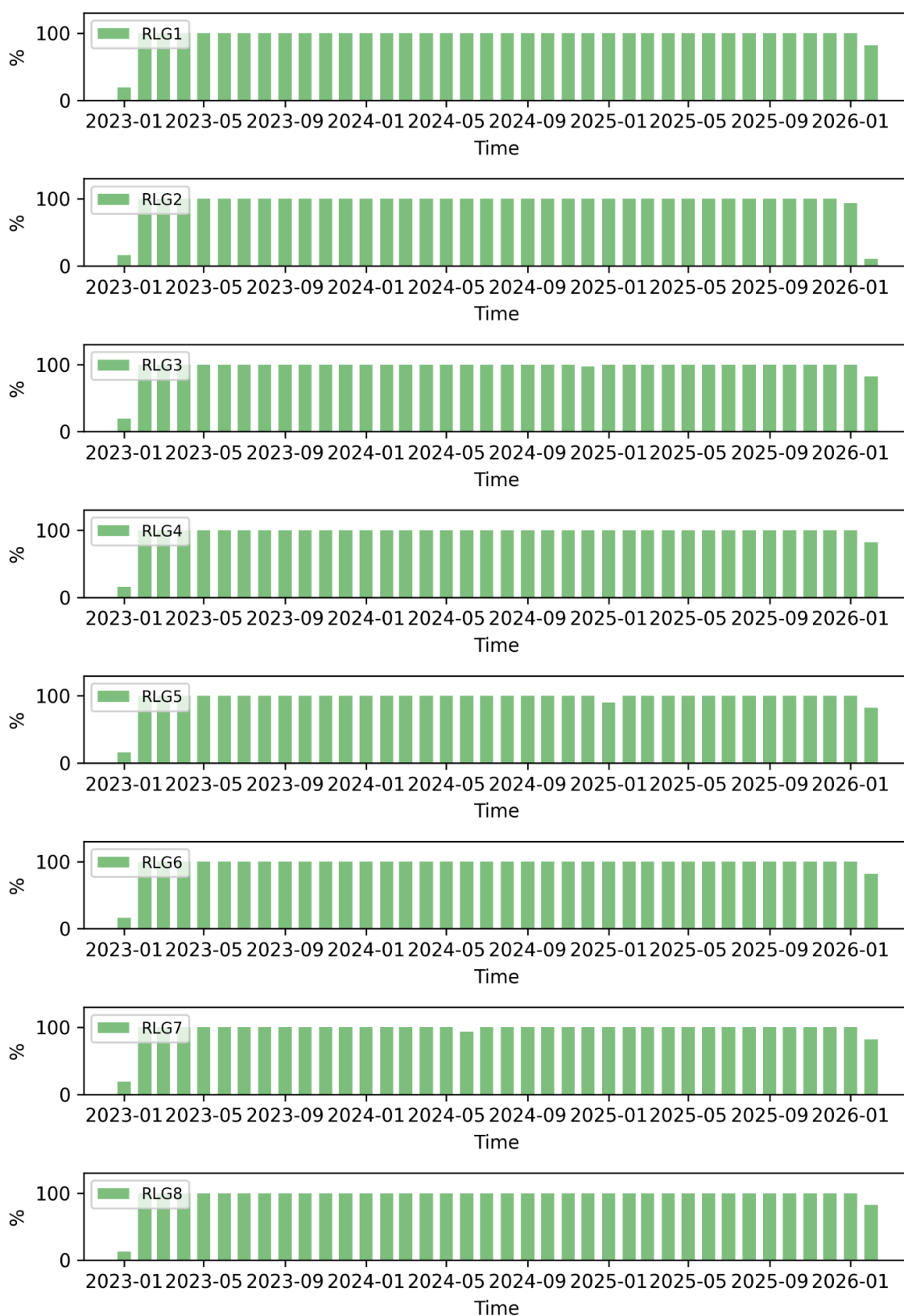


Figura 4.2: Percentuale di RINEX giornalieri forniti per ogni mese di acquisizione per ciascuna delle stazioni monofrequenza.

	LONG	RLG1	RLG2	RLG3	RLG4	RLG5	RLG6	RLG7	RLG8
% Daily rinex	99.1	100	98	99.9	100	99.7	100	99.8	99.8
% sat. observ	88.9	80.2	80.3	80.5	88.3	75.8	87.6	76.7	86.8

Tabella 4.1: Percentuali medie per ciascuna stazione GNSS di: 1- RINEX acquisiti rispetto l'intero periodo di acquisizione; 2- osservazioni satellitari giornaliere

L'analisi riguardante il punto 2, ossia la percentuale di acquisizioni satellitari presenti nei RINEX di ciascuna stazione rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo temporale giornaliero di funzionamento, permette di valutare se ogni stazione è posizionata correttamente in modo da avere sufficiente visibilità per ottenere una buona accuratezza delle misure di posizione giornaliere. Per quest'analisi sono state considerate tutte le osservazioni satellitari al di sopra di un angolo di elevazione dal piano orizzontale pari a 10° (*cutoff*) e l'andamento giornaliero viene mostrato nelle **Figure 4.3** e **4.4** per ciascuna stazione mono-frequenza e in **Figura 4.5A** per la stazione LONG. I rispettivi valori mediati su tutto l'intervallo temporale di acquisizione sono riportati in **Tabella 4.1** (per LONG sono stati scartati i primi 6 mesi). Per stazioni GNSS di elevata qualità generalmente si considera che al di sopra dell'angolo di *cutoff* le acquisizioni debbano avere valori tra il 95% e il 100%. Da questi risultati si può osservare come alcune stazioni monofrequenza (tipo RLG1, RLG2, RLG3, RLG5 e RLG7) risentono della presenza di elementi che ostruiscono parzialmente la visuale avendo percentuali medie che sono tra il 75% e l'80%, inficiando quindi la qualità delle acquisizioni. Inoltre alcune stazioni mostrano anche andamenti di peggioramento nel tempo, come RLG2 e RLG6, e andamenti stagionali evidenti, come RLG3, RLG5 e RLG7, che potrebbero essere dovuti alla presenza di vegetazione che diminuisce ulteriormente la visuale.

Daily % of satellite observations

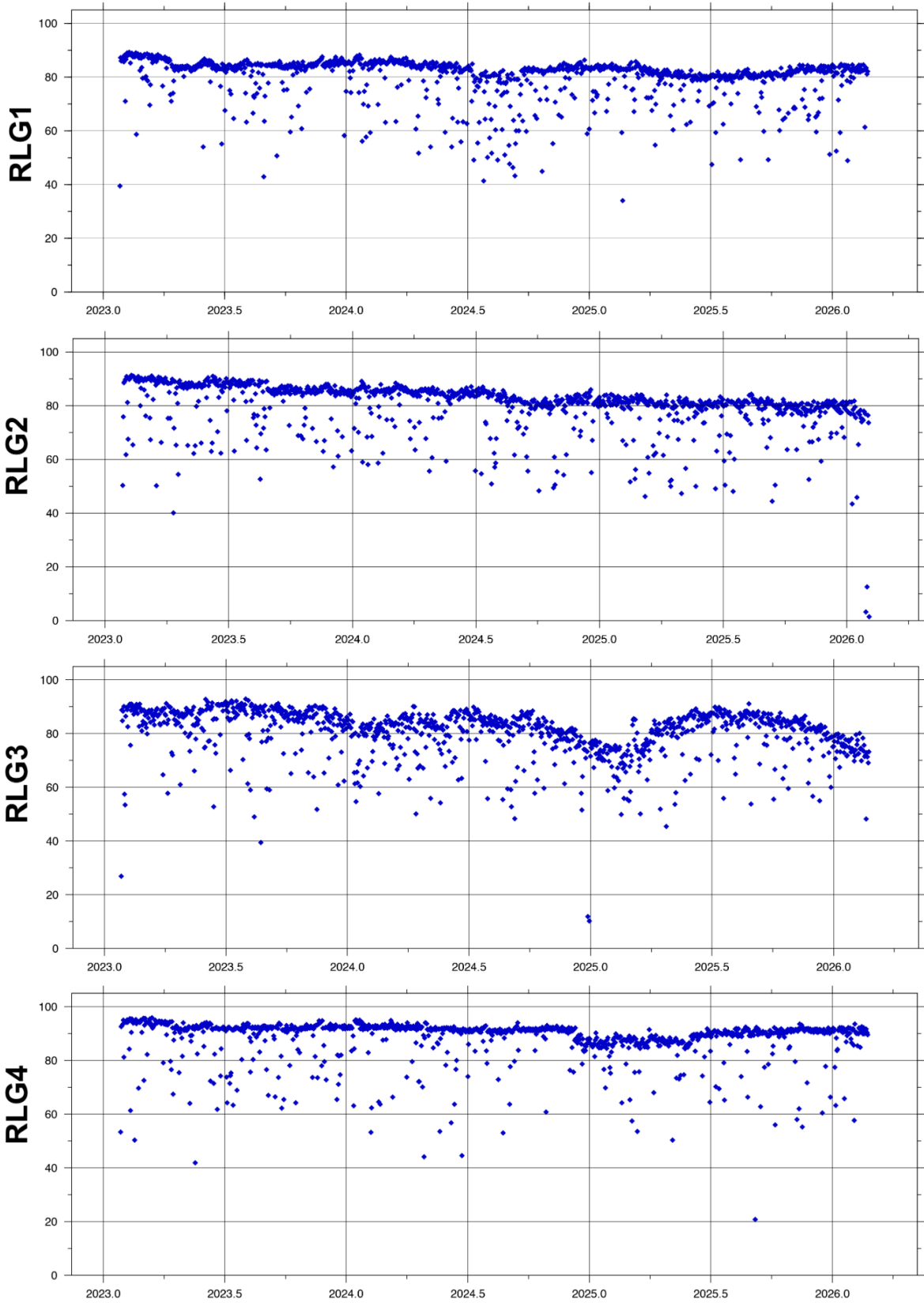


Figura 4.3: Percentuale giornaliera di osservazioni satellitari presenti nei RINEX rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo per le stazioni RLG1, RLG2, RLG3 e RLG4

Daily % of satellite observations

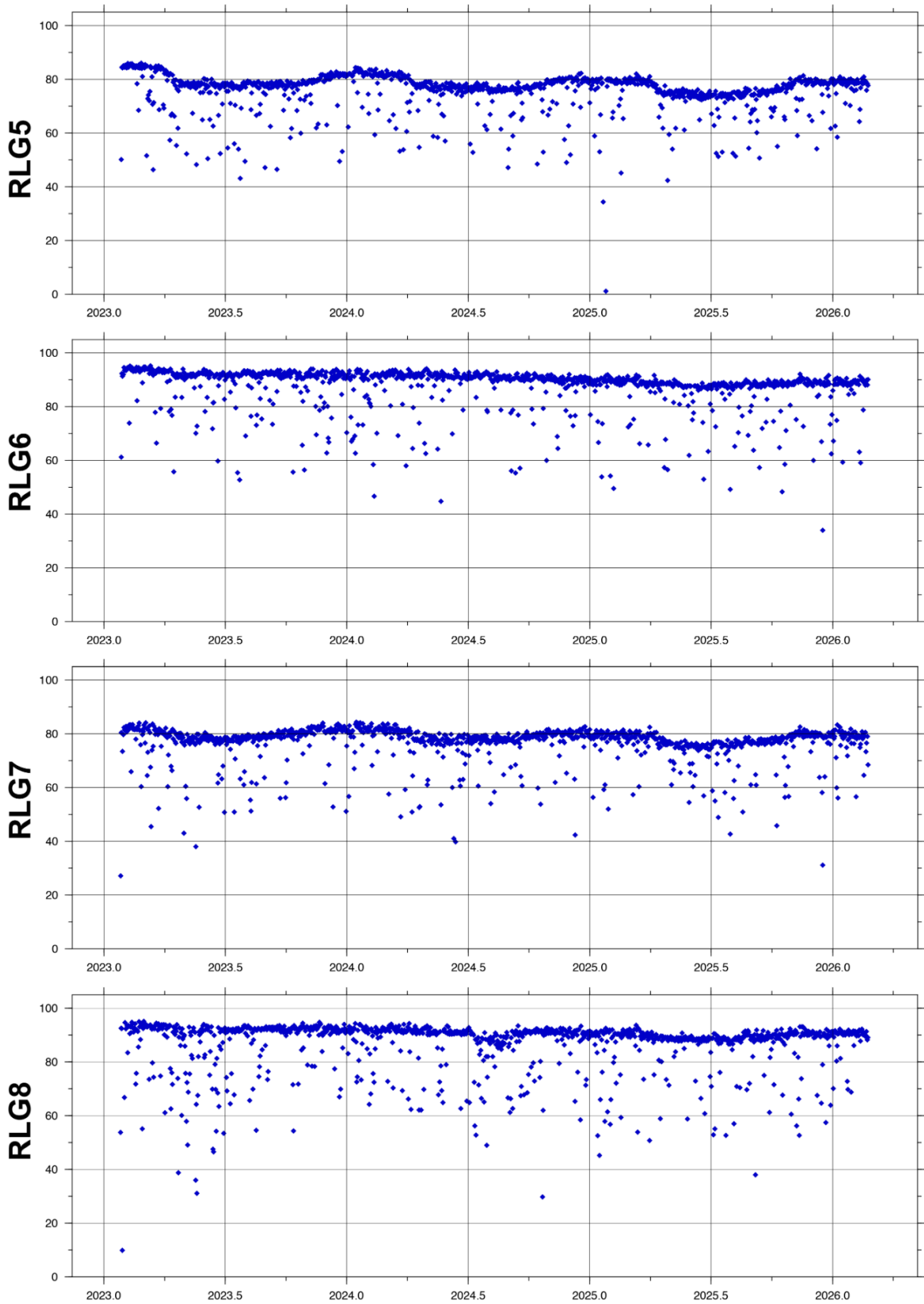


Figura 4.4: Percentuale giornaliera di osservazioni satellitari presenti nei RINEX rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo giornaliero di funzionamento effettivo per le stazioni RLG5, RLG6, RLG7 e RLG8

Per quanto concerne l'analisi di qualità in termini di *multipath* per la stazione a doppia frequenza LONG, l'esito è mostrato in **Figura 4.5B**. Come già evidenziato nel precedente rapporto semestrale, i primi 6 mesi circa di acquisizione della stazione (box grigio in figura) sono caratterizzati da un malfunzionamento del ricevitore della stazione che è stato risolto in data 17.10.2023 e i cui valori sono scartati ai fini dell'analisi di qualità e dell'elaborazione del dato. Al netto quindi dei primi 6 mesi scartati, i valori medi di MP1 e MP2 valgono rispettivamente 0.32 m e 0.54 m rimanendo entro i range che caratterizzano stazioni di buona qualità (tra 0.1 - 0.4 m e 0.1 - 0.6 m rispettivamente per MP1 e MP2). Dalla **Figura 4.5** è possibile notare inoltre un evidente salto nei parametri di qualità in data 16.09.2025 (barra verde) che porta ad un netto miglioramento sia in termini di percentuale delle osservazioni satellitari acquisite sia in termini di *multipath*. Si suppone che questo sia dovuto ad un cambio strumentale di cui però non abbiamo avuto riscontro da parte del Concessionario.

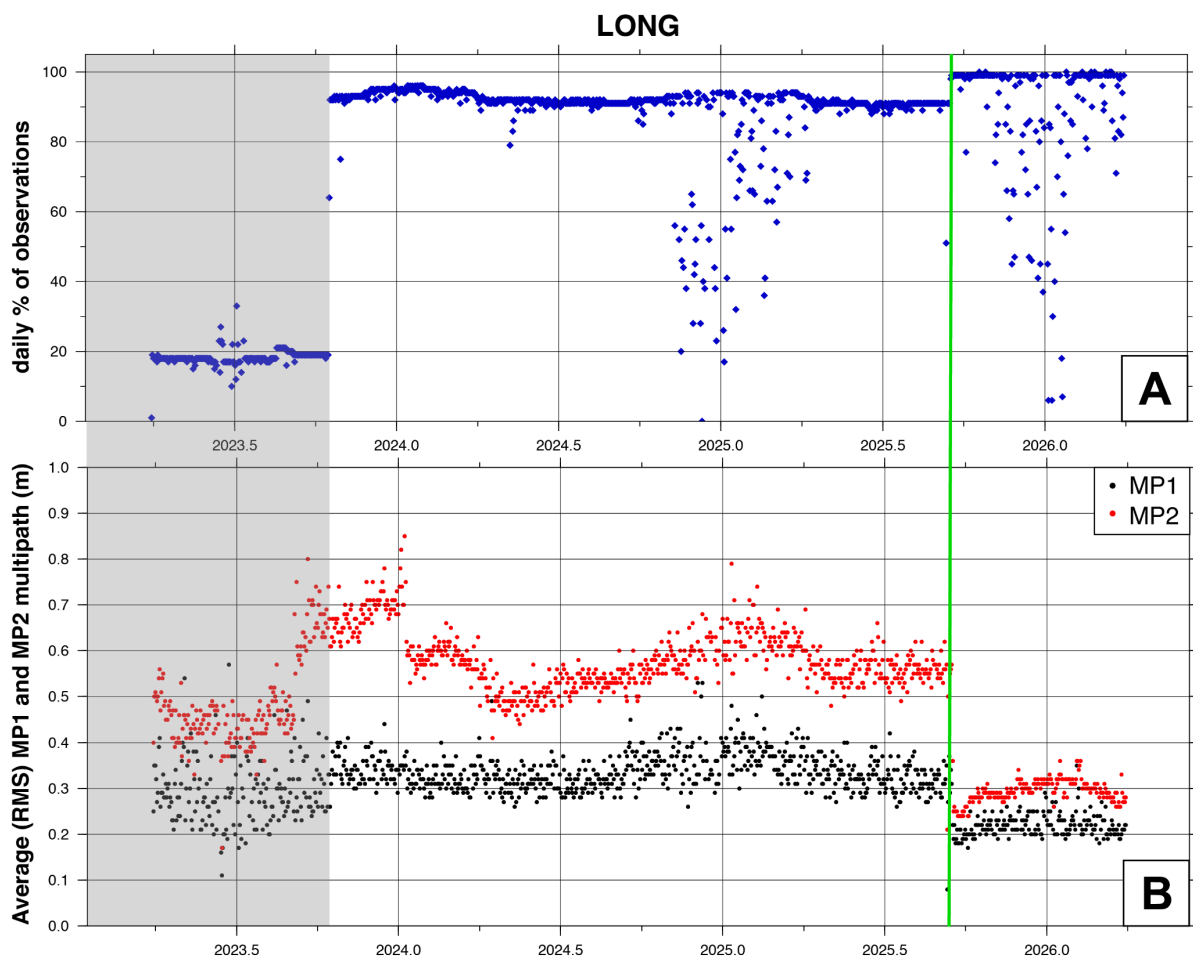


Figura 4.5: Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione LONG in termini di valori di *multipath* MP1 in nero e MP2 in rosso (A) e di percentuale delle osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo di funzionamento effettivo giornaliero (B). Il box grigio indica i 6 mesi di dati da scartare e la barra verde un possibile cambio strumentale.

4.3 Elaborazione del dato GPS

In questo paragrafo sono mostrati i risultati delle elaborazioni dei dati GPS registrati dalle stazioni GNSS a doppia frequenza presenti nell'area di monitoraggio, di cui la stazione LONG fa parte. I dati registrati dalle stazioni a singola frequenza sono in fase di elaborazione e saranno oggetto del prossimo rapporto semestrale.

Pertanto i file giornalieri in formato RINEX acquisiti dalle stazioni GNSS disponibili per l'area di monitoraggio sono stati elaborati dal Laboratorio di Analisi Dati Geodetici INGV presso la sezione di Bologna, seguendo il procedimento illustrato in Serpelloni et al. (2022). Nello specifico la procedura di elaborazione eseguita consiste in:

4. Analisi delle osservazioni registrate (ossia le fasi della costellazione GPS a doppia frequenza dei segnali satellitari) dalle stazioni di una sotto-rete che include la stazione LONG più altre stazioni permanenti della rete IGS (International GNSS Service), 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).
5. Combinazione delle soluzioni giornaliere ottenute per tutte le sotto-reti processate dalla SPM e allineamento delle soluzioni al sistema di riferimento globale IGB20 (Altamimi et al., 2023), utilizzando il pacchetto GLOBK del software GAMIT/GLOBK.

Da quest'ultimo passaggio si ottengono per ciascuna stazione GNSS le serie temporali di spostamento (nelle tre componenti Est, Nord e verticale) realizzate nel sistema di riferimento globale. Ciascuna serie così ottenuta viene poi modellata con un modello funzionale analitico "classico" (Bevis & Brown, 2014) che considera gli spostamenti del suolo come la combinazione di: 1- un contributo lineare nel tempo (ossia la velocità di spostamento), 2- componenti stagionali annuali e semi-annuali e 3- possibili salti di posizione dovuti a cambi strumentali ed eventuali salti di natura co-sismica.

La **Figura 4.6** mostra la serie temporale degli spostamenti giornalieri residui per le tre componenti Est, Nord e verticale della stazione LONG ottenuta dall'elaborazione sopra esposta e dopo aver rimosso per ciascuna componente tutti i termini relativi al modello funzionale considerato, ossia il termine lineare di spostamento stimato nel sistema di riferimento globale e le componenti stagionali annuali e semi-annuali. Per ciascuna componente di spostamento sono riportati in **Figura 4.6** i residui rispetto il modello funzionale 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 non contemplati nel modello funzionale, indicando quindi la presenza di anomalie di spostamento dovute a possibili sorgenti deformative di natura locale. Da questo risultato si può osservare che la serie temporale di spostamento di LONG viene ben riprodotta con un semplice modello analitico senza evidenziare particolari andamenti anomali.

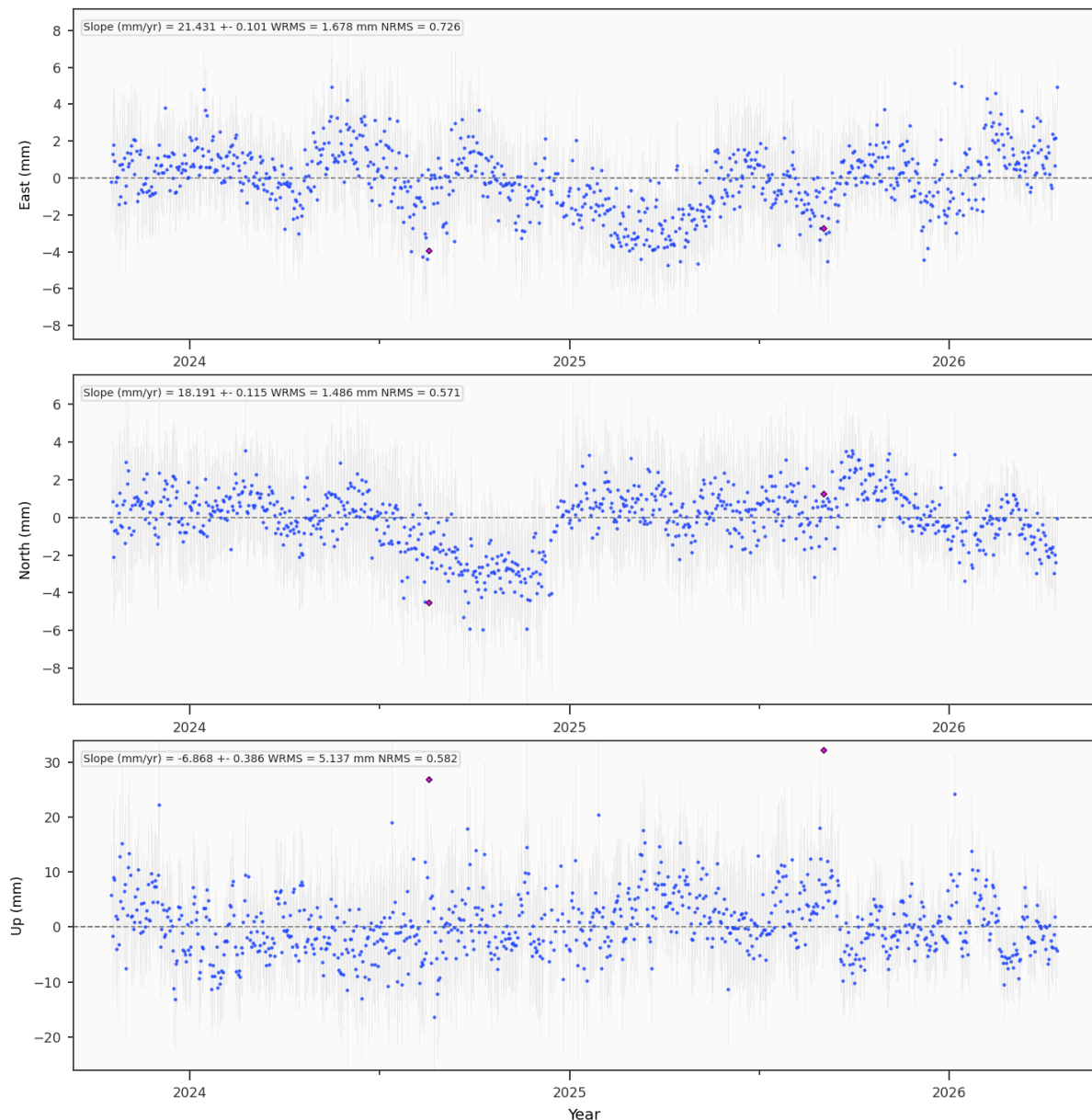


Figura 4.6: Serie temporale di spostamento residua (punti blu) della stazione LONG dopo aver rimosso tutti termini di spostamento del modello funzionale analitico stimato per ciascuna componente (Est, Nord e verticale). Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) degli spostamenti e il parametro Slope indica le velocità a lungo termine stimate nel sistema di riferimento globale IGB20.

Per avere un'ulteriore indicazione della stabilità e affidabilità della stazione di monitoraggio LONG, viene considerato il termine lineare di spostamento (stimato nel modello analitico funzionale e che descrive la velocità a lungo termine) rispetto ai valori stimati per le stazioni GPS adiacenti. Le velocità di spostamento riferite rispetto al sistema di riferimento globale non ci permettono però di apprezzare le deformazioni a scala locale. Per evidenziare meglio i gradienti di velocità dell'ordine del mm/anno, che sono tipici delle deformazioni locali sia di tipo naturale che antropico, risulta necessario ruotare e riferire il campo di velocità rispetto a 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 velocità orizzontali GPS di spostamento (quelle verticali rimangono riferite al sistema di riferimento globale) sono state poste rispetto alla placca Eurasia-fissa, utilizzando come polo di rotazione quello riportato da Altamimi et al. (2023).

Le misure così ottenute sono mostrate in **Figura 4.7**, sia per le componenti orizzontali che verticali, per tutte le stazioni GNSS presenti nei dintorni dell'area di studio con almeno 2.5 anni di dati, valore considerato minimo per una prima valutazione attendibile della stima dei tassi di spostamento a lungo termine (Blewitt and Lavallée, 2002). Le stazioni aggiuntive considerate appartengono a reti sia pubbliche che private e alcune di esse non sono più attive, ma le cui misure sono utili per vincolare il campo di deformazione a scala locale/regionale.

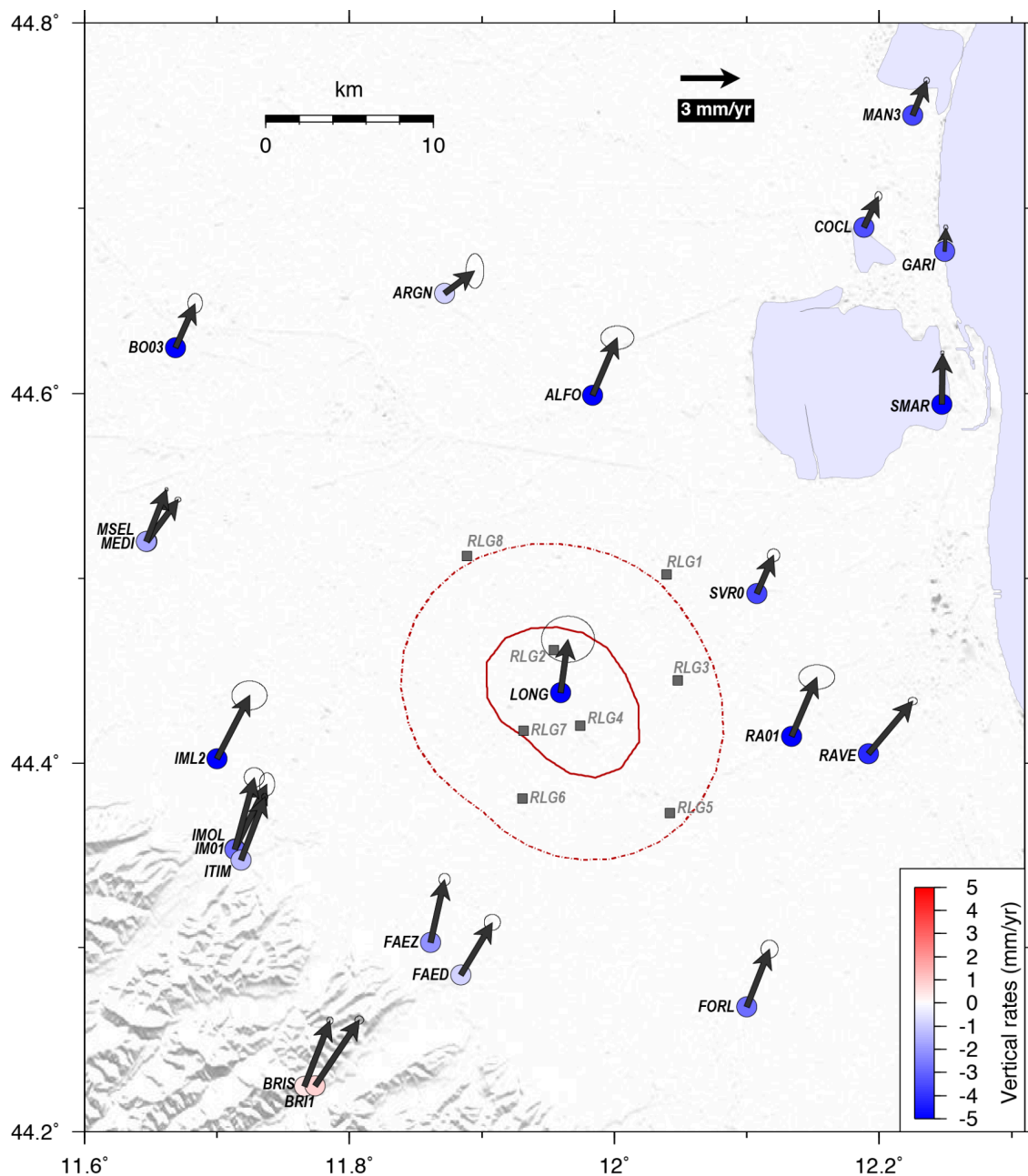


Figura 4.7: Campo di velocità di spostamento ottenuto dall'analisi dei dati GPS per le componenti orizzontali (freccie grigie) nel sistema di riferimento locale Eurasia-fissa con ellissi di errore al 95%, e le corrispondenti componenti verticali, mostrate dai cerchi colorati secondo la palette in basso a destra. I domini di monitoraggio sono indicati in rosso e la posizione delle stazioni a singola frequenza sono rappresentati dai quadrati grigi.

Le velocità stimate descrivono la deformazione a lungo termine in atto, che nell'area di studio è prevalentemente di natura tettonica compressiva attraverso il fronte esterno dell'appennino settentrionale sepolto al di sotto della pianura padana (Argnani 1998; Vannoli et al., 2004) con tassi di accorciamento orizzontali di circa 1-2 mm/anno (Serpelloni et al., 2022). Pertanto un campo di velocità fornito da stazioni stabili e affidabili dovrebbe mostrare questo andamento

comune e coerente tra le stazioni adiacenti, mostrando gradualmente la compressione in atto in direzione circa Nord NordEst - Sud SudOvest lungo il fronte pede-appenninico. Per quanto riguarda le velocità verticali, l'area è invece interessata da una diffusa subsidenza dovuta a diversi fenomeni naturali (es. compattazione dei sedimenti, flessione litosferica, emungimento di acque) dell'ordine di circa 3-4 mm/anno (Teatini et al., 2006). Questi fenomeni sono ben evidenziati dalle osservazioni registrate dalle stazioni GNSS presenti nell'area di studio (**Figura 4.7**) e la stazione LONG, sebbene abbia una serie temporale al limite dei 2.5 anni di dati di acquisizione, sembra mostrare già un buon accordo, indicandola quindi come una stazione stabile e affidabile ai fini del monitoraggio delle deformazioni del suolo.

4.4 Analisi dati InSAR

La SPM ha effettuato un'analisi delle deformazioni del suolo utilizzando i dati del sensore Sentinel-1 di entrambe le orbite ascendente e discendente, con un approccio di tipo SBAS (*Small BAseline Subset*, Berardino et al., 2002). I due dataset Sentinel-1 coprono un intervallo temporale che va da luglio 2017 ad aprile 2026 e i risultati in termini di velocità di spostamento lungo la linea di vista, LoS, ascendente e discendente sono mostrati rispettivamente in **Figura 4.8** e **Figura 4.9**. I tassi di spostamento misurati dalla SPM sono comparabili con quelli riportati nella prima relazione semestrale.

Nel settore di studio ubicato sopra il giacimento si riscontra una bassa coerenza dovuta essenzialmente alla presenza di campi coltivati e poche infrastrutture. Conseguentemente in questa area la copertura del dato è scarsa e vengono misurati solo punti sparsi. Tuttavia, in prossimità della stazione GNSS LONG (*clusters*¹ A) il dato SAR per entrambe le orbite evidenzia un trend di allontanamento caratterizzato da una accelerazione nel periodo che va dal 2021 al 2023 e una velocità media compresa tra -4 e -5 mm/anno sia per la geometria discendente che per l'ascendente, come mostrato nelle serie storiche discendente e ascendente mostrate rispettivamente in **Figura 4.10** e **Figura 4.11**. In prossimità del *cluster* B e *cluster* C la copertura del dato è scarsa e non sono presenti scatteratori del segnale. Si riportano a titolo di esempio due serie storiche in orbita discendente e ascendente dei due punti più vicini al *cluster* B che mostrano valori intorno allo 0 (**Figura 4.12** e **Figura 4.13**).

Sugli abitati di Lugo e Bagnacavallo, l'analisi effettuata conferma i valori di spostamento pressoché nulli. Anche nell'area di Fusignano, si registrano valori di tassi di spostamento pressoché nulli nel settore nord-orientale e mediamente di circa -1.5 - -3 mm/anno nel settore sud-occidentale, così come nell'area di Cotignola.

¹ Qui e nel seguito con "*cluster*" A, B e C si indicano le piazzole in cui sono ubicati i pozzi, ossia i pozzi Longanesi 1 e Longanesi 2dir nel *cluster* A, i pozzi Abbadesse 1dir e Casale Chiocci 1dir nel *cluster* B e il pozzo Longanesi 3dir nel *cluster* C.

Nelle **Figura 4.14** e **Figura 4.15** si riportano le mappe di velocità media rispettivamente nella componente verticale e orizzontale (est-ovest). Tali mappe evidenziano come i movimenti nel settore in esame siano essenzialmente verticali, mentre quelli orizzontali sono praticamente nulli. In particolare si evidenziano valori di subsidenza di circa -6 mm/anno in corrispondenza del *cluster A*, seppure la misura si riferisca ad un singolo *pixel* isolato, mentre non si ha copertura sul *cluster B* e C. I risultati ottenuti sono comparabili con quelli presenti nella reportistica precedente.

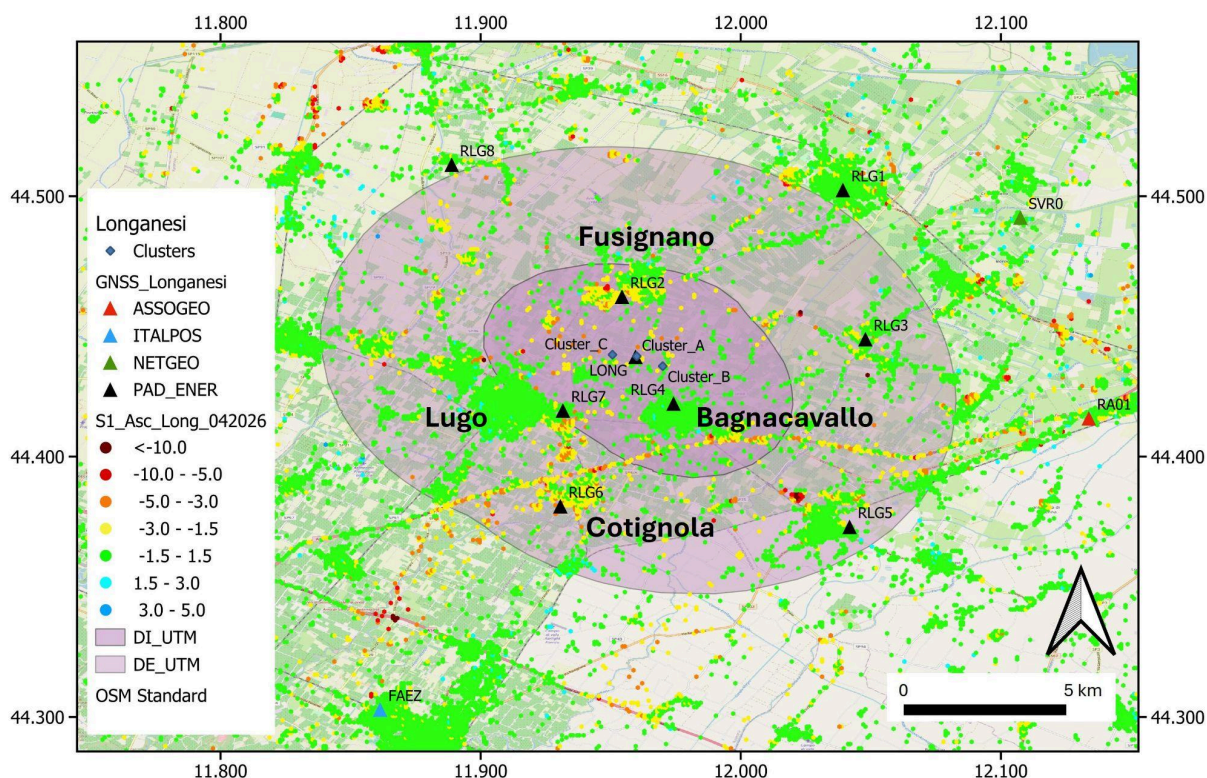


Figura 4.8: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 ad aprile 2026 lungo la linea di vista del satellite (orbita ascendente) calcolata dai dati SAR acquisiti dai satelliti della costellazione Sentinel-1. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi. Nella mappa sono riportati anche i domini di rilevazione interno ed esteso (DI e DE) per la concessione Longanesi, la posizione delle stazioni geodetiche GNSS presenti nell'area (triangoli) e quella dei cluster A, B e C (rombi).

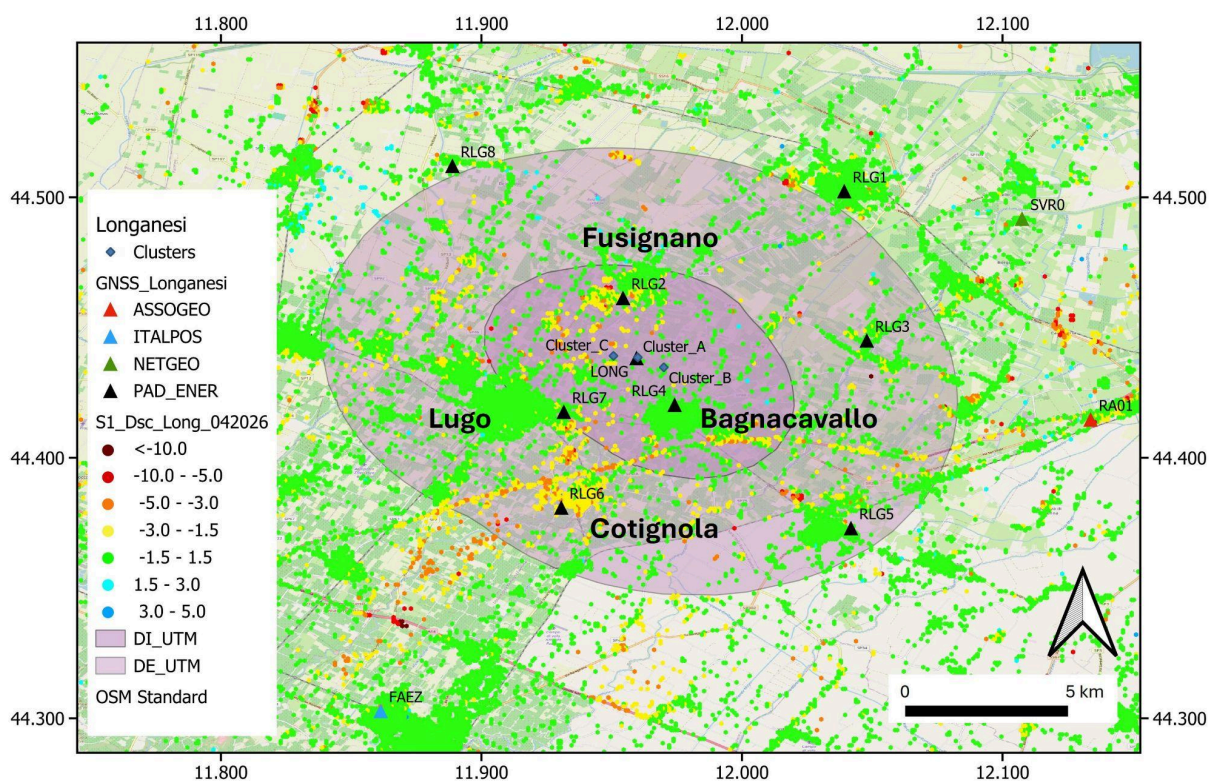


Figura 4.9: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 ad aprile 2026 lungo la linea di vista del satellite (orbita discendente) calcolata dai dati SAR acquisiti dai satelliti della costellazione Sentinel-1. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi. Nella mappa sono riportati anche i domini di rilevazione interno ed esteso (DI e DE) per la concessione Longanesi, la posizione delle stazioni geodetiche GNSS presenti nell'area (triangoli) e quella dei cluster A, B e C (rombi).

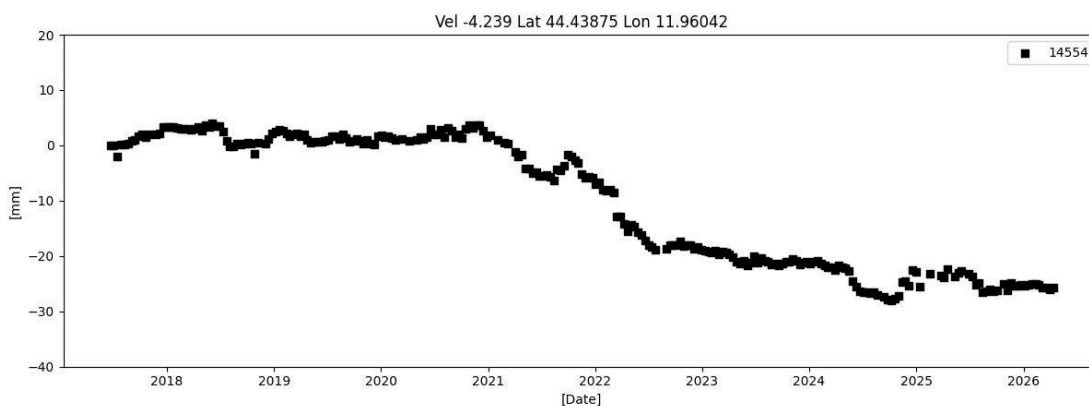


Figura 4.10: Serie storica di spostamento del suolo (mm) in cui sono riportati gli spostamenti nel tempo lungo la linea di vista discendente del satellite Sentinel-1, calcolati in prossimità della stazione GNSS LONG. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi.

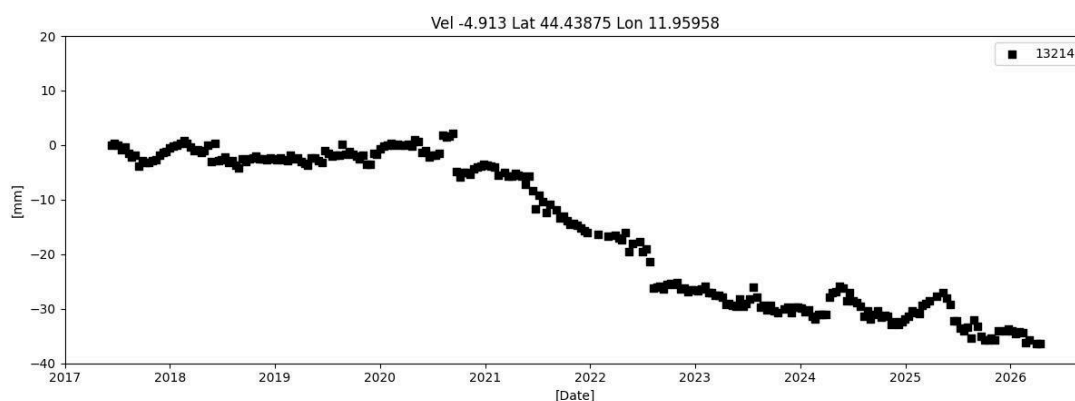


Figura 4.11: Serie storica di spostamento del suolo (mm) in cui sono riportati gli spostamenti nel tempo lungo la linea di vista ascendente del satellite Sentinel-1, calcolati in prossimità della stazione GNSS LONG. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi.

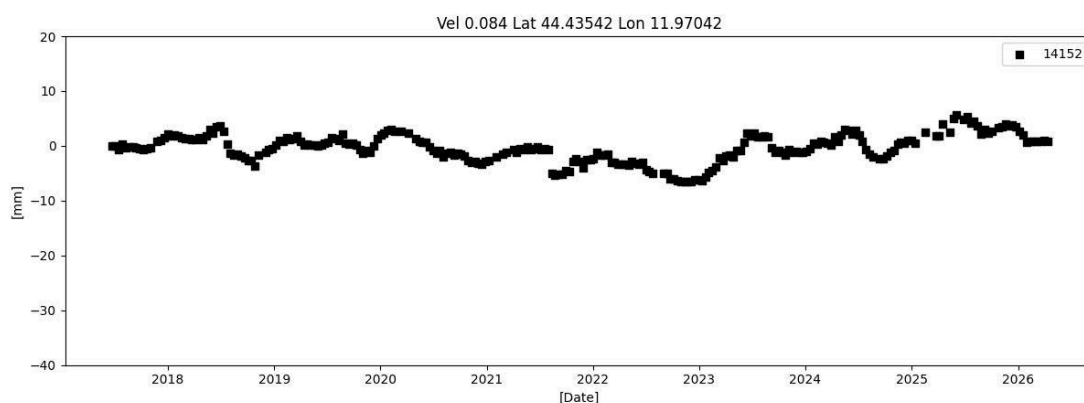


Figura 4.12: Serie storica di spostamento del suolo (mm) in cui sono riportati gli spostamenti nel tempo lungo la linea di vista discendente del satellite Sentinel-1, calcolati in prossimità cluster B. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi.

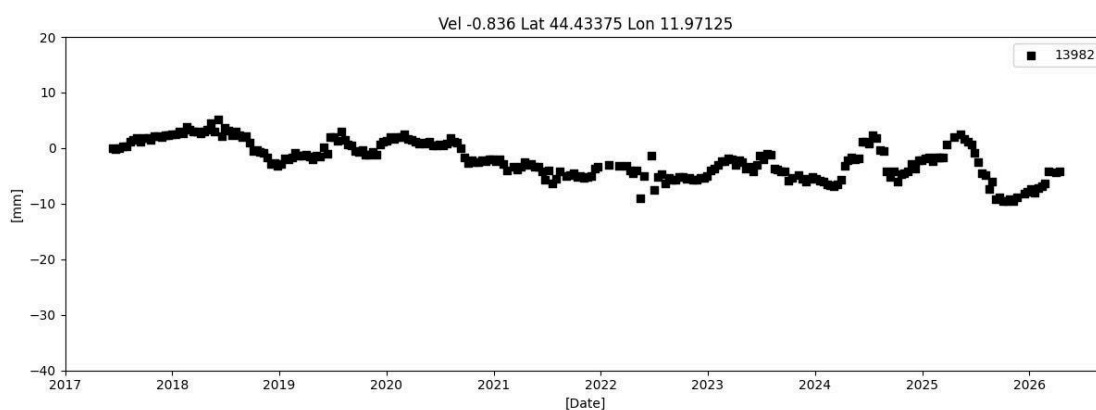


Figura 4.13: Serie storica di spostamento del suolo (mm) in cui sono riportati gli spostamenti nel tempo lungo la linea di vista ascendente del satellite Sentinel-1, calcolati in prossimità cluster B. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi.

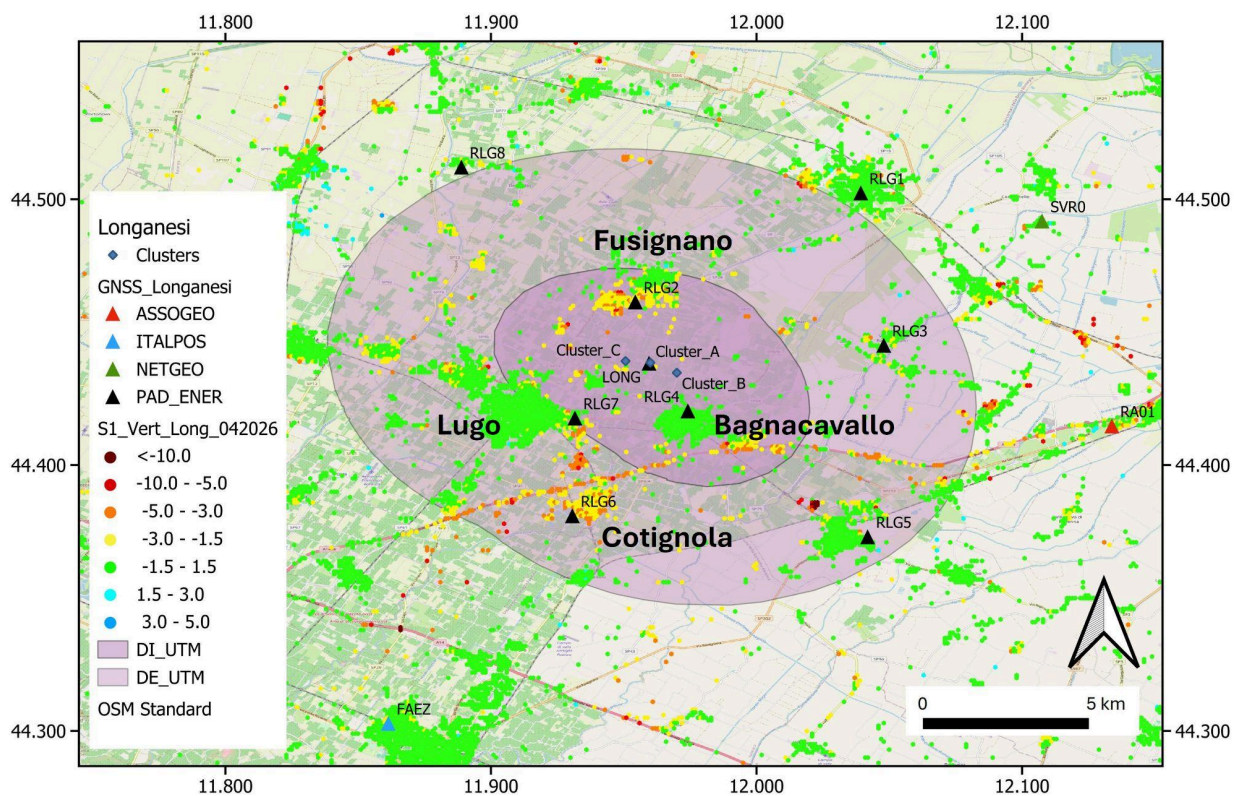


Figura 4.14: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 ad aprile 2026 lungo la componente verticale calcolata dai dati SAR acquisiti dai satelliti della costellazione Sentinel-1. Valori negativi indicano subsidenza, viceversa per valori positivi. Nella mappa sono riportati anche i domini di rilevazione interno ed esteso (DI e DE) per la concessione Longanesi, la posizione delle stazioni geodetiche GNSS presenti nell'area (triangoli) e quella dei cluster A, B e C (rombi).

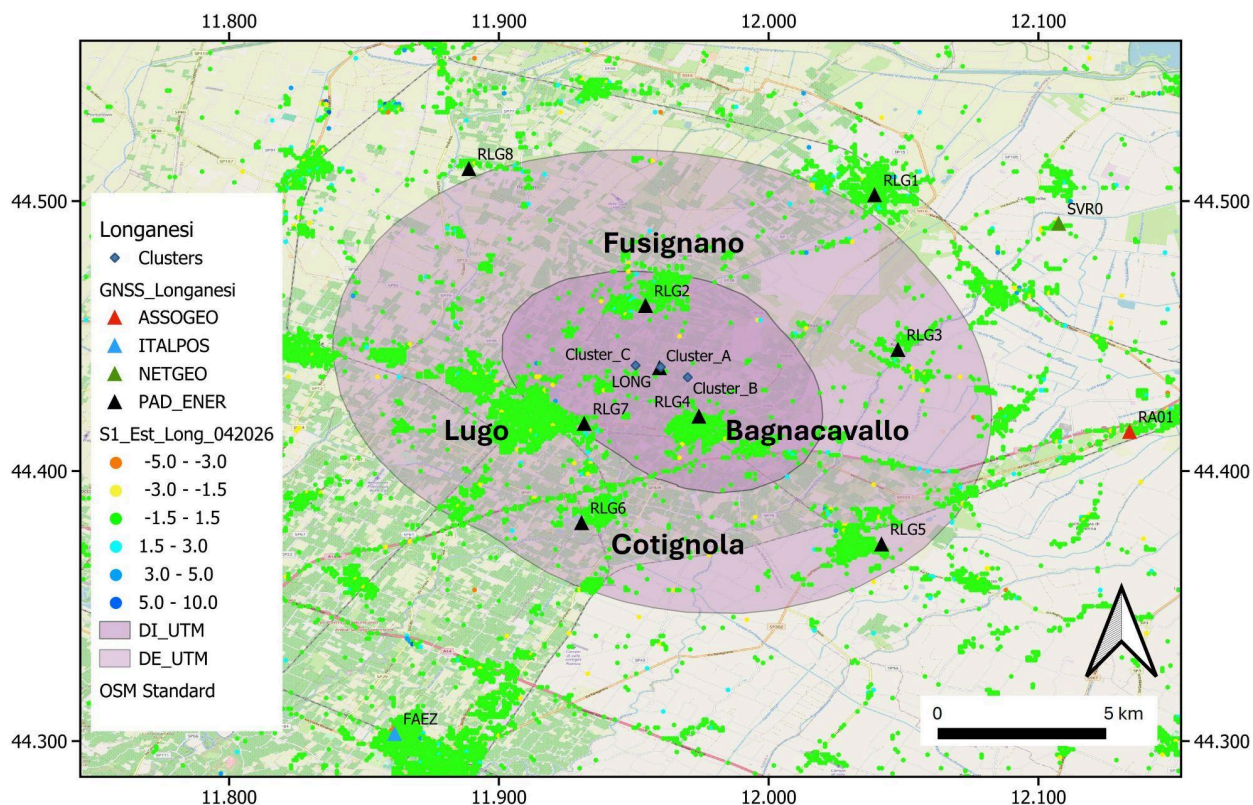


Figura 4.15: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 ad aprile 2026 lungo la componente orizzontale (est-ovest) calcolata dai dati SAR acquisiti dai satelliti della costellazione Sentinel-1. Valori negativi indicano spostamenti verso ovest, viceversa per valori positivi. Nella mappa sono riportati anche i domini di rilevazione interno ed esteso (DI e DE) per la concessione Longanesi, la posizione delle stazioni geodetiche GNSS presenti nell'area (triangoli) e quella dei cluster A, B e C (rombi).

4.5 Analisi dati di livellazione

In riferimento al semestre DI RIFERIMENTO, dal 06/09/2025 al 05/03/2026, non sono stati forniti dal Concessionario nuovi dati di livellazione. Le informazioni relative alla geometria della livellazione (**Figura 4.16**) e alla qualità dei dati sono riportate nella prima relazione di monitoraggio della SPM (Report 2025/1).

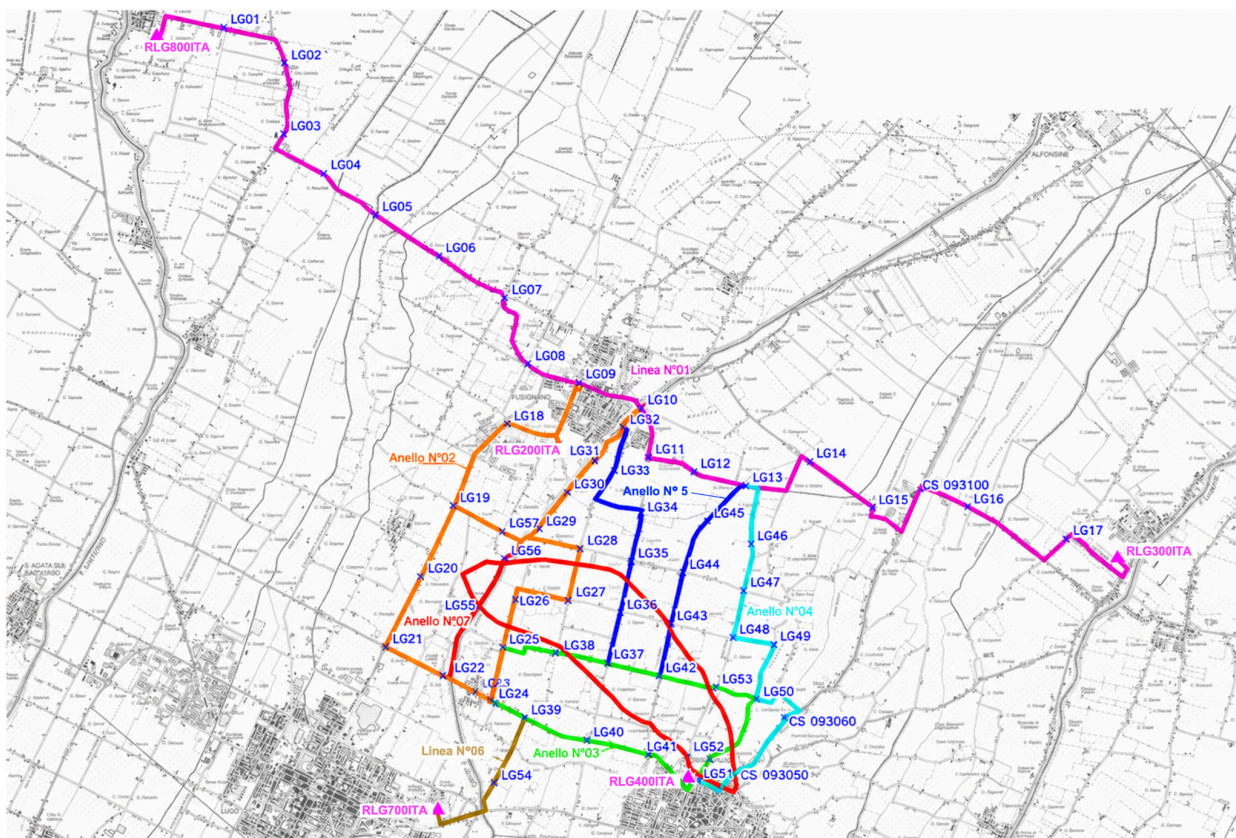


Figura 4.16: Planimetria dei capisaldi e degli anelli di livellazione fornita dal Concessionario.

4.6 Analisi dati di temperatura, pressione, piezometrici e assestimetrici

Il Concessionario ha fornito alla SPM le credenziali di accesso a *Oversite*, un applicativo web sviluppato da Agisco S.r.l., che consente la raccolta e la pubblicazione dei dati acquisiti in sito. Attraverso tale piattaforma sono state esportate e analizzate le misure relative a due assestimetri, due piezometri, due termometri e un barometro (**Tabella 4.2**). Le misure, acquisite ogni quattro ore, si riferiscono al periodo di monitoraggio compreso tra il 01/01/2025 e il 28/02/2026.

STRUMENTO		CONFIGURAZIONE
Assestmetro	Superficiale	Ancoraggio a -10 m
	Profondo	Ancoraggio a -350 m
Piezometro	Superficiale	Base foro a -10 m e sensore a -6 m
	Profondo	Base foro a -247 m e sensore a -15 m
Termometro	Superficiale	Sensore a -0.65 m
	Profondo	Sensore a -9.65 m
Barometro		Sensore a 1.6 m

Tabella 4.2: Informazioni generali sulla strumentazione. Tutti i valori di profondità sono riferiti al piano campagna che si trova a quota 8.36 m sopra il livello marino; il valore di segno negativo indica che è al di sotto del piano campagna.

Durante il periodo di monitoraggio, le misure risultano complessivamente continue nel tempo anche se presentano un intervallo comune privo di dati tra settembre e ottobre 2025 (**Figura 4.17**). La **Figura 4.17** mostra anche che la serie relativa all'assestmetro profondo è caratterizzata da una maggiore dispersione rispetto a quella dell'assestmetro superficiale. Inoltre, il grafico della temperatura evidenzia che le due serie temporali hanno un intervallo di oscillazione (temperatura minima – temperatura massima) molto diverso: nella serie acquisita dal sensore più superficiale l'intervallo è superiore a 20 °C, mentre in quella acquisita dal sensore più profondo è inferiore ad 1 °C. Infine, ad eccezione della serie barometrica, gli andamenti delle misure mostrano una marcata oscillazione di tipo annuale nei dati di piezometri e termometri, e circa annuale nei dati degli assestimetri.

Per comparare le serie relative ad assestimetri e piezometri, i dati originali sono stati mediati (media giornaliera) e preliminarmente analizzati mediante confronto grafico. Inoltre, al fine di ridurre l'influenza degli effetti superficiali, lo spostamento del terreno misurato dall'assestmetro profondo è stato corretto sottraendo lo spostamento acquisito dall'assestmetro superficiale. La **Figura 4.18** mostra il confronto tra le due serie, distinguendo tra la porzione superficiale e quella profonda del terreno. In particolare, nella parte superficiale del terreno, l'andamento dello spostamento del suolo risulta ben correlato all'andamento della

falda superficiale in quanto i due segnali presentano valori massimi e minimi in fase (**Figura 4.18a**). Tale corrispondenza consente di ipotizzare anche il meccanismo responsabile dell'oscillazione: l'infiltrazione dell'acqua nel terreno associata all'innalzamento della falda provoca un'espansione del suolo (con conseguente sollevamento), mentre l'abbassamento della falda ne determina la contrazione (con conseguente subsidenza). Invece, nella porzione più profonda del terreno, i massimi e i minimi della serie piezometrica risultano meno marcati, mentre, in entrambe le serie, si osserva un andamento generale caratterizzato da risalita dei valori fino ai mesi estivi, caduta e diminuzione dei valori fino ai mesi autunnali e successiva risalita nel periodo invernale (**Figura 4.18b**). Sebbene questa similitudine negli andamenti, alcune variazioni repentine osservate nello spostamento del suolo, come quella visibile a marzo 2025, non sembrano essere correlate all'andamento della falda.

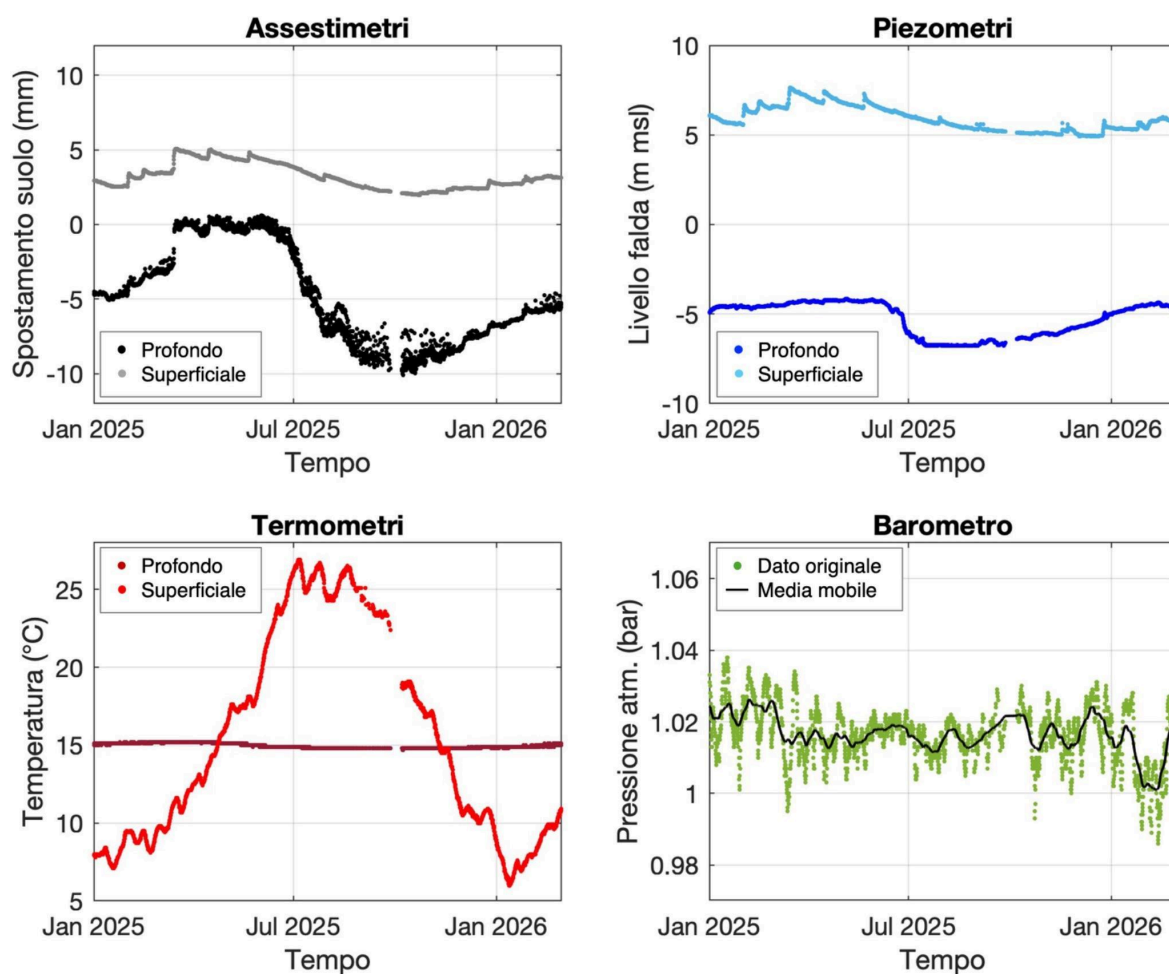


Figura 4.17: Dati esportati da *Oversite* nel periodo 01/01/2025 – 28/02/2026, distinti in base agli strumenti di acquisizione. I dati di pressione atmosferica (punti verdi) sono visibili assieme anche all'andamento della media mobile centrata, ottenuta con una finestra mobile di tre mesi.

E' bene notare che, tra luglio e agosto 2025, le misure del piezometro profondo corrispondono ad un valore costante pari a -6.7 m (**Figura 4.18b**). Questo valore sembrerebbe rappresentare

la soglia minima di deteazione dello strumento, perché il sensore nel foro è posto a -6.6 m (msl), portando la misura a saturazione. La posizione del sensore nel piezometro profondo diventa quindi un aspetto rilevante ai fini di acquisire in maniera completa le ampiezze delle oscillazioni della falda, per correlare fra loro i vari parametri.

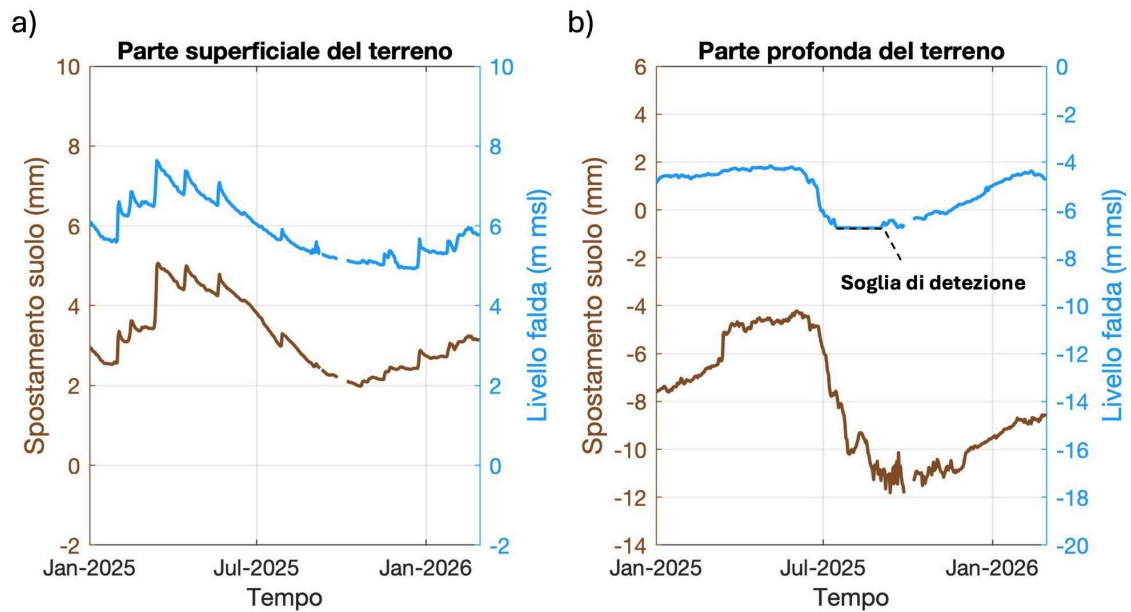


Figura 4.18: Confronto fra spostamento del suolo e variazione del livello della falda misurati: a) nella parte superficiale e b) profonda del terreno. Le due serie sono indicate rispettivamente in marrone (spostamento del suolo) e in azzurro (variazione della falda). Lo spostamento del suolo corrisponde al dato originale diminuito della serie acquisita con l'assestometro superficiale. La soglia di deteazione indicata in b) corrisponde al valore -6.7 m ed equivale al limite di acquisizione del piezometro (cfr. testo per ulteriori dettagli).

5. Dati di portata e pressione

Il Concessionario ha fornito alla SPM i dati relativi alla produzione e alla pressione del gas estratto dal Campo di Longanesi nel periodo 01/09/2025 – 28/02/2026 (secondo semestre di monitoraggio). In continuità con i dati ricevuti nel primo semestre di monitoraggio (12/03/2025 - 31/08/2025), il volume di gas estratto corrisponde alla produzione lorda giornaliera, cioè rappresenta la produzione cumulativa dei cinque pozzi produttivi della Concessione (Longanesi 1, Longanesi 2dir, Longanesi 3dir, Casale Cocchi 1dir e Abbadesse 1dir) e, nello specifico, dei relativi livelli di produzione (**Tabella 5.1**).

Pozzo	Longanesi 1	Longanesi 2dir	Longanesi 3dir	Casale Chiocci 1dir	Abbadesse 1dir
Livello superficiale	PL1 H	PL2 U	PL2 U	PL1 F	PL1 F
Livello profondo	PL1 P	PL1 N	PL1 N	PL1 Q+R	PL1 G

Tabella 5.1: Livelli produttivi distinti in base ai pozzi della concessione Longanesi.

La pressione del gas è espressa come misura giornaliera riferita alla testa del tubaggio (THP), ed è distinta per singolo pozzo e per stringa di produzione (stringa lunga e stringa corta).

La **Figura 5.1** mostra l'andamento della pressione del gas misurata nel pozzo Longanesi 2dir e la produzione lorda del campo di Longanesi. In particolare, la pressione del gas relativa al livello più profondo PL1 N (stringa lunga) inizia a diminuire dalla fine di maggio 2025, in concomitanza con una delle fasi di incremento della produzione, e risente, non marcatamente, dei bruschi cali di produzione del gas che avvengono con maggiore frequenza a partire da ottobre 2025. Al contrario, la pressione del gas relativa ad altri livelli produttivi più superficiali (stringa corta) presenta un andamento più articolato, caratterizzato da periodi senza variazioni di pressione (tra marzo e giugno 2025 e tra dicembre 2025 e gennaio 2026), periodi con marcate variazioni di pressione correlate a salti di produzione (novembre 2025) e periodi di graduale diminuzione di pressione (tra luglio e ottobre 2025) interrotte da repentini aumenti di pressione non correlati all'andamento della produzione (luglio e settembre 2025).

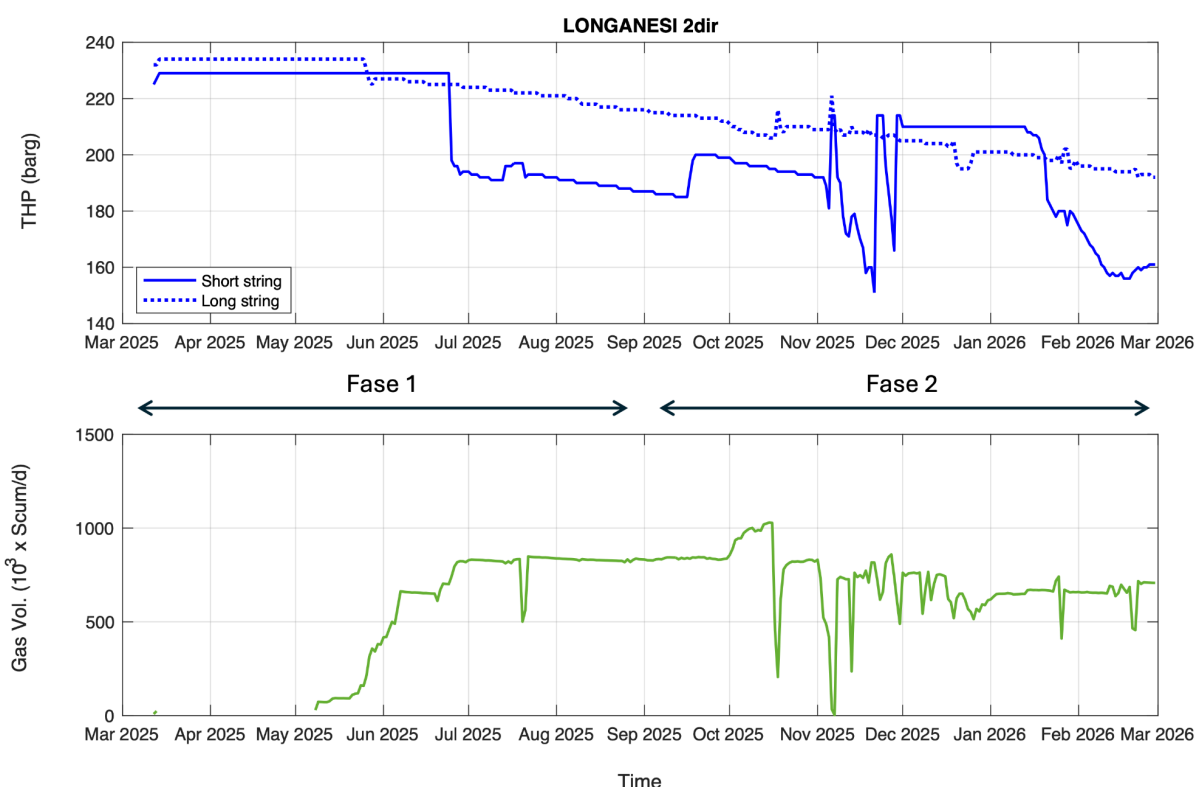


Figura 5.1: Pressione del gas (THP) e produzione lorda (Gas Vol., volume del gas) riferite, rispettivamente, al pozzo Longanesi 2dir e al campo di Longanesi nel periodo 12/05/2025 - 28/02/2026. Fase 1 e 2 indicano il primo e il secondo semestre di monitoraggio.

Oltre ai dati di pressione di testa pozzo, il Concessionario ha anche fornito due profili statici di pressione e temperatura: uno relativo al pozzo Longanesi 2dir e acquisito in data 04/12/25; l'altro relativo al pozzo Longanesi 3dir e acquisito in data 10/02/2026. Per entrambi i pozzi, il livello di riferimento è PL1 I+J, un intervallo produttivo superficiale distinto dai due livelli N ed U indicati dal Concessionario (**Tabella 5.1**). Come già evidenziato nella relazione della SPM relativa al primo semestre (Report 2025/1), ai fini di una corretta interpretazione degli andamenti di pressione in relazione ai livelli produttivi e alle variazioni dei volumi prodotti, si resta in attesa di ricevere dal Concessionario sia dati geologici di dettaglio, sia informazioni relative ai tempi di apertura e chiusura della produzione nei livelli intercettati dai pozzi.

6. Comunicazione e Disseminazione

Il Centro di Monitoraggio per le attività del Sottosuolo ha attivato un sito web dedicato alla 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> (raggiungibile anche dal portale istituzionale INGV), riporta informazioni generali, documenti, mappe e relazioni sia

per le sperimentazioni iniziali che per gli attuali monitoraggi in corso, in **Figura 6.1** mostriamo a titolo esemplificativo la pagina dedicata alla concessione Longanesi.

Oltre ai Report periodici semestrali, il CMS produce, ad uso interno, 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, software e informazioni utili alle attività di monitoraggio. Questi bollettini e informazioni possono essere rapidamente divulgati in caso di necessità.

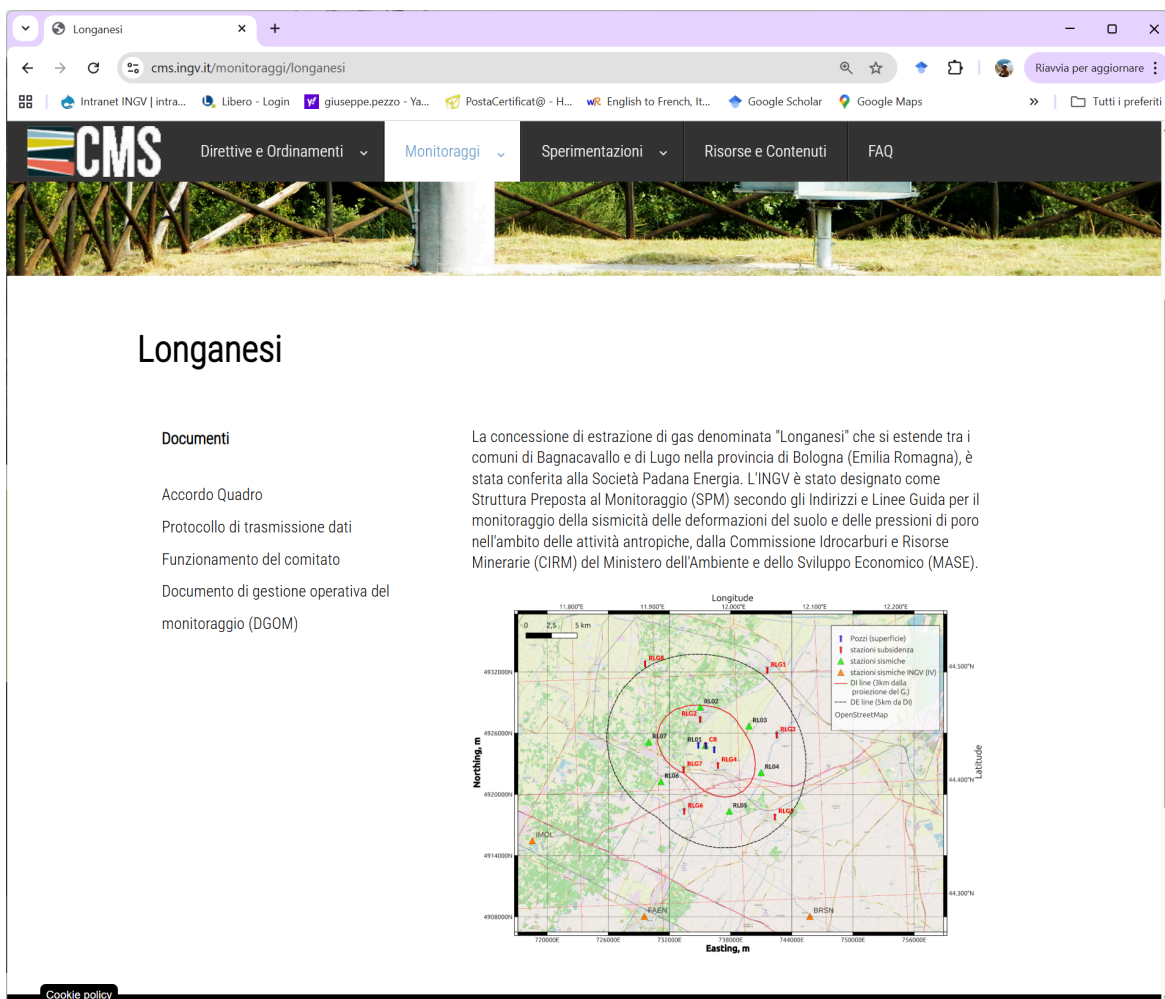


Figura 6.1: Schermata della pagina internet del CMS dedicata al monitoraggio della concessione Longanesi. Il menù a sinistra permette di aprire le diverse sottopagine dedicate ai documenti e conterrà una voce dedicata alle relazioni.

7. Considerazioni Conclusive

Come secondo report nell'ambito del progetto di monitoraggio secondo gli ILG della concessioni Longanesi e sulla base delle prime analisi effettuate sui dati raccolti, è possibile trarre alcune considerazioni.

Monitoraggio sismico:

- Nel periodo di riferimento, le analisi svolte dalla SPM utilizzando la rete integrata (LF + IV) descritta in precedenza, non hanno portato alla identificazione di alcun evento sismico all'interno dei domini del monitoraggio.
- Per quanto concerne le capacità di detezione della rete sismica integrata (LF + IV), si rimanda integralmente alle considerazioni e raccomandazioni già riportate nel primo rapporto semestrale, non essendo occorso nel frattempo alcun cambiamento.

Monitoraggio delle deformazioni:

- I dati registrati dalle stazioni GNSS a singola frequenza che compongono la rete di monitoraggio sono stati analizzati per valutare la qualità di acquisizione e mostrano dei valori che sono mediamente buoni, nonostante per alcune stazioni si osservano dei peggioramenti di qualità nel tempo da tenere monitorati.
- La stazione GNSS a doppia frequenza LONG, al netto dei primi 6 mesi di dati registrati che risultano rumorosi e inaffidabili, mostra una buona qualità dei dati acquisiti, soprattutto in seguito anche a un possibile cambio strumentale avvenuto a metà settembre 2025. Una sua prima elaborazione, che considera poco meno di 2.5 anni di dati, sembra mostrare un buon accordo con le altre stazioni GNSS presenti nei dintorni dell'area di studio, indicandola come una stazione stabile e affidabile ai fini del monitoraggio delle deformazioni del suolo.
- L'analisi delle deformazioni del suolo tramite InSAR utilizzando i dati Sentinel-1 dal 2017 al 2026 ha mostrato andamenti deformativi in linea con quelli osservabili a scala regionale in Pianura Padana. Seppur l'area del giacimento è caratterizzata da una copertura del dato molto scarsa, si evidenzia una subsidenza in corrispondenza dell'area del *cluster* A dove è ubicata la stazione GNSS LONG di circa -6 mm/anno. . Gli andamenti della deformazione nel tempo calcolati nell'area del *cluster* A mostrano una accelerazione tra il 2021 e il 2023 in entrambe le orbite ascendente e discendente. Tale accelerazione copre un periodo temporale precedente all'inizio dell'attività estrattiva, ed è quindi non legato all'attività estrattiva del campo.
- Per quanto riguarda il dato di livellazione, non sono disponibili nuovi dati riferiti al secondo semestre di monitoraggio, mentre andranno approfonditi e chiariti con il Concessionario alcuni aspetti inerenti la qualità dei dati.

Monitoraggio delle pressioni di poro:

- Durante l'intero periodo di monitoraggio (marzo 2025 – febbraio 2026), nel pozzo esemplificativo Longanesi 2dir si osserva, tra fine maggio 2025 e febbraio 2026, una

graduale riduzione della pressione THP nei livelli produttivi più profondi (stringa lunga). Nello stesso periodo, la pressione nei livelli produttivi più superficiali mostra un andamento più articolato, con fasi senza variazione di pressione e fasi caratterizzate da graduale diminuzione o sbalzi repentini di pressione. Tali andamenti risultano in parte correlabili alla variazione dei volumi di gas estratti.

- Ai fini di una corretta interpretazione dei dati di pressione in relazione alla produzione di gas, si ritiene opportuno acquisire dal Concessionario una stratigrafia completa che chiarisca come i numerosi livelli produttivi sono intercettati nei singoli pozzi, nonché informazioni sulla tempistica di attivazione e disattivazione della produzione (dei livelli nei singoli pozzi), oltre ad ulteriori dati di natura geologica e geofisica.

Appendice A: Aggiornamento sismicità strumentale

Data e Ora (UTC)	M	Zona	Z (Km)	Lat	Lon
2026-01-13 08:27:58	ML 4.3	6 km NW Forlì (FC)	19.5	44.2682	12.0053
2026-01-13 08:29:18	ML 4.0	8 km NW Forlì (FC)	18	44.2852	11.9903
2026-01-13 21:54:22	ML 1.8	7 km S Russi (RA)	23	44.3148	12.0198
2026-01-14 02:34:25	ML 1.8	6 km S Russi (RA)	25.4	44.3165	12.0297
2026-01-14 07:16:19	ML 2.7	7 km E Faenza (RA)	10.1	44.299	11.9727

Tabella A.1: Aggiornamento dell'elenco dei terremoti strumentali presenti nel bollettino INGV che ricadono nell'area di studio (periodo di riferimento di questo report).

Glossario

AQ	Accordo Quadro
CMS	Centro di Monitoraggio per le attività di Sottosuolo dell'INGV
CR	<i>Corner Reflector</i>
DE	Dominio Esteso
DGOM	Documento di Gestione Operativa del Monitoraggio
DI	Dominio Interno
EMS98	Scala Macrosismica Europea
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</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
INGV	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
InSAR	<i>Interferometric Synthetic Aperture Radar</i>
IV	Sigla rete sismica RSN gestita dall'INGV
M2	Sigla rete sismica locale gestita da <i>Po Valley Operations</i>
MASE	Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica
MISE	Ministero dello Sviluppo Economico
MiTE	Ministero della Transizione Ecologica
ML	Magnitudo Locale
Mlbj	Magnitudo Locale di Bakun e Joyner
Mw	Magnitudo momento
PGA	<i>Peak Ground Acceleration</i>
PGV	<i>Peak Ground Velocity</i>
PM1	Podere Maiar 1 dir
PPSD	<i>Probability Power Spectral Density</i>
PSD	<i>Power Spectral Density</i>
RING	Rete Nazionale Integrata GPS
RSN	Rete Sismica Nazionale (INGV)
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SLM	Sul Livello del Mare
SNR	<i>Signal-to-Noise Ratio</i>
SPM	Struttura Preposta al Monitoraggio
THP	<i>Tubing Head Pressure</i> - pressione dei fluidi misurata a testa pozzo nel tubo di rivestimento
TLS	<i>Traffic Light System</i> - sistema a semaforo

Riferimenti Bibliografici

Altamimi, Z., Métivier, L., Rebischung, P., Collilieux, X., Chanard, K., & Barnéoud, J. (2023). ITRF2020 plate motion model. *Geophysical Research Letters*, 50, e2023GL106373. <https://doi.org/10.1029/2023GL106373>

Argnani, A., Ricci Lucchi, F. (2001). Tertiary Siliciclastic Turbidite Systems of the Northern Apennines. In: G.B., Vai, I.P., Martini (eds.), *Anatomy of a Mountain: the Apennines and adjacent Mediterranean Basins*. Kluwer Academic Publisher, London, 327-350.

Bakun, W.H., e Joyner, W.B., (1984). The ML scale in Central California *Bulletin of the Seismological Society of America*, 74(5), 1827–1843.

Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., Sansosti, E., (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. *IEEE Trans GeosciRemote Sens* 40(11):2375–2383

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>.

Boccaletti, M., Calamita, F., Deiana, G., Gelati, R., Massari, F., Moratti, G., Ricci Lucchi, F., (1990). Migrating foredeep-thrust belt system in the Northern Apennines and Southern Alps. *Paleogeogr. Paleoclim. Paleoecol.* 77, 3–14.

Brune, J.N., 1970. Tectonic stress and spectra of seismic shear waves from earthquakes, *J. geophys. Res.*, 75(26), 4997–5009.

Brune, J.N., 1971. Correction [to “Tectonic stress and the spectra, of seismic shear waves from earthquakes”], *J. geophys. Res.*, 76(20), 5002–5002, doi:10.1029/JB076i020p05002.

Calabrese, L., Cibi, U., (2009). Note Illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 F. 222 Lugo, Servizio Geologico d'Italia - ISPRA.

Carannante, S., et al. (2021). Detection and location analysis of the Minerbio integrated seismic network. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 62, 203–230 https://bgo.ogs.it/sites/default/files/pdf/bgta0309_Carannante.pdf

CMS. Centro di monitoraggio delle attività di sottosuolo. accesso 16 dicembre 2024, <http://cms.ingv.it/monitoraggi/selva-malvezzi>.

Cooley J., e Tukey J. (1965). An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. *Math. Computat.*, 19, 90, 297-301, <http://dx.doi.org/10.1090/S0025-5718-1965-0178586-1>.

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. https://unmig.mise.gov.it/wp-content/uploads/2018/07/85_238.pdf.

Doglioni, C., (1993). Some remarks on the origin of foredeeps. *Tectonophysics* 228,1-20.

Doglioni, C., (1994). Foredeeps versus subduction zones. *Geology* 22, 271-274.

Eni (2014). Relazione tecnica a supporto dell'istanza di rinnovo della concessione "Alfonsine". Relazione disponibile nei titoli cessati sul portale di Videpi (ultimo accesso 1 ottobre 2025), al link: <https://www.videpi.com/videpi/videpi.asp>.

FOIC (1998). Relazione tecnica allegata all'istanza di permesso di ricerca di idrocarburi "Castelnovo di sotto". Relazione disponibile fra i documenti in deposito sul portale di Videpi (ultimo accesso 1 ottobre 2025), al link: <https://www.videpi.com/videpi/videpi.asp>.

Fornasari, S. F., Ertuncay, D., and Costa, G.(2023) Seismic background noise levels in the Italian strong-motion network, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 23, 3219–3234, <https://doi.org/10.5194/nhess-23-3219-2023>.

Gambolati G., Teatini P., (1998). Numerical Analysis of Land Subsidence due to Natural Compaction of the Upper Adriatic Sea Basin. In: Gambolati G. (eds) CENAS. Water Science and Technology Library, vol 28. Springer, Dordrecht. 10.1007/978-94-011-5147-4_5.

Gambolati, G, Teatini, P., Tomasi, L., Gonella, M., (1999). Coastline regression of the Romagna Region, Italy, due to natural and anthropogenic land subsidence and sea level rise. Volume35, Issue1 January 1999 Pages 163-184. 10.1029/1998WR900031.

Ghielmi, M., Minervini, M., Nini, C., Rogledi, S., Rossi, M., (2013). Late Miocene-Middle Pleistocene sequences in the Po Plain - Northern Adriatic Sea (Italy): The stratigraphic record of modification phases affecting a complex foreland basin. *Marine and Petroleum Geology* 42, 50-81.

Krischer L., Megies T., Barsch R., Beyreuther M., Lecocq T., Caudron C., Wassermann J., (2015). ObsPy: a bridge for seismology into the scientific Python ecosystem. *Comput. Sci. Discov.*, 8 (1) (2015), Article 014003.

Lee, W.H.K., e Lahr, J.C., (1975). HYP071 (REVISED): a computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, Open-file report 75-311, U. S. Geological Survey, 114 pp.

Luzi, L., Pacor, F., Ameri, G., Puglia, R., Burrato, P., Massa, M., Augliera, P., Franceschina, G., Lovati, S., Castro, R., (2013). Overview on the Strong-Motion Data Recorded during the

May-June 2012 Emilia Seismic Sequence, *Seismol. Res. Lett.*, 84, 629–644, <https://doi.org/10.1785/0220120154>.

Madariaga, R., 1976. Dynamics of an expanding circular fault, *Bull. seism. Soc. Am.*, 66(3), 639–666.

Martelli, L., Bonini, M., Calabrese, L., Corti, G., Ercolessi, G., Molinari, F.C., Piccardi, L., Pondrelli, S., Sani, F. (2017). Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe. Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli, DREAM Italia.

Martelli, L., Amorosi, A., Severi, P. (2009). Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50000, F. 221 Bologna. Servizio Geologico d'Italia, ISPRA.

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. e Buland, R. P. (2004). Ambient Noise Levels in the Continental United States, *B. Seism. Soc. Am.*, 94, 1517–1527.

Molinari, I., Verbeke J., Boschi L., Kissling E., Morelli A., (2015), Italian and Alpine three-dimensional crustal structure imaged by ambient-noise surface-wave dispersion, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 16, 4405–4421, doi:10.1002/2015GC006176.i

Peterson, J. (1993). Observations and modeling of seismic background noise. U.S. Geological Survey Open-File Report 93-322. <https://pubs.usgs.gov/publication/ofr93322>

Postpischl D., (1985). Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980. Progetto Finalizzato Geodinamica. Quaderni de La Ricerca Scientifica, n. 114, vol. 2B

Ricci Lucchi, F. (1986). The Oligocene to recent foreland basins of the northern Apennines. In: Foreland basins. Eds. Allen P. A., Homewood P., I.A.S. Special Publication, 8, 105–139.

Rossi, C., Cocorullo, C., and Grigoli, F.: Monitoring microseismicity with SeisComP and a local 3D velocity model, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-8517, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-8517>, 2022.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A., (2022). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>

Scrocca, D., Carminati, E., Doglioni, C., Marcantoni, D. (2007). Slab retreat and active shortening along the central-northern Apennines. In: Thrust belts and Foreland Basins – Fold Kinematics to hydrocarbon systems - Eds.: Lacombe O., Lavè J., Roure F, Verges J. *Frontiers in Earth Sciences*, Springer, 471-487.

Serpelloni, E., Cavaliere, A., Martelli, L., Pintori, F., Anderlini, L., Borghi, A., Randazzo, D., Bruni, S., Devoti, R., Perfetti, P., 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

Servizio Geologico d'Italia (2009). Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, F. 222 Lugo. ISPRA.

Satriano, C. (2024). SourceSpec – Earthquake source parameters from P- or S-wave displacement spectra (X.Y). doi: 10.5281/ZENODO.3688587

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>.

Tarabusi G., Sgattoni G., Caputo R. (2024). Imaging buried anticlines in the Po Plain, northern Italy, based on HVSR frequency and amplitude analyses. *Int. J. Earth Sci.* 113, 1457–1473 <https://doi.org/10.1007/s00531-024-02448-0>.

Teatini, P., Ferronato, M., Gambolati, G., Bertoni, W., Gonella M., (2005). A century of land subsidence in Ravenna Italy. *Environ. Geol.* 47 (6), 831–846. <https://doi.org/10.1007/s00254-004-1215-9>.

Teatini, P., Ferronato M., Gambolati G., Gonella M., (2006). Groundwater pumping and land subsidence in the Emilia-Romagna coastland, Italy: Modeling the past occurrence and the future trend. *Water Resour. Res.*, 42, W01406. DOI: 10.1029/2005WR004242.

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. <https://doi.org/10.1785/0120110018>

Zaccarelli, L., Anselmi, M., Vassallo, M., Munafò, I., Faenza, L., Sandri, L., Garcia, A., Polcari, M., Pezzo, G., Serpelloni, E., Anderlini, L., Errico, M., Molinari, I., Zerbinato, G. and Morelli, A., (2021). Practical Issues in Monitoring a Hydrocarbon Cultivation Activity in Italy: The Pilot Project at the Cavone Oil Field. *Front. Earth Sci.* 9:685300. doi: 10.3389/feart.2021.685300.