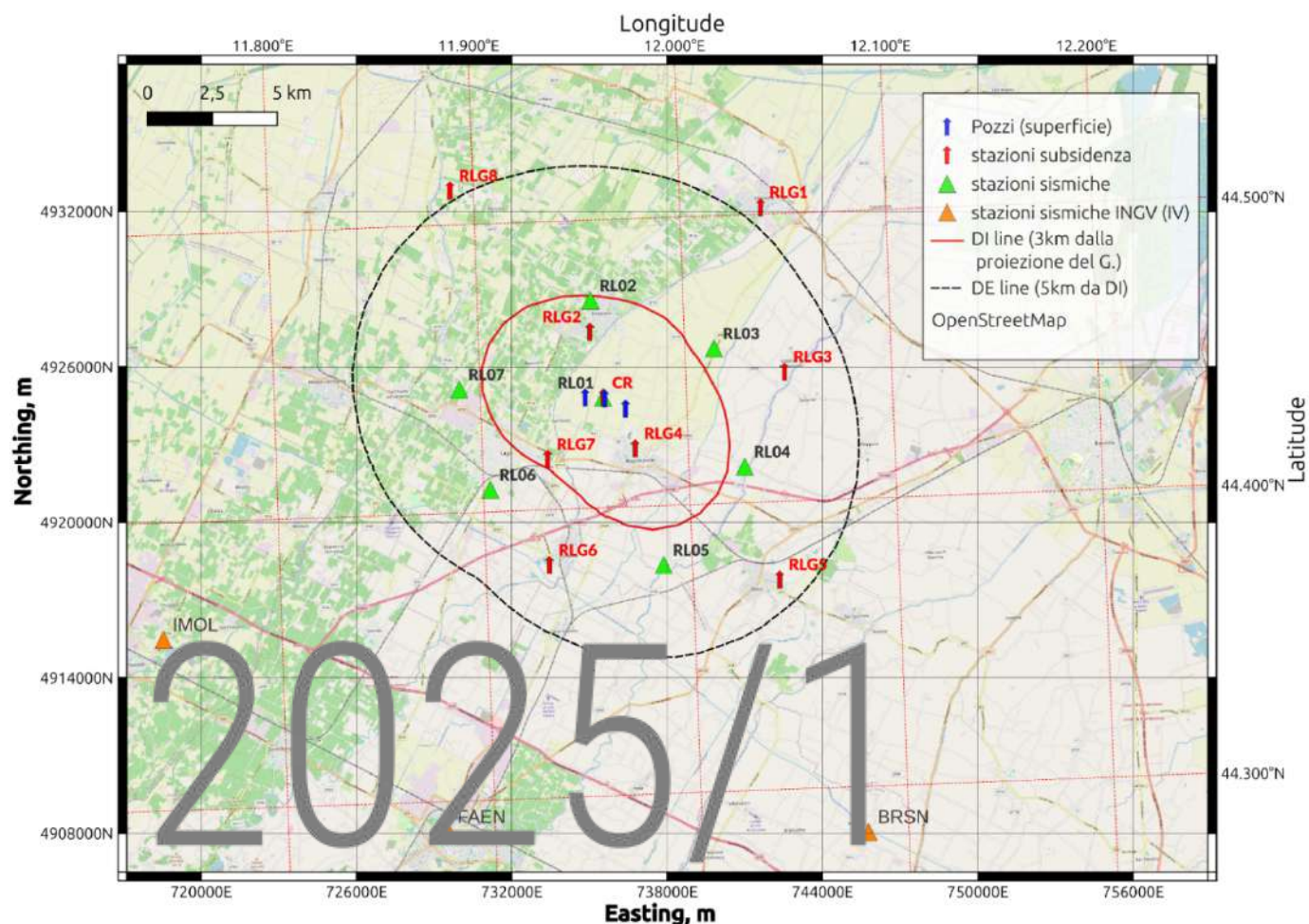


MASE, Regione Emilia Romagna,
Comune di Bagnacavallo, Comune di Lugo, INGV,
SOCIETA' PADANA ENERGIA S.R.L

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, M. D'Ambrosio, C.
Tolomei, P. Zerbinato, L. Zaccarelli, G. Saccorotti



Indice

Elenco Tabelle	4
Elenco Figure	6
Premessa	10
1 Parametri di Monitoraggio	13
1.1 TLS: Domini di monitoraggio	13
1.2 TLS: Parametri e soglie	15
2 Inquadramento geologico	17
2.1 Assetto tettono-stratigrafico	17
2.2 Assetto deformativo	19
3 Sismicità dell'area	21
4 Monitoraggio sismico	23
4.1 Descrizione della rete sismica	23
4.2 Funzionamento della rete sismica 03/2023-05/09/2025	25
4.3 Analisi preliminare di capacità di deteazione: Soglie di deteazione dallo studio del rumore sismico ambientale	28
4.4 Monitoraggio della sismicità	33
4.4.1 Analisi dei dati pre-monitoraggio (01 marzo 2023 - 05 marzo 2025)	33
4.4.2 Analisi dei dati nel periodo di monitoraggio: 06 marzo - 05 settembre 2025	35
4.5 Confronto preliminare tra sismicità registrata e soglie teoriche di deteazione	37
5 Monitoraggio delle deformazioni del suolo	40
5.1 Descrizione rete GNSS	40
5.2 Analisi delle interdistanze	42
5.3 Analisi della monumentazione dei siti GNSS	44
5.4 Analisi di qualità dei dati GPS	45
5.5 Elaborazione dato GPS	48
5.6 Analisi dati InSAR	50
5.7 Analisi dati di livellazione	55
6 Dati di portata e pressione	57
7 Comunicazione e Disseminazione	60
8 Considerazioni Conclusive	61
Appendice A: Elenco dei terremoti storici e strumentali	63
Appendice B: PPSD delle componenti orizzontali per le 6 stazioni sismiche interne al DE	83
Appendice C: Soglie di Deteazione dallo Studio del Rumore Sismico Ambientale	86
Glossario	97
Riferimenti Bibliografici	98

Elenco Tabelle

Tabella 1: Date relative alla approvazione e trasmissione dei documenti necessari a regolamentare il monitoraggio.	10
Tabella 2: Date relative alle diverse fasi di trasmissione dati dal concessionario alla SPM.	12
Tabella 1.2.1: Intervalli dei parametri di monitoraggio rilevati nel dominio interno di rilevazione (DI) definiti nel DGOM per la gestione del monitoraggio ai fini della valutazione dei passaggi tra livelli di attivazione [Modificato dalle Tabelle 2 e 4 degli ILG]. Sono definiti i seguenti parametri: magnitudo massima (Mmax), accelerazione di picco al suolo (PGA) e velocità di picco al suolo (PGV) [Modificato dagli ILG, Tabella 4].	16
Tabella 4.1.1: 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.	24
Tabella 4.2.1: Percentuali della disponibilità del dato per ogni stazione calcolate per tutto il periodo 2023-2025 e anno per anno. In giallo sono evidenziati i periodi con meno dati rispetto al 95% consigliato dagli ILG.	26
Tabella 4.4.1: Elenco degli eventi rilevati e localizzati grazie alla rete di monitoraggio della concessione Longanesi nel periodo marzo 2023 - febbraio 2025. Ai fini del monitoraggio integrale nella zona studio, la zona immediatamente fuori del DE (in un buffer di altri 5km) è indicata come 'Dominio di Attenzione' (DA).	34
Tabella 4.4.2: Valori massimi di PGA e PGV degli eventi rilevati e localizzati grazie alla rete di monitoraggio della concessione Longanesi nel periodo marzo 2023 - febbraio 2025 (*stazione non appartenente alla rete di monitoraggio di Longanesi). Ai fini del monitoraggio integrale nella zona studio, la zona immediatamente fuori del DE (in un buffer di altri 5km) è indicata come 'Dominio di Attenzione' (DA).	35
Tabella 4.4.3: Elenco degli eventi rilevati e localizzati grazie alla rete di monitoraggio della concessione Longanesi tra marzo e agosto del 2025. Ai fini del monitoraggio integrale nella zona studio, la zona immediatamente fuori del DE (in un buffer di altri 5km) è indicata come 'Dominio di Attenzione' (DA).	36
Tabella 4.4.4: Valori massimi di PGA e PGV degli eventi rilevati e localizzati grazie alla rete di monitoraggio della concessione Longanesi nel periodo marzo 2023 - febbraio 2025 (*stazione non appartenente alla rete di monitoraggio di Longanesi). Ai fini del monitoraggio integrale nella zona studio, la zona immediatamente fuori del DE (in un buffer di altri 5km) è indicata come 'Dominio di Attenzione' (DA).	36
Tabella 5.1.1: Caratteristiche della stazione GNSS a doppia frequenza installata per la concessione Longanesi in termini di coordinate, data di installazione e strumentazione in uso.	41
Tabella 5.1.2: Posizione delle stazioni GNSS a singola frequenza installate per la concessione Longanesi.	41
Tabella 5.2.1: Scala spaziale delle wavelet sferiche che indicano la semi-lunghezza d'onda del segnale riprodotto di deformazione.	43
Tabella 6.1: Livelli produttivi distinti in base ai pozzi della concessione Longanesi.	57
Tabella 6.2: Tipologia dei dati di pressione dei fluidi acquisiti nei pozzi della concessione e livelli produttivi a cui si riferiscono le misure. In evidenza: *incongruenza nei dati; **misure non riferite al solo livello produttivo indicato, ma a diversi intervalli di difficile identificazione mineraria (cfr. testo per ulteriori dettagli).	58
Tabella A.3.1: Elenco dei 67 terremoti storici localizzati entro l'area di interesse secondo i cataloghi PFG o CPTI (la fonte è indicata nella prima colonna di sinistra). La magnitudo è espressa come magnitudo macrosismica (Mm), ad eccezione dei 13 eventi inclusi nel CPTI per i quali viene riportata la magnitudo momento (Mw, valori contrassegnati da un asterisco). In tabella, oltre alla data e all'orario,	

sono riportati per ogni evento il catalogo di riferimento (colonna "Cat.") e i relativi parametri epicentrali (colonne data, zona, intensità "Io", latitudine e longitudine). L'ultima colonna ("M") riporta i valori in magnitudo momento (Mw) per i dati provenienti dal CPTI (13 casi, indicati con un asterisco), mentre per quelli da catalogo PFG presenta i valori di magnitudo macrosismica (Mm), una misura generica senza tipologia specifica (per maggiori dettagli si veda la definizione nel PFG stesso).

64

Tabella A.3.2: Elenco dei terremoti strumentali presenti nel bollettino INGV che ricadono nell'area di studio.

82

Elenco Figure

Figura 1.1.1: Domini di monitoraggio Interno (DI) ed Esteso (DE) adottati attualmente per il monitoraggio della concessione Longanesi.	14
Figura 1.1.2: Sezione in profondità dei domini di monitoraggio DI e DE (lungo il profilo A in Figura 1.1.1).	14
Figura 2.1.1: Schema degli ambienti deposizionali superficiali e ubicazione dell'area in cui ricade la concessione "Longanesi" (immagine modificata dal Foglio 222, Lugo, del Servizio Geologico d'Italia, 2009).	17
Figura 2.1.2: Caratteristiche geologiche dell'area in cui ricade la concessione "Longanesi": a) principali lineamenti tettonici dell'Italia Settentrionale con evidenziata (reticolo puntinato) la zona di avanfossa (immagine modificata da Scrocca et al., 2007); b) schema generale della subduzione vergente ad ovest (immagine modificata da Doglioni, 1994).	18
Figura 2.1.3: Sezione geologica tracciata in prossimità della concessione "Longanesi" (immagine modificata da Martelli et al., 2017).	19
Figura 3.1: 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 (relativi al periodo 1985-2024, cerchi rosa). Il contorno viola identifica il DI mentre quello arancione identifica il DE.	21
Figura 4.2.1: Rappresentazione grafica del funzionamento delle 7 stazioni della rete LF. Ad ogni giorno di effettiva registrazione del dato sismico corrisponde una barra verticale blu, quindi la mancata colorazione indica i periodi di interruzione del flusso di dati per malfunzionamento.	25
Figura 4.2.2: PPSD calcolate su dati continui registrati alle componenti verticali delle 7 stazioni della rete LF nel mese di maggio 2025 (periodo nel quale la rete utilizza ancora il codice rete temporaneo 'RL'). Le linee nere indicano il valore mediano (50th percentile), oltre al 5° (curva sottostante) e 95° (curva superiore) percentili. Le linee grigie indicano l'andamento dei valori minimo NLNM (New Low Noise Model) e massimo NHNM (New High Noise Model) definiti da Petersen (1993) come riferimento.	28
Figura 4.3.1: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la deteazione di eventi a una profondità di 2 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).	31
Figura 4.3.2: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la deteazione di eventi a una profondità di 5 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).	31
Figura 4.3.3: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la deteazione di eventi a una profondità di 10 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).	32
Figura 4.4.1: Mappa degli epicentri calcolati per gli eventi riportati in Tabella 4.4.1 (colore e diametro dei cerchi in funzione, rispettivamente, della profondità e della magnitudo). 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. Infine, il numero vicino agli epicentri corrisponde all'ID elencati nella Tabella 4.4.1.	35
Figura 4.4.2: Mappa degli epicentri calcolati per gli eventi nel periodo relativo a questo rapporto di monitoraggio e riportati in Tabella 4.4.2 (colore e diametro dei cerchi in funzione, rispettivamente, della profondità e della magnitudo). 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. Infine, il numero vicino agli epicentri corrisponde all'ID elencato nella Tabella 4.4.2.	37
Figura 4.5.1: Confronto tra la stima della magnitudo momento (M_w) e la magnitudo locale (M_{Lbj}) per 10 eventi registrati dalla rete di monitoraggio di Longanesi tra il marzo 2023 e agosto 2025.	38
Figura 4.5.2: a) Sismicità registrata dalla Rete Sismica Nazionale, in un raggio di 10 km attorno al	

centro dei domini tra il 1988 e Maggio 2025; b) Grafico frequenza-magnitudo e stima della magnitudo di completezza dei dati della RSN presentati nella figura a) con diverse tecniche.	39
Figura 5.2.1: Interdistanze entro i 15 km tra tutte le stazioni GNSS, sia singola che a doppia frequenza, appartenenti sia al concessionario (blu) sia a reti private attive (gialle) e non attive (rosse) disponibili nell'area di monitoraggio della concessione di Longanesi.	42
Figura 5.2.2: risoluzione spaziale in termini di valore massimo della scala q di wavelet sferiche riproducibile con la distribuzione spaziale di tutte le stazioni GNSS disponibili per la concessione di Longanesi, corrispondente alla scala spaziale riportata in Tabella 5.2.1.	44
Figura 5.3.1: sito di installazione della stazione GNSS a doppia frequenza LONG.	45
Figura 5.4.1: Percentuale di RINEX giornalieri forniti per ogni mese di acquisizione della stazione LONG.	46
Figura 5.4.2: Analisi di qualità per ciascuna misura giornaliera della stazione LONG in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (A), di percentuale delle osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo di funzionamento effettivo giornaliero (B) e di percentuale di funzionamento effettivo della stazione nell'intervallo di tempo giornaliero di acquisizione dei dati (C).	47
Figura 5.5.1: Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione LONG residua dopo aver rimosso il termine lineare di spostamento stimato per ciascuna componente (Est, Nord e verticale). Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) degli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.	49
Figura 5.6.1: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 a settembre 2025 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).	52
Figura 5.6.2: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 a settembre 2025 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).	52
Figura 5.6.3: 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.	53
Figura 5.6.4: 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.	53
Figura 5.6.5: 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.	53
Figura 5.6.6: 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.	54
Figura 5.6.7: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 a settembre 2025 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).	54
Figura 5.6.8: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 a settembre 2025 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).	55
Figura 5.7.1: Planimetria dei capisaldi e degli anelli di livellazione fornita dal Concessionario: dettaglio in corrispondenza del Campo di Longanesi (linea rossa). Sono evidenziati i punti RLG400ITA, LG37 e LG42 (cfr testo).	56
Figura 6.1: Andamento della pressione di fluido (THP) del pozzo Longanesi 2dir e dei volumi di gas totale prodotto dal giacimento di Longanesi nel periodo 12/05-31/08 2025. I numeri da 1 a 4 inseriti in corrispondenza dell'aumento di pendenza della linea verde (gas estratto) indicano le quattro fasi di maggiore incremento nella produzione.	59
Figura 7.1: 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.	60
Figura B.1: PPSD calcolate sui dati registrati alle componenti E delle 7 stazioni interne ai domini (dati di maggio 2025). Le linee nere indicano il valore del 5° (curva sottostante), 50° (mediana, curva intermedia), e 95° (curva superiore) percentile. Le linee grigie indicano l'andamento dei valori minimo NLNM e massimo NHNM definiti da Petersen (1993) come riferimento.	84
Figura B.2: PPSD calcolate sui dati registrati alle componenti N delle 7 stazioni interne ai domini (dati di maggio 2025). Le linee nere indicano il valore del 5° (curva sottostante), 50° (mediana, curva intermedia), e 95° (curva superiore) percentile. Le linee grigie indicano l'andamento dei valori minimo NLNM e massimo NHNM definiti da Petersen (1993) come riferimento.	85
Figura C.1: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 0 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).	86
Figura C.2: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 1 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).	87
Figura C.3: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 2 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).	88
Figura C.4: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 3 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).	89
Figura C.5: 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 di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).	90
Figura C.6: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 6 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).	91
Figura C.7: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 6 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).	92
Figura C.8: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 7 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).	93

Figura C.9: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 8 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b). 94

Figura C.10: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 9 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b). 95

Figura C.11: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 10 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b). 96

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.

Trattandosi del primo rapporto semestrale, l'obiettivo principale è quello di verificare la 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 dei primi sei mesi di progetto, ovvero dal 06/03/2025 al 06/09/2025.

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 Oversite 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

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

1.1 TLS: Domini di monitoraggio

I domini di riferimento per il monitoraggio della concessione Longanesi sono stati definiti nel documento di gestione operativa (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 dedicato al monitoraggio della concessione di Longanesi (<https://cms.ingv.it/monitoraggi/longanesi>) all'indirizzo https://cms.ingv.it/images/documento-di-gestione-operativa-del-monitoraggio-DGOM-concessione-LONGANESI_web.pdf.

I domini di monitoraggio sono stati definiti prendendo come riferimento la proiezione in superficie del giacimento (definito operativamente come il poligono che delimita il contatto gas-acqua) che il Concessionario ha condiviso con la SPM. In particolare, tale proiezione è relativa al livello PL1-H che il Concessionario identifica come quello a maggior estensione e una profondità di riferimento di 2.522,3 m sotto il livello del mare (TVDSS). La Figura 1.1.1 mostra la proiezione in superficie dei domini DI (3 km dal contatto acqua-gas) e DE (ulteriori 5 km oltre il DI), mentre la Figura 1.1.2 mostra il profilo lungo la sezione A mostrata nella Figura 1.1.1.

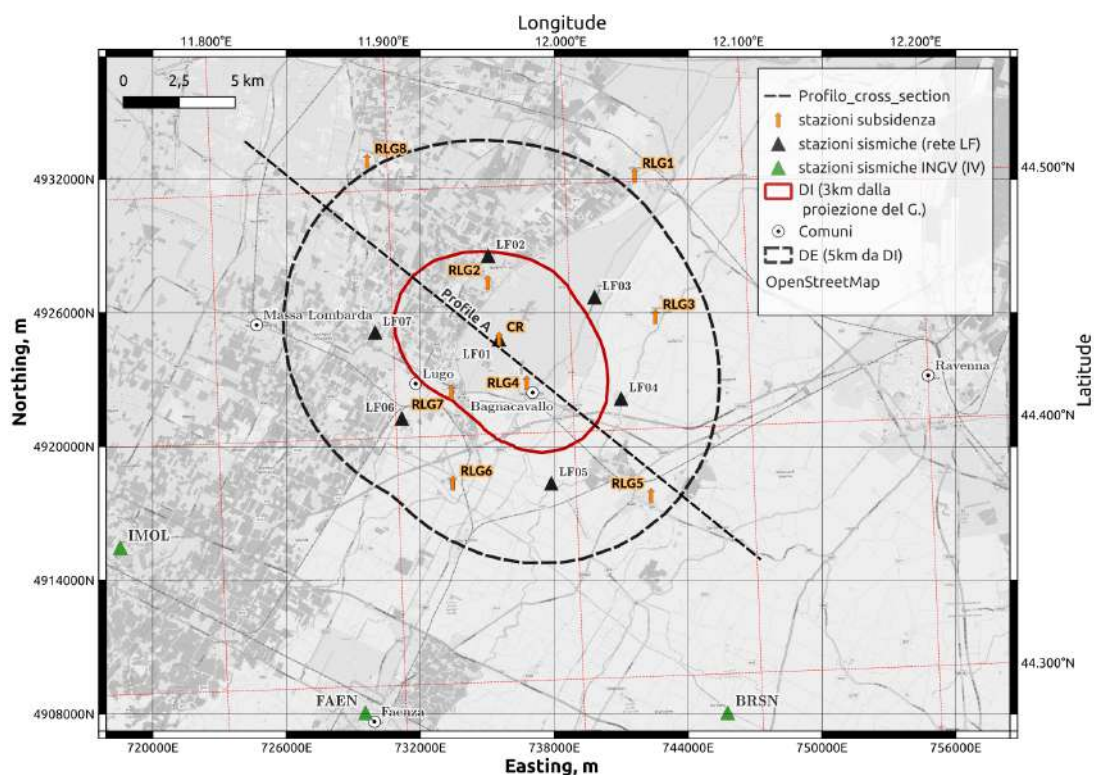


Figura 1.1.1: Domini di monitoraggio Interno (DI) ed Esteso (DE) adottati attualmente per il monitoraggio della concessione Longanesi.

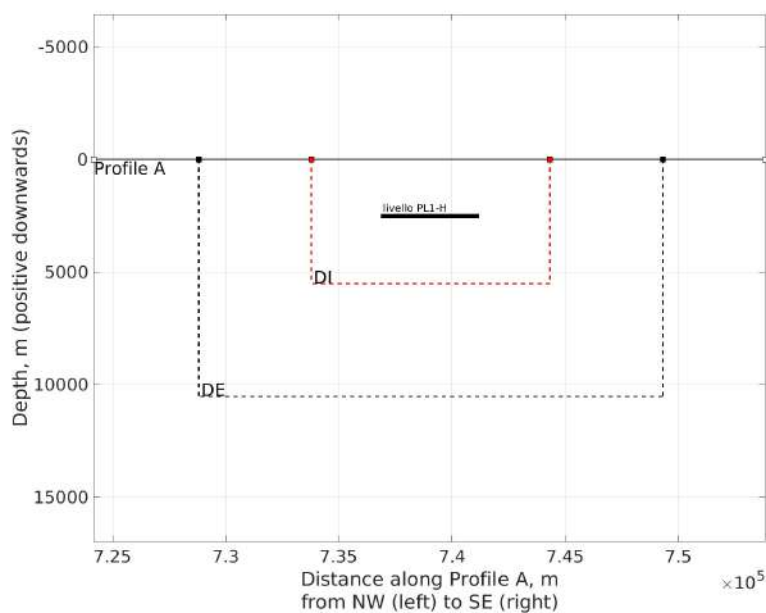


Figura 1.1.2: Sezione in profondità dei domini di monitoraggio DI e DE (lungo il profilo A in Figura 1.1.1).

1.2 TLS: Parametri e soglie

Coerentemente con quanto stabilito dagli ILG per le attività di produzione nel sottosuolo, nel DGOM è stata proposta l'adozione di un sistema decisionale definito attraverso quattro livelli di attivazione (0: Verde; 1: Giallo; 2: Arancione; 3: Rosso). Essendo una concessione per l'estrazione di idrocarburi, il sistema decisionale non prevede automatismi (p. 24 degli ILG come riportato al punto c) delle premesse).

Il sistema decisionale per la gestione del monitoraggio riportato nel DGOM è focalizzato solo su parametri derivati dal monitoraggio sismico. Tale scelta è motivata dal fatto che le variazioni dei "parametri sismici" avvengono su scale temporali relativamente brevi, in linea con i piani di intervento descritti dagli ILG e per i quali gli stessi ILG prevedono valori di riferimento. Al contrario, eventuali variazioni dei ratei di deformazioni del suolo legati all'attività del campo sono da considerarsi possibili, rilevabili e quantificabili, solo su scale temporali più estese, e possono essere gestite con tempistiche diverse da quelli previsti dagli ILG nei diversi livelli di attivazione e relativi piani di intervento.

Ai fini del modello decisionale per casi di reiniezione, gli ILG forniscono grandezze fisiche, intervalli di riferimento e valori di soglia solo per alcuni dei parametri che riguardano il monitoraggio sismico, ed in particolare per Magnitudo massima (M_{max}), accelerazione e velocità di picco al suolo (PGA e PGV, rispettivamente).

Secondo le indicazioni degli ILG, tali valori dovrebbero "[...] essere definiti ed esplicitati caso per caso per ogni concessione, anche in funzione delle caratteristiche sismotettoniche dell'area di attività e comunque dopo il periodo di monitoraggio previsto in condizioni non perturbate (cfr. Capitolo 5.3), in cui viene rilevata la sismicità di fondo".

Gli ILG non definiscono valori di soglia per il sistema decisionale nel caso, quale il presente, in cui non vi è reiniezione. In assenza di tale riferimento, la SPM in prima istanza si riferisce ai valori riportati negli ILG nel caso della reiniezione (ILG § 9.4, Tabella 4). Tali valori di riferimento, infatti, derivano da considerazioni inerenti la corrispondenza fra i parametri del moto del suolo (M , PGA e PGV), la percettibilità in superficie e l'intensità degli effetti. Si specifica che, rispetto a quanto definito dagli ILG, sono state effettuate correzioni per un errore materiale nell'unità di misura della velocità di picco (PGV), ed un'ambiguità nell'attribuzione delle magnitudo locali ai diversi intervalli, per cui i valori di riferimento erano contemporaneamente attribuiti a due livelli di attivazione differenti (**Tabella 1.2.1**).

Inoltre, si fa presente che la concessione Longanesi è adiacente alla concessione di stoccaggio gas denominata "San Potito e Cotignola stoccaggio" - Società Edison Stoccaggio s.p.a., per la quale il ruolo di SPM è assegnato all'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale ("OGS"). La delibera di Giunta della Regione Emilia-Romagna n. 2266 del 21 dicembre, per gli aspetti relativi al monitoraggio della subsidenza e della sismicità, evidenzia "[...] la necessità che le SPM delle due Concessioni considerino anche valori di

riferimento comuni per i livelli di attivazione delle diverse fasi di gestione delle attività previsti dal Cap. 9 degli ILG [...].

Con tale obiettivo, le due SPM, con la nota prot. n. 91990 del 20/05/2024 si sono impegnate al rispetto di quanto richiesto e con tale obiettivo sono in corso di finalizzazione appositi accordi di riservatezza per lo scambio dati. Sempre in tale ottica, il DGOM è stato redatto in stretta collaborazione con OGS, utilizzando i medesimi valori di riferimento.

Livello	Stato Corrispondent e	Caratteristiche degli eventi	M_L	PGA (% g)	PGV (cm/s)
0	Ordinarietà	Micro-eventi o eventi molto deboli rilevati solo dagli strumenti	$M_L \leq 1.5$	$PGA \leq 0.5$	$PGV \leq 0.4$
1	Attenzione	Eventi deboli al di sotto del livello di percezione	$1.5 < M_L \leq 2.2$	$0.5 < PGA \leq 2.4$	$0.4 < PGV \leq 1.9$
2	Valutazione della possibile riduzione delle attività	Eventi deboli che possono essere percepiti	$2.2 < M_L \leq 3$	$2.4 < PGA \leq 6.7$	$1.9 < PGV \leq 5.8$
3	Valutazione della possibile riduzione o sospensione delle attività	Eventi moderati o forti che sono percepiti	$M_L > 3$	$PGA > 6.7$	$PGV > 5.8$

Tabella 1.2.1: Intervalli dei parametri di monitoraggio rilevati nel dominio interno di rilevazione (DI) definiti nel DGOM per la gestione del monitoraggio ai fini della valutazione dei passaggi tra livelli di attivazione [Modificato dalle Tabelle 2 e 4 degli ILG]. Sono definiti i seguenti parametri: magnitudo massima (M_{max}), accelerazione di picco al suolo (PGA) e velocità di picco al suolo (PGV) [Modificato dagli ILG, Tabella 4].

2 Inquadramento geologico

L'inquadramento geologico dell'area in cui ricade la concessione denominata "Longanesi" è suddiviso in due sezioni: una descrive l'assetto tettono-stratigrafico, l'altra tratta della deformazione del suolo con particolare riferimento alla subsidenza. Questo secondo paragrafo è stato inserito nella Sezione 2 perché, come per altre aree della Pianura Padana, la configurazione stratigrafico-sedimentaria contribuisce alla subsidenza naturale.

2.1 Assetto tettono-stratigrafico

La concessione "Longanesi" ricade in una zona della provincia di Ravenna, compresa tra i Comuni di Lugo, Fusignano, Bagnacavallo e Cotignola. L'area si estende in un settore di bassa pianura, caratterizzato da un'altitudine media di circa 10 m (SLM) e da una superficie topografica che immerge gradatamente verso NE. I fiumi principali di questa porzione di pianura (Santerno, Senio e Lamone) sono generalmente pensili e scorrono da SO verso NE, secondo il gradiente topografico regionale (Calabrese & Cibi 2009).

In superficie, l'area in cui ricade la concessione è costituita dai depositi di piana alluvionale tardo-quadernari della Pianura Padana (Figura 2.1.1).

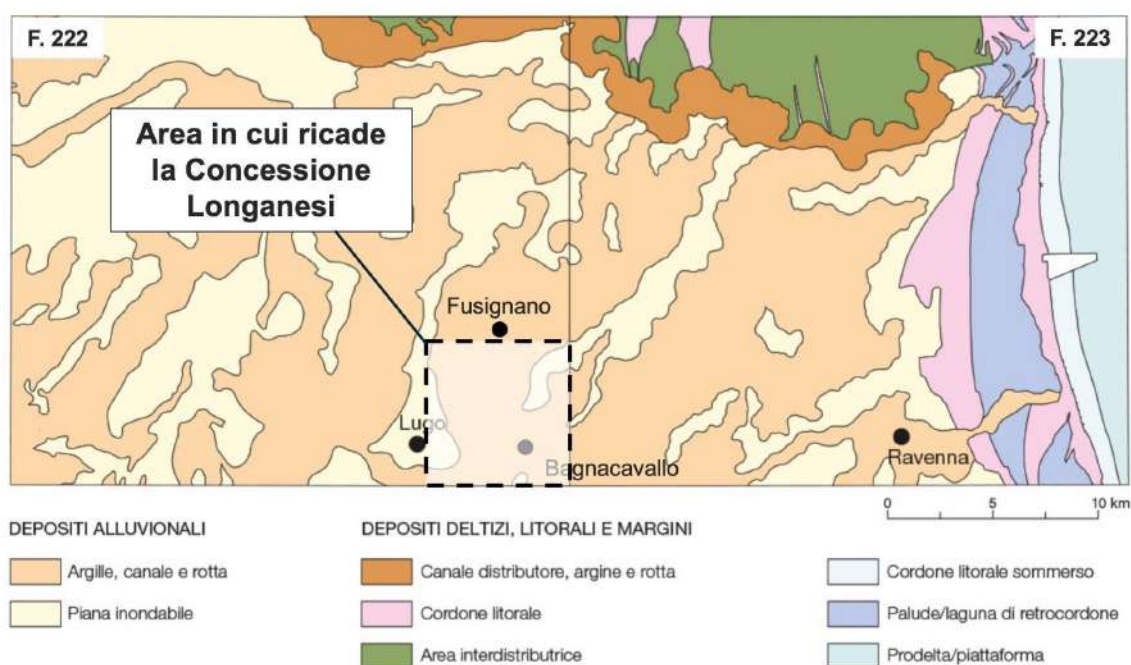


Figura 2.1.1: Schema degli ambienti deposizionali superficiali e ubicazione dell'area in cui ricade la concessione "Longanesi" (immagine modificata dal Foglio 222, Lugo, del Servizio Geologico d'Italia, 2009).

In profondità, la concessione si trova in corrispondenza di una delle strutture sepolte dell'arco ferrarese-romagnolo della Catena Appenninica (**Figura 2.1.2**), un sistema tettonico che si è formato in relazione alla subduzione ovest-vergente della placca Adriatica al di sotto della placca Europea (Argnani e Ricci Lucchi, 2001; Boccaletti et al. 1990; Doglioni, 1993; Ricci Lucchi 1986).



Figura 2.1.2: Caratteristiche geologiche dell'area in cui ricade la concessione "Longanesi": a) principali lineamenti tettonici dell'Italia Settentrionale con evidenziata (reticolo puntinato) la zona di avanfossa (immagine modificata da Scrocca et al., 2007); b) schema generale della subduzione vergente ad ovest (immagine modificata da Doglioni, 1994).

Tale sistema è il risultato dell'interazione tra attività tettonica compressiva e processi di sedimentazione e subsidenza. In particolare, dal punto di vista strutturale si individuano una serie di pieghe e sovrascorrimenti che coinvolgono successioni via via più giovani andando dall'interno all'esterno della catena (da SW a NE in **Figura 2.1.3**). Queste strutture corrispondono ad anticlinali orientate NW-SE, sovrascorse verso NE e delimitate verso SW da faglie inverse antitetliche (e.g., relazione tecnica del Campo di Alfonsine, Eni 2014). La fase deformativa ha luogo nell'area in esame a partire dal Miocene superiore e prosegue in modo più intenso durante il Pliocene e il Pleistocene inferiore. In concomitanza alla deformazione tettonica, i sedimenti, in prevalenza torbiditici e originati dall'erosione delle parti emerse della catena, vengono depositati in avanfossa e nei bacini formati ai margini interni dei sovrascorrimenti (Ghielmi et al., 2013). Con il progressivo aumento della coltre sedimentaria, l'ambiente deposizionale evolve da marino a continentale e, a partire dal Pleistocene Medio, la sedimentazione diviene prevalentemente di tipo alluvionale (Martelli et al., 2009).

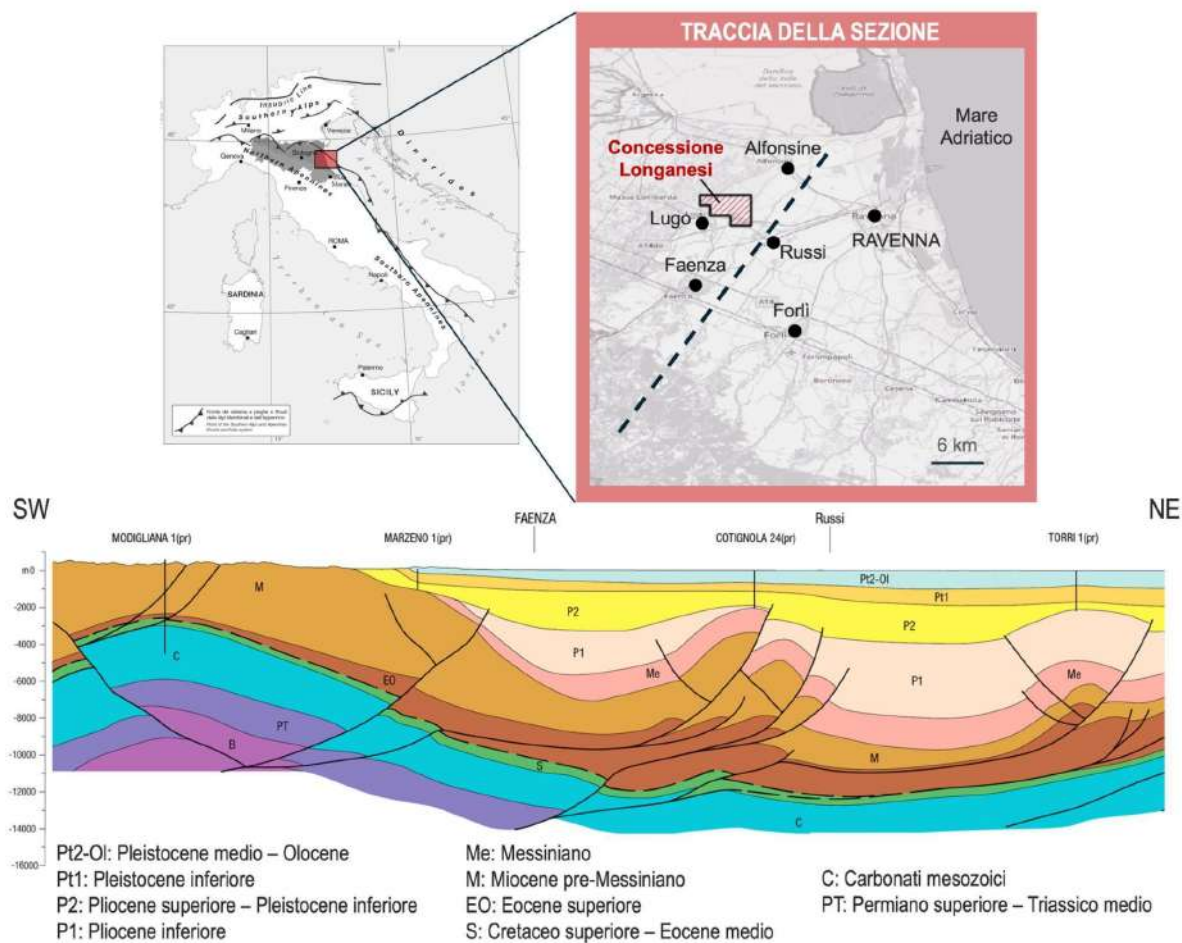


Figura 2.1.3: Sezione geologica tracciata in prossimità della concessione “Longanesi” (immagine modificata da Martelli et al., 2017).

Il passaggio delle imponenti correnti torbiditiche di mare profondo porta alla deposizione di spesse alternanze di sedimenti fini e grossolani (Ghielmi et al., 2013), fra cui si identificano le seguenti formazioni geologiche: Marnoso Arenacea (Miocene superiore), Fusignano (Messiniano), Porto Corsini (Pliocene inferiore-medio), Porto Garibaldi (Pliocene medio-superiore e Pleistocene inferiore) e Carola (Pleistocene). A partire dagli anni '50, sono state fatte numerose scoperte di gas nei livelli sabbiosi di queste torbiditi, fra cui, ad esempio, le arenarie tortoniane del Campo di Marzeno o le sabbie plioceniche dei Campi di S. Potito e Alfonsine (FOIC, 1998).

2.2 Assetto deformativo

L'assetto tettono-stratigrafico regionale ha un forte impatto anche sulle deformazioni del suolo dell'area. La Pianura Padana è un'area tra le più soggette al fenomeno della subsidenza in Italia. Qui la subsidenza naturale è dovuta principalmente alla compattazione dei sedimenti della piana alluvionale del Po, che si compattano a causa del loro peso e spesso non sono

controbilanciati dall'apporto di nuovo materiale fluviale. Nelle aree di grande subsidenza tettonica, l'accumulo dei sedimenti è maggiore. Esiste una relazione tra lo spessore dei sedimenti e la subsidenza naturale: essa si riduce infatti nelle aree dove lo spessore dei sedimenti è minore, ad esempio nell'area a Nord del delta (Gambolati et al., 1998, 1999; Teatini et al., 2005, 2006).

Inoltre la Pianura Padana è sicuramente uno dei casi più noti di subsidenza indotta da un'intensa attività umana, imputabile a due principali processi: lo sfruttamento di reservoir di idrocarburi e delle falde acquifere. La produzione di idrocarburi è iniziata in Pianura Padana circa a metà del secolo scorso e oggi, con la generale diminuzione della produzione di idrocarburi nell'area, l'impatto di questo tipo di attività risulta ridotto rispetto al passato. Lo sfruttamento delle falde acquifere, che ha raggiunto un picco tra gli anni '70 e '80 ha interessato acquiferi superficiali e profondi, per scopi industriali, agricoli e civili, ed è attivo ancora oggi seppur in maniera ridotta.

A scala locale, nella porzione di territorio comprendente la concessione di Longanesi tra i comuni di Ludo, Bagnocavallo e Fusignano, i dati di deformazione pubblicati dall'Agenzia Regionale per la Prevenzione l'Ambiente e l'Energia dell'Emilia Romagna (ARPAE, <https://servizi-gis.arpae.it/Html5Viewer/index.html?locale=it-IT&viewer&viewer=Geoportal.Geoportal>) mostrano una generale subsidenza di pochi millimetri con un massimo di abbassamento compreso tra 7.5 e 10 mm/anno, per il periodo 2016-2021.

3 Sismicità dell'area

L'analisi preliminare della sismicità storica e recente della zona della concessione di estrazione di gas denominata 'Longanesi' è stata svolta prendendo in considerazione un'area di circa 1.450 Km² 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 3.1**).

Per quanto riguarda la sismicità storica dell'area, è stato consultato innanzitutto il catalogo PFG (Progetto Finalizzato Geodinamica; Postpischl, 1985) in cui sono raccolti i terremoti italiani avvenuti dall'anno 1000 fino al 1980, senza soglia di intensità, corredati di tutti i parametri epicentrali. Questo rappresenta, a tutt'oggi, un punto di riferimento per lo studio dei terremoti storici di bassa magnitudo. Successivamente, i dati estrapolati dal PFG sono stati confrontati e integrati con quelli inclusi nel più recente e aggiornato Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15; Rovida et al., 2022), che contiene tutti gli eventi sismici dal 1000 al 2020 con Magnitudo ≥ 4.0 o intensità ≥ 5 , escludendo quindi gli eventi di minore energia, ma coprendo gli anni dal 1980 al 2020 e in certi casi riportando dati rivisti e più accurati.

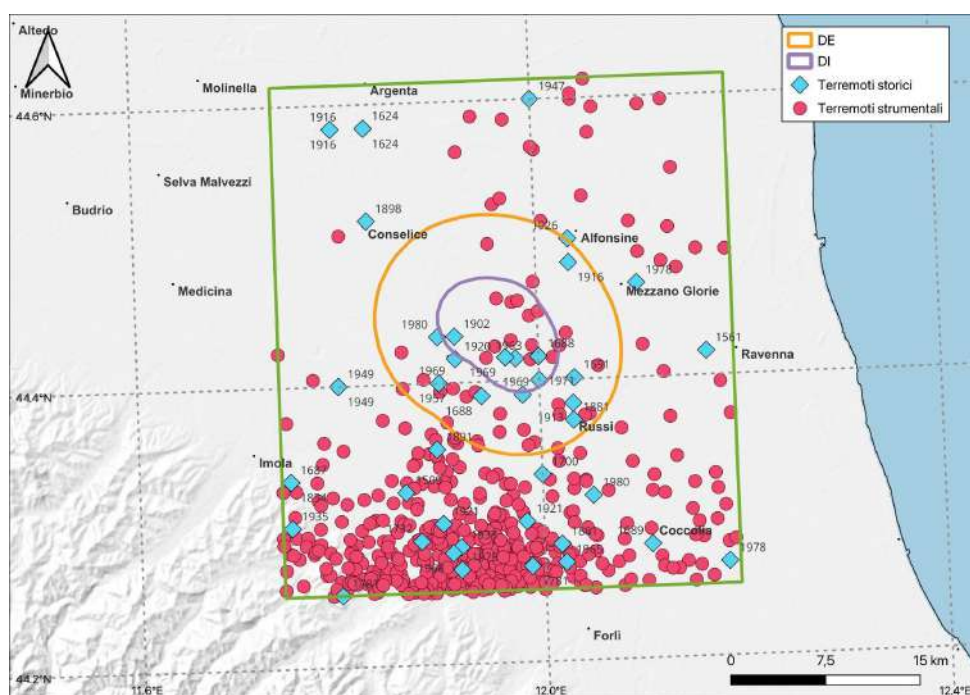


Figura 3.1: Mappa della distribuzione dei terremoti che ricadono nell'area di interesse (rettangolo in verde), sia storici (relativi al periodo 1000-1985, rombi turchesi) che strumentali (relativi al periodo 1985-2024, cerchi rosa). Il contorno viola identifica il DI mentre quello arancione identifica il DE.

Il lavoro svolto ha portato all'identificazione di 177 terremoti storici tra eventi principali e repliche ad essi associati, per lo più eventi di energia moderata ($M < 5.5$).

Di questi 177 eventi però, alcuni che da PFG ricadono internamente alla zona investigata, vengono poi localizzati, in base ai nuovi studi del CPTI15, esternamente al poligono. Escludendo quindi questi eventi più probabilmente esterni ai domini, solo 67 (**Tabella A.3.1**, in Appendice A, e **Figura 3.1**) risultano localizzati nell'area di studio.

Per la sismicità strumentale recente, ovvero dal 1985 ad oggi, è invece possibile consultare il bollettino dei terremoti strumentali registrati e localizzati dall'INGV (<https://www.ingv.it>; accesso 12 giugno 2025). In questo caso abbiamo effettuato una ricerca sull'area di interesse per tutti gli eventi di magnitudo $-1 < M < 10$ e profondità comprese tra -10 e 50 Km. Sono stati individuati 507 terremoti (**Tabella A.3.2**, in Appendice A, e **Figura 3.1**), tutti con magnitudo (M_d o M_L) ≤ 4.5 .

Dall'analisi preliminare condotta integrando le informazioni presenti nei cataloghi PFG e CPTI per la sismicità storica (1000-1985), e completando con i dati del bollettino INGV per quella recente (dal 1985 al 2025), emerge che l'area è caratterizzata prevalentemente da una sismicità di bassa o moderata energia ($M < 5.5$), con una maggiore concentrazione di eventi sismici nella parte sud dell'area considerata, a causa della vicinanza dell'Appennino. La mappa in **Figura 3.1** rappresenta la distribuzione geografica dei 67 terremoti storici (rombi turchesi) e dei 507 strumentali (cerchi rosa) identificati. Nella mappa sono rappresentati anche i contorni dei domini di monitoraggio (DI in viola e DE in arancione): nell'area del DI si osservano 5 eventi sismici in epoca storica e 11 da catalogo strumentale, mentre nel DE sono stati identificati 9 terremoti avvenuti in età storica e 24 più recenti, rilevati strumentalmente. Si sottolinea comunque come altri eventi ricadano appena fuori del contorno del DE e data l'incertezza di localizzazione (difficile da stimare per eventi storici), potrebbero essere in realtà di interesse per creare un quadro completo.

Per gli eventi che, in mappa (**Figura 3.2**), ricadono all'interno dei contorni viola e arancione (DI e DE, rispettivamente), è comunque necessario considerare anche la rispettiva profondità ipocentrale, ai fini dell'effettiva collocazione all'interno del dominio, compatibilmente con i limiti di risoluzione delle localizzazioni strumentali. Ad esempio, i terremoti che in mappa ricadono nel DI appartengono effettivamente a tale dominio solo se la loro profondità è inferiore a 8 Km. Tra questi, soltanto due eventi soddisfano tale criterio: essi sono evidenziati in fucsia nella **Tabella A.3.2**. Per profondità comprese tra 8 e 13 Km, il dominio di appartenenza è il DE (Dominio Esteso). In questo intervallo rientrano effettivamente 14 eventi, che sono evidenziati in rosa nella **Tabella A.3.2**. Tutti gli eventi con profondità superiori a 13 km, risultano al di fuori di entrambi i domini.

4 Monitoraggio sismico

4.1 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. L'elenco completo è riportato in **Tabella 4.1.1** e la loro posizione è visibile nella mappa di **Figura 1.1.1**. La rete LF è stata installata durante i primi mesi del 2023. E' importante ricordare che, al momento dell'installazione della rete sismica, le fu assegnato il codice RL, che è stato poi sostituito dall'attuale codice LF in data 30 luglio 2025, in concomitanza con la registrazione della rete all'*International Federation of Digital Seismograph Networks* (FDSN). L'informazione della rete registrata è consultabile al link: <https://www.fdsn.org/networks/detail/LF/>.

La SPM acquisisce i dati in tempo reale a partire dal 13 dicembre 2024. I dati pregressi sono stati trasmessi dall'operatore e analizzati in modalità *offline-playback*. Tutte le stazioni utilizzate per il monitoraggio della concessione Longanesi operano in continuo, sono equipaggiate con velocimetri (6 sismometri di corto periodo e un broadband) e accelerometri, temporizzate con GPS e acquisiscono 200 campioni al secondo (passo di 0.005s) per ogni canale.

Rete*	Codice Stazione	Longitude [°N]	Latitudine [°E]	Sensori
LF	LF01	11.9595	44.4383	Sismometro 'corto periodo', e accelerometro
LF	LF02	11.9551	44.4722	Sismometro 'corto periodo', e accelerometro
LF	LF03	12.0141	44.4540	Sismometro 'corto periodo', e accelerometro
LF	LF04	12.0270	44.4126	Sismometro 'corto periodo', e accelerometro
LF	LF05	11.9860	44.3795	Sismometro: - 'banda larga' (dall'inizio al 18/10/2023)

				- 'corto periodo' (dal 19/10/2023 al 14/04/2025) - 'banda larga' (da 15/04/2025 ad oggi) e accelerometro
LF	LF06	11.9033	44.4078	Sismometro 'corto periodo', e accelerometro
LF	LFL07	11.8899	44.4429	Sismometro 'corto periodo', e accelerometro
IV	BRSN	12.0802	44.2842	Sismometro 'corto periodo', e accelerometro
IV	FAEN	11.8770	44.2895	Accelerometro
IV	IMOL	11.7425	44.3596	Sismometro 'corto periodo', e accelerometro

Tabella 4.1.1: 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.

Come si può vedere nella **Figura 1.1.1**, le stazioni della rete IV contribuiscono a coprire i domini di monitoraggio nella zona Sud.

La rete LF è stata disegnata posizionando la stazione LF01 circa al centro dell'area di interesse, mentre le altre 6 stazioni sono posizionate grosso modo attorno al giacimento. Due stazioni ricadono all'interno del DI (LF01 e LF02), con distanza tra le stazioni di circa 3.8 km (**Figura 1.1.1**). Le distanze inter-stazione tra la LF01 (al centro) e le altre 5 stazioni varia tra 6.3 e 8.0 km (distanza media: 7.3 km), mentre la distanza tra stazioni adiacenti nel perimetro della rete varia tra 4.2 e 9.7 km (distanza media: 6.6 km).

Anche se l'idoneità della rete di monitoraggio sarà valutata su base prestazionale, gli ILG forniscono delle raccomandazioni, ovvero dei riferimenti tecnico-pratici su come progettare la rete di monitoraggio sismico che riassumiamo nei seguenti punti (cap. 5.3, ILG):

- Interdistanza tra stazioni di 3-5 km nel DI che aumenti progressivamente nel DE*
- Stazioni composte da velocimetro e accelerometro, i primi anche a corto periodo ($T < 1s$) ma almeno uno a larga banda ($T > 20-40s$)*
- Acquisizione in continuo con frequenza di campionamento di almeno 200 e 100 campioni al secondo rispettivamente per i sismometri e gli accelerometri (250 Hz per sensori in pozzo), trasmissione in tempo reale e temporizzazione tramite GPS*
- Si raccomanda che la stazione a banda larga sia co-locata con una stazione GPS permanente*

- e) *In caso di elevato rumore sismico di fondo si consiglia un'installazione dei sensori in pozzi di almeno 100/200 m di profondità*
- f) *Adottare strategie per una copertura del dato sismico di almeno il 95% del tempo di registrazione*
- g) *Adeguate curve di risposta per strumenti e acquisitori che siano aggiornate nel tempo*

È possibile quindi constatare che la rete, per geometria e strumentazione, soddisfa i punti a), b) e c) di queste raccomandazioni; per quanto riguarda il punto d), una stazione GNSS per il monitoraggio della subsidenza è co-locata con la stazione LF.LF01 (che è però di corto periodo); inoltre, sono state create le curve di risposta di tutte le stazioni sismiche, rispondendo quindi anche al punto g). Per quanto riguarda i punti e) e f) si rimanda ai capitoli successivi (Cap. 4.2 e 4.3).

4.2 Funzionamento della rete sismica 03/2023-05/09/2025

Considerando il dataset a disposizione della SPM, tra gennaio 2023 ed il 5 settembre 2025 le 7 stazioni della rete LF hanno acquisito costantemente, come visibile in **Figura 4.2.1** dove viene mostrata la disponibilità dei dati per ogni stazione per tutto il periodo.

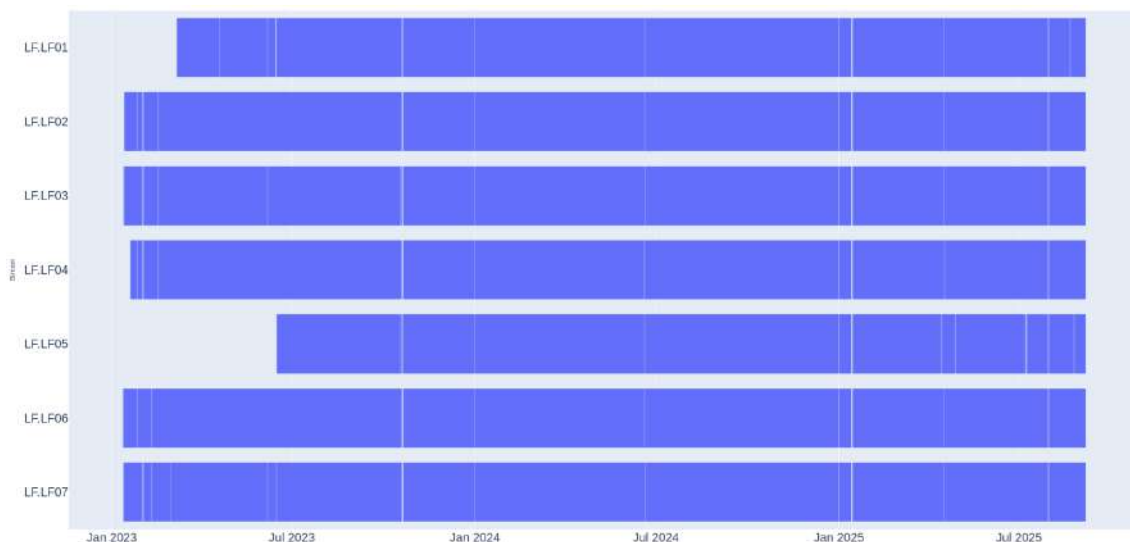


Figura 4.2.1: Rappresentazione grafica del funzionamento delle 7 stazioni della rete LF. Ad ogni giorno di effettiva registrazione del dato sismico corrisponde una barra verticale blu, quindi la mancata colorazione indica i periodi di interruzione del flusso di dati per malfunzionamento.

La **Tabella 4.2.1** riporta la percentuale di dato acquisito per ogni stazione, sia per tutto il periodo di funzionamento 2023-2025, che per ogni singolo anno. Nel complesso si osserva un corretto funzionamento delle stazioni, con percentuali di acquisizione ben superiori alla soglia

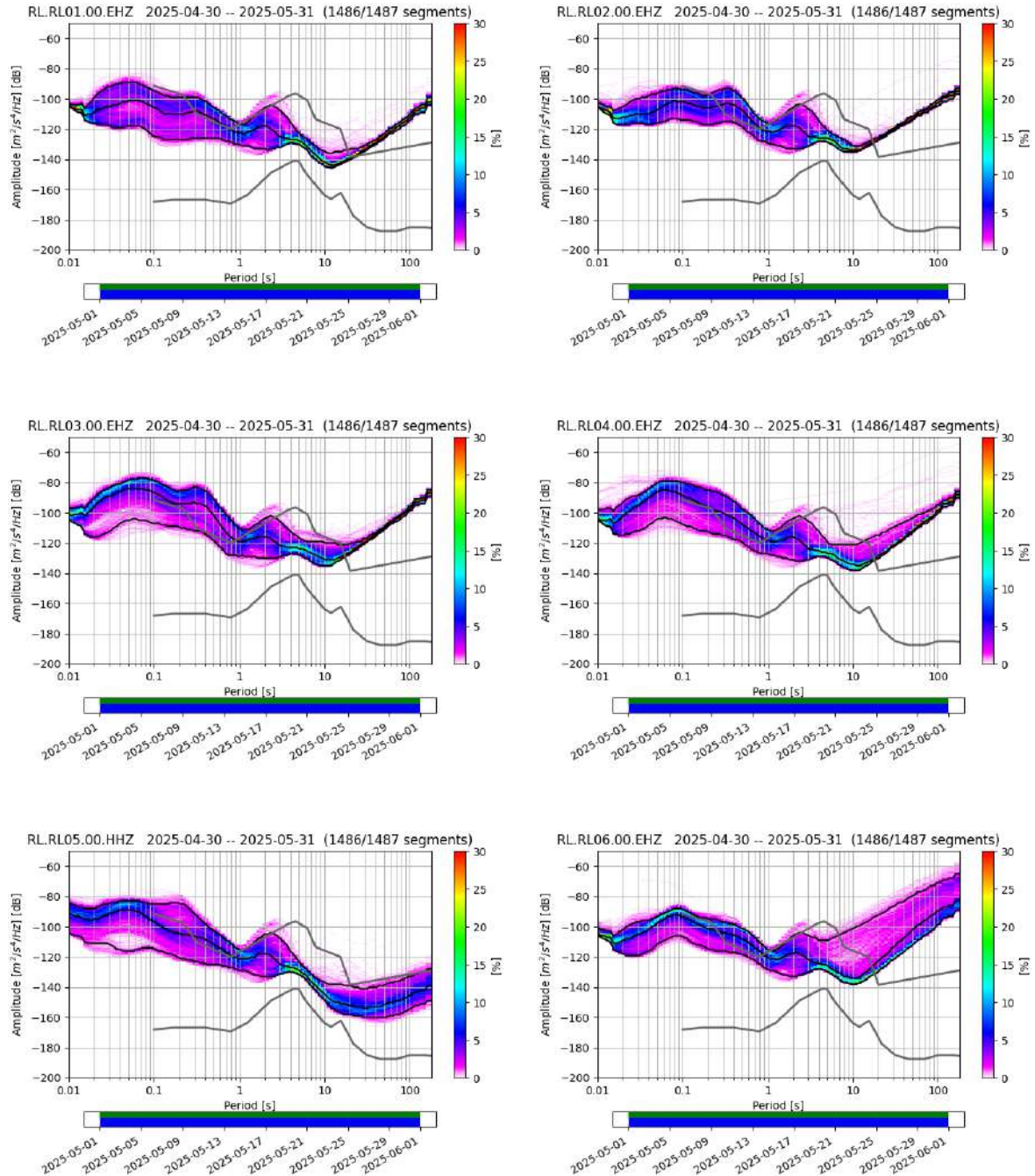
del 95% indicata nella raccomandazione f) degli ILG (cap. 5.3 e riportata all'inizio di questa sezione). Solo la stazione LF05 registra una percentuale di dato acquisito per l'anno 2023 molto bassa, dovuta ad un'interruzione del dato dal 05/03/2023 al 13/06/2023. Ovviamente questo si ripercuote anche sulla percentuale di acquisizione relativa all'intero periodo (2023-2025).

	LF01	LF02	LF03	LF04	LF05	LF06	LF07
2023	99.8%	99.8%	99.8%	99.8%	66.5%	99.5%	99.7%
2024	100%	100%	100%	100%	100%	99.5%	100%
2025	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	100%	99.6%	99.6%
2023-2025	99.5%	99.5%	99.5%	99.5%	88.7%	99.2%	99.5%

Tabella 4.2.1: Percentuali della disponibilità del dato per ogni stazione calcolate per tutto il periodo 2023-2025 e anno per anno. In giallo sono evidenziati i periodi con meno dati rispetto al 95% consigliato dagli ILG.

Il segnale sismico registrato in continuo dalle stazioni operanti nell'area di interesse per l'AQ, fornisce uno strumento utile per ricavare informazioni sulla rumorosità del registro (rispetto a valori di riferimento generalmente usati in sismologia) e sulle prestazioni della rete sismica in termini di capacità di rilevazione di eventi di bassa 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 di frequenza volte alla definizione della funzione densità di probabilità della PSD (*Probability Power Spectral Density*, PPSD), dalla quale è possibile ricavare indicatori statistici circa i livelli spettrali del rumore caratteristici per la stazione. Abbiamo utilizzato le funzioni di 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 PPSD. Le curve delle PPSD per le registrazioni alle componenti verticali delle 7 stazioni della rete LF sono mostrate in **Figura 4.2.2** (analoghe figure per le componenti orizzontali sono riportate in Appendice B), dove ogni grafico mostra la densità di probabilità a diversi periodi (scala di colori) e l'andamento dei valori del 5°, 50° (mediana) e 95° percentile, ottenuti considerando i dati registrati durante il mese di maggio 2025. Per tutte le stazioni si osservano valori molto rumorosi (la mediana risulta confrontabile con il massimo livello di rumore NHNM (New High Noise Model) calcolato da Petersen (1993), indicato con la curva grigia più alta in tutte le figure) nell'intervallo compreso tra 0.1 e 1.0 s (corrispondente alle frequenze ~1-10 Hz). Queste amplificazioni delle registrazioni sismiche per determinate frequenze sono caratteristiche dei bacini sedimentari o alluvionali come la Pianura Padana, ed associate a fenomeni di risonanza nella coltre sedimentaria su cui poggiano le stazioni (Luzi et al., 2013; Tarabusi et al., 2024). Tale banda di frequenza è comune agli eventi sismici che, se poco

energetici, possono quindi essere nascosti dai livelli di rumore elevati, con conseguente necessità di adottare strategie come l'installazione dei sensori in pozzi profondi (raccomandazione degli ILG; si veda anche Zaccarelli et al., 2021).



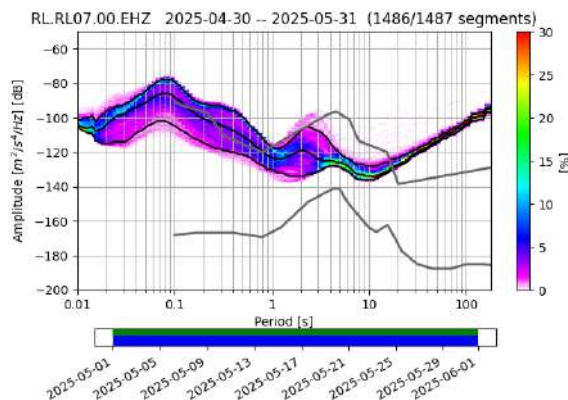


Figura 4.2.2: PPSD calcolate su dati continui registrati alle componenti verticali delle 7 stazioni della rete LF nel mese di maggio 2025 (periodo nel quale la rete utilizza ancora il codice rete temporaneo 'RL'). Le linee nere indicano il valore mediano (50th percentile), oltre al 5° (curva sottostante) e 95° (curva superiore) percentili. Le linee grigie indicano l'andamento dei valori minimo NLNM (New Low Noise Model) e massimo NHNM (New High Noise Model) definiti da Petersen (1993) come riferimento.

4.3 Analisi preliminare di capacità di detezione: Soglie di detezione dallo studio del rumore sismico ambientale

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” (cap. 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 ML compresa tra 0 e 1 ($0 \leq ML \leq 1$) 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.”*

I dati sismici registrati con la rete LF, al momento di chiusura di questo rapporto, coprono una finestra temporale di circa 30 mesi (marzo 2023 - agosto 2025). Tuttavia, il numero di terremoti finora registrati dalla rete (vedere Cap. 4.4) risulta ancora insufficiente per effettuare

valutazioni statistiche sull'andamento della sismicità e, pertanto, non è ancora possibile effettuare una valutazione delle prestazioni della rete in confronto con la sismicità passata (storica-strumentale) locale.

Abbiamo utilizzato misure di rumore sismico derivate dalle PSD relative alle diverse stazioni operanti nell'area soggetta al monitoraggio, calcolate su un mese di dati, per valutare teoricamente 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. 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). E' stato utilizzato il modello di sorgente di Brune in un mezzo omogeneo per rappresentare gli spettri di ampiezza delle fasi P e S per terremoti di momento sismico fissato e posizionati ad una fissata distanza ipocentrale dalle stazioni. 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, sono stati adottati i seguenti parametri generici: stress-drop $\Delta\sigma = 1.0$ MPa, attenuazione $t^* = 0.08$, $V_p = 4.126$ m/s, $V_s = 2.383$ m/s, densità $\rho = 2.4$ g/cm³. Adottando tali parametri, l'ampiezza teorica delle onde P e S dipenderà dalla distanza ipocentrale sorgente-ricevitore, cioè dalla posizione del terremoto rispetto alle stazioni, oltre che dal livello di rumore che caratterizza le stazioni della rete.

Al fine di indagare la dipendenza areale della soglia di detezione, è stato discretizzato il volume dell'area monitorata e calcolato il segnale prodotto dalle sorgenti sismiche esplorando diverse posizioni ipocentrali selezionate ai nodi di una griglia cubica regolare 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 (vedere Cap. 4.2) sia per le componenti verticali che per le componenti orizzontali. Dalle componenti verticali sono state ricavate le soglie di detezione per le fasi P mentre dall'analisi condotta sulle componenti orizzontali sono state calcolate le soglie di detezione 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 acquisizione utilizzato per la detezione automatica degli eventi sismici; inoltre, questi valori dovrebbero fornire una stima robusta della soglia di detezione, approssimabile alla magnitudo di completezza dell'area (Vassallo et al., 2012).

Le **Figura 4.3.1**, **Figura 4.3.2**, e **Figura 4.3.3** mostrano le mappe delle soglie di detezione determinate per l'area della concessione Longanesi, per le onde P e S, per diverse profondità: le mappe si riferiscono alla magnitudo momento (M_w) minima teorica di rilevamento (da

intendersi come magnitudo teorica di completezza) alla profondità ipocentrale di 2 km (circa la profondità di riferimento del giacimento per la definizione dei domini, **Figura 4.3.1**), di 5 km (circa il limite in profondità del DI, **Figura 4.3.2**), e di 10 km (circa il limite in profondità del DE, **Figura 4.3.3**). Nell'Appendice C si presentano le mappe per altre soglie di profondità (da 0 a 10 km). Queste analisi teoriche indicano che le più piccole magnitudo momento rilevabili utilizzando la rete integrata (LF e IV) nei domini di monitoraggio sono comprese tra 1,9 (nella zona W-SW) e 2,3 (nella zona E-NE) per le onde P, e tra 1,3 (W-SW) e 1,7 (E-NE) per le onde S (Figura 4.3.1 e Figura 4.3.2), per profondità attorno ai 2 km. Per profondità attorno a 5 km, tali valori aumentando di circa 0.2 unità di magnitudo.

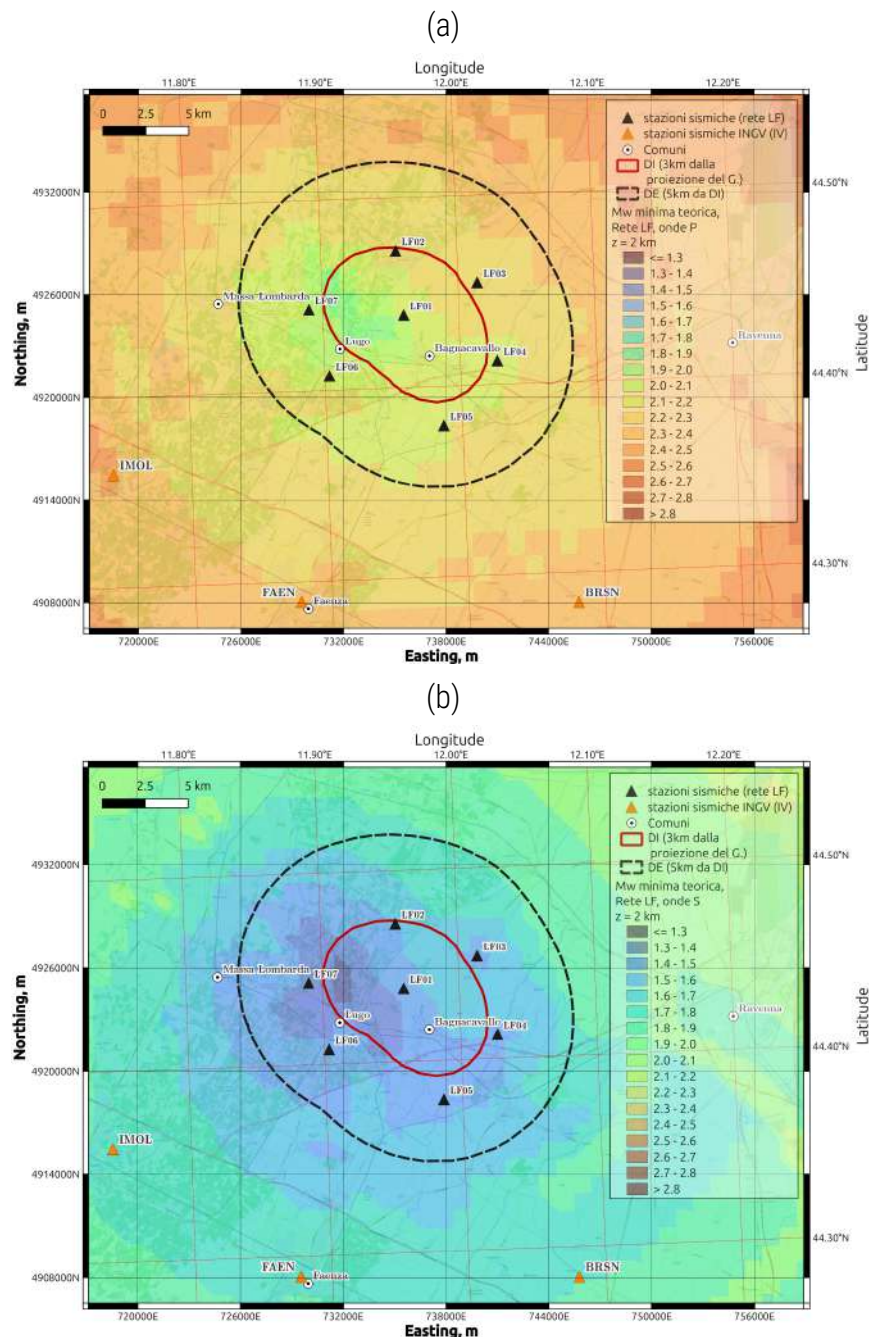


Figura 4.3.1: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 2 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).

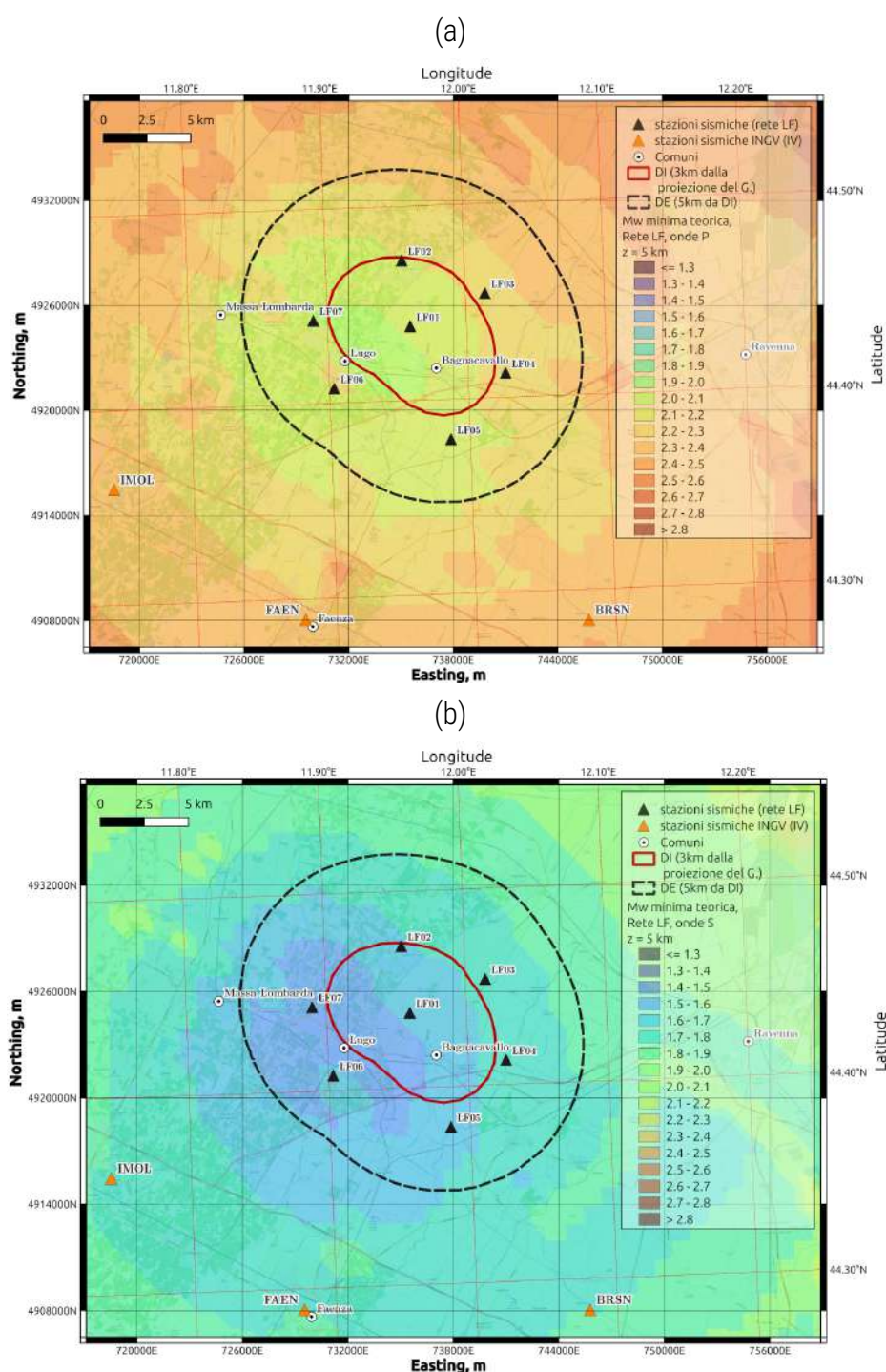
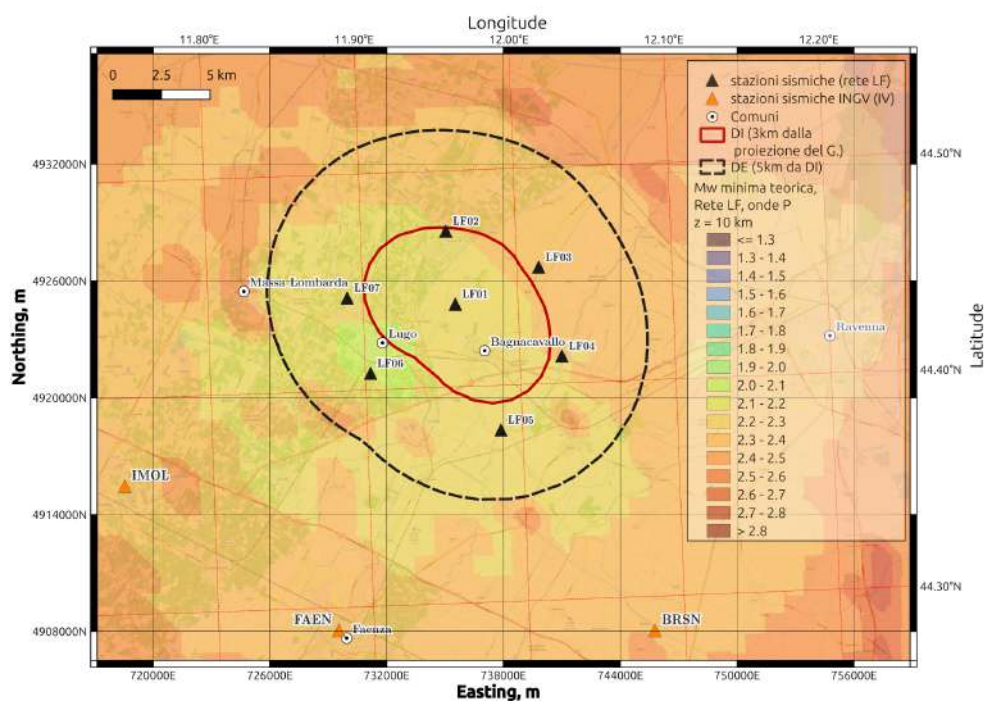


Figura 4.3.2: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 5 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).

(a)



(b)

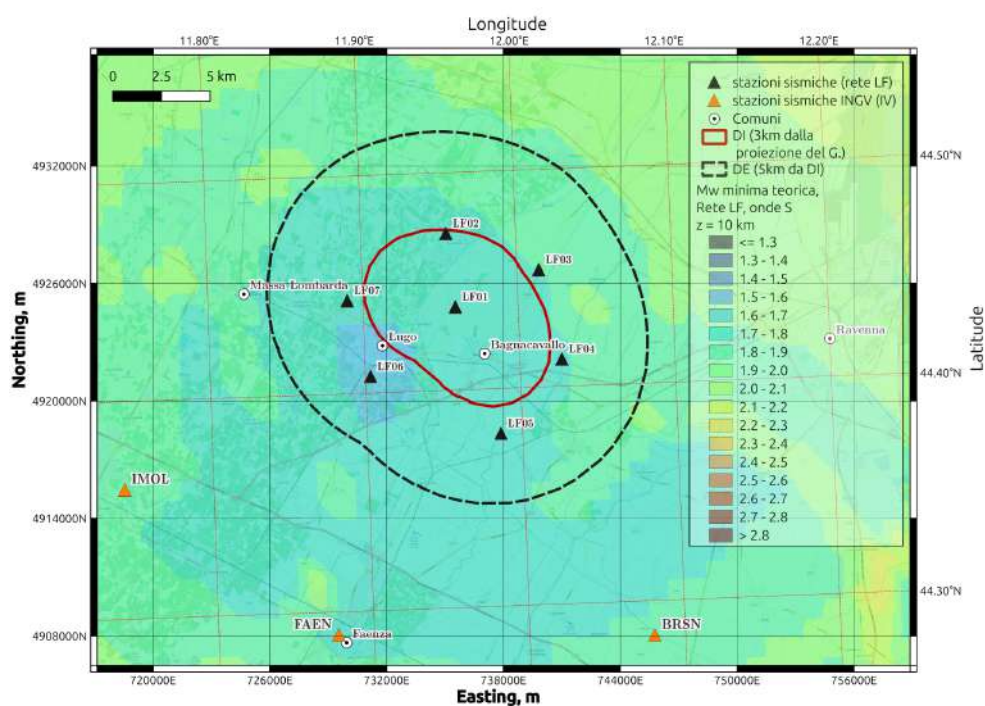


Figura 4.3.3: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 10 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).

4.4 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 4.1.1** e mostrata in **Figura 1.1.1**).

4.4.1 Analisi dei dati pre-monitoraggio (01 marzo 2023 - 05 marzo 2025)

I dati acquisiti dalla rete integrata dall'1/3/2023 al 5/3/2025 sono stati analizzati tramite il *software Seiscomp* in modalità *offline playback*. Gli eventi rilevati in questo periodo sono elencati nella **Tabella 4.4.1** e mostrati nella mappa di **Figura 4.4.1**. La **Tabella 4.4.2** mostra i valori di Peak ground velocity (PGV) e Peak Ground Acceleration (PGA) massimi rilevati per questi eventi, con indicazione della stazione sismica e la componente (verticale, N-S, o E-W) nella quale il valore massimo è stato identificato. Questo periodo di tempo precede le attività di coltivazione del giacimento, motivo per cui è possibile definire questo periodo come un periodo di "bianco", indicativo cioè della sismicità di fondo prima delle attività minerarie a Longanesi. Gli eventi identificati nel periodo di bianco sono stati localizzati utilizzando una media di 14 fasi sismiche (minimo 8, massimo 28). Epicentralmente, 3 di questi 12 eventi ricadono all'interno del DI di Longanesi (eventi n. 1, 3, e 12); tuttavia, considerando la profondità degli eventi, due di questi eventi sono localizzati al di fuori dei domini di monitoraggio (eventi n. 1 e 3), e soltanto 1 evento ricade in profondità all'interno del DE (evento n. 12, registrato il 2025/02/25 alle ore 04:55:32 UTC): questo evento di magnitudo MLbj 2.2 è localizzato al centro del DI (circa), e a una profondità di 10 km (vicino al limite in profondità del DE). Tutti gli altri eventi sono localizzati esternamente a entrambi i domini, tendenzialmente nella parte

meridionale dell'area di interesse e più profondi della massima estensione in profondità del DE (pari a 10,5 km, **Tabella 4.4.1** e **Figura 4.4.1**).

ID	Data	Ora (UTC)	Latitude	Longitude	Error e orizz. (km)	Profondità (+/- incertezza), km	Magnitudo (+/- incertezza)	Num. di fasi	RMS	Dominio ipocentral e	Dominio epicentral e	comune
1	2023-04-17	23:31:05	44,4242	11,9865	0,3	12.1 +/-0.2	1.4 +/- NaN	14	0,05	DA	DI	Bagnacavallo (RA)
2	2023-05-23	13:07:23	44,4093	11,9238	0,8	15.0 +/-0.5	2.0 +/- 0.3	11	0,09	DA	DE	Lugo (RA)
3	2023-10-13	13:46:22	44,4457	11,9943	0,9	12.6 +/-0.5	1.5 +/- 0.1	8	0,06	DA	DI	Bagnacavallo (RA)
4	2023-12-08	10:01:32	44,3602	11,9237	0,5	11.2 +/-0.5	1.6 +/- 0.2	12	0,09	DA	DE	Granarolo Faentino (RA)
5	2023-12-30	02:00:09	44,3908	11,9533	0,7	14.6 +/-0.4	0.9 +/- 0.3	14	0,1	DA	DE	Cotignola (RA)
6	2024-01-23	19:36:32	44,3478	11,9080	0,9	10.0 +/-1.1	2.2 +/- 0.4	15	0,17	DA	DA	Faenza (RA)
7	2024-05-12	10:03:20	44,4142	12,1368	0,8	8.0 +/-2.0	2.3 +/- 0.4	26	0,46	DA	DA	(RA)
8	2024-05-19	23:18:36	44,4093	11,8762	2,9	17.0 +/-1.0	0.1 +/- 0.1	8	0,15	DA	DE	Lugo (RA)
9	2024-06-12	20:46:12	44,3727	11,9050	2,0	12.6 +/-1.1	1.6 +/- 0.3	10	0,19	DA	DE	Cotignola (RA)
10	2024-11-03	03:54:35	44,3342	11,8848	1,7	8.0 +/-247.2	0.5 +/- 0.1	8	0,18	DA	DA	Faenza (RA)
11	2025-01-06	19:25:41	44,3570	11,9050	0,8	15.0 +/-0.7	1.7 +/- 0.3	14	0,13	DA	DA	Cotignola (RA)
12	2025-02-25	04:55:32	44,4318	11,9723	0,7	10.0 +/-0.5	2.2 +/- 0.5	28	0,27	DE	DI	Bagnacavallo (RA)

Tabella 4.4.1: Elenco degli eventi rilevati e localizzati grazie alla rete di monitoraggio della concessione Longanesi nel periodo marzo 2023 - febbraio 2025. Ai fini del monitoraggio integrale nella zona studio, 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	2023-04-17	23:31:05	1.4 +/- NaN	1,25E-02	ARMI.EHN*	6,80E-04	ARMI.EHN*	DA
2	2023-05-23	13:07:23	2.0 +/- 0.3	4,02E-03	RL06.EHE	7,13E-05	RL06.EHE	DA
3	2023-10-13	13:46:22	1.5 +/- 0.1	3,57E-03	RL01.EHE	5,91E-05	RL01.EHN	DA
4	2023-12-08	10:01:32	1.6 +/- 0.2	2,27E-03	RL05. EHE	3,80E-05	RL06.EHE	DA
5	2023-12-30	02:00:09	0.9 +/- 0.3	1,11E-03	RL04.HNE	9,09E-06	RL04.HNE	DA
6	2024-01-23	19:36:32	2.2 +/- 0.4	5,51E-03	RL06.EHE	1,16E-04	RL06.EHN	DA
7	2024-05-12	10:03:20	2.3 +/- 0.4	1,05E-02	RL04.EHN	2,28E-04	RL04.EHN	DA
8	2024-05-19	23:18:36	0.1 +/- 0.1	2,01E-04	PCTE.HNE*	4,72E-06	PCTE.HNN*	DA
9	2024-06-12	20:46:12	1.6 +/- 0.3	1,23E-03	RL06.EHN	2,45E-05	RL06.EHN	DA
10	2024-11-03	03:54:35	0.5 +/- 0.1	7,89E-03	ANTE.EHE*	7,89E-04	ANTE.EHN*	DA
11	2025-01-06	19:25:41	1.7 +/- 0.3	NaN	NaN	NaN	NaN	DA
12	2025-02-25	04:55:32	2.2 +/- 0.5	2,99E-02	RL07.EHE	5,07E-04	RL07.EHE	DE

Tabella 4.4.2: Valori massimi di PGA e PGV degli eventi rilevati e localizzati grazie alla rete di monitoraggio della concessione Longanesi nel periodo marzo 2023 - febbraio 2025 (*stazione non appartenente alla rete di monitoraggio di Longanesi). Ai fini del monitoraggio integrale nella zona studio, la zona immediatamente fuori del DE (in un buffer di altri 5km) è indicata come 'Dominio di Attenzione' (DA).

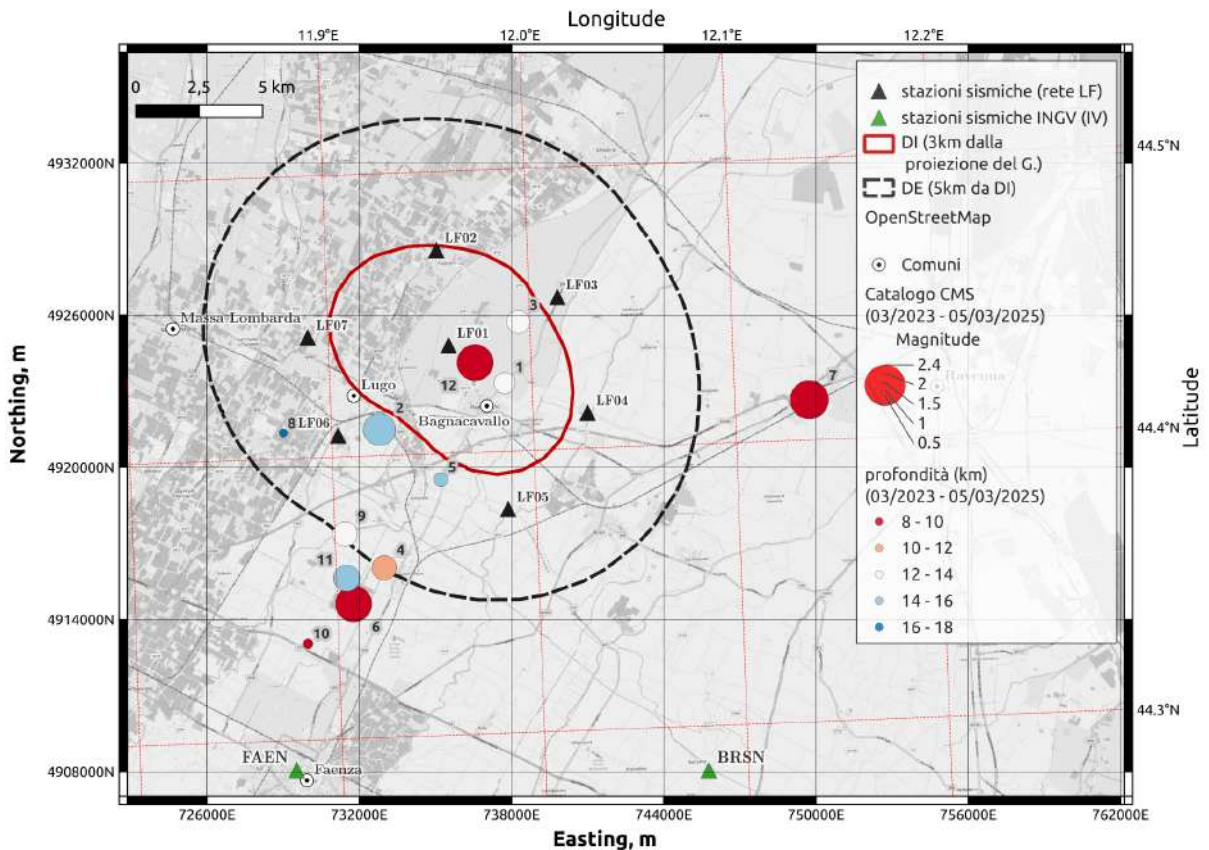


Figura 4.4.1: Mappa degli epicentri calcolati per gli eventi riportati in **Tabella 4.4.1** (colore e diametro dei cerchi in funzione, rispettivamente, della profondità e della magnitudo). I domini di monitoraggio sono rappresentati in rosso (DI, linea continua) ed in nero (DE, linea discontinua). Le stazioni sismiche della rete LF sono indicate con i triangoli neri. Infine, il numero vicino agli epicentri corrisponde all'ID elencati nella **Tabella 4.4.1**.

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

Considerando l'intervallo di tempo relativo a questo rapporto di monitoraggio (06/03/2025 - 05/09/2025), sono stati localizzati 6 eventi sismici nell'area di Longanesi. Epicentralmente, 5 eventi si trovano nell'area del DI, ma in profondità ricadono al di fuori dei domini di monitoraggio (**Tabella 4.4.3**). La **Tabella 4.4.2** mostra i valori di Peak ground velocity (PGV) e Peak Ground Acceleration (PGA) massimi rilevati per questi eventi, con indicazione della stazione sismica e la componente (verticale, N-S, o E-W) nella quale il valore massimo è stato identificato. La **Figura 4.4.2** mostra la localizzazione epicentrale degli eventi. Questi risultati sono già oggetto di comparazione con quanto ottenuto dalla SPM della concessione 'San

Potito - Cotignola' e con le soluzioni condivise dall'operatore del campo. Il confronto sistematico fra i cataloghi è tuttavia rimandato ad un momento successivo, quando sarà disponibile una base dati più consistente tale da consentire l'interpretazione quantitativa delle eventuali differenze.

ID	Data	Ora (UTC)	Latitude	Longitude	Incertezza orizz., (km)	Profondità (± incertezza), km	MLbj (± incertezza)	Num. di fasi	RMS	Dominio ipocentrale	Dominio epicentrale	Comune
1	2025-03-26	02:49:51	44,4073	11,9847	0,2	13.0 +/-0.1	1.2 +/- 0.2	13	0,03	DA	DI	Bagnacavallo (RA)
2	2025-05-23	00:16:08	44,4093	11,905	1,3	8.0 +/-0.9	1.0 +/- 0.2	8	0,78	DE	DE	Lugo (RA)
3	2025-05-26	08:38:29	44,4667	11,9193	0,5	11.7 +/-0.3	2.4 +/- 0.5	13	0,06	DA	DI	Lugo (RA)
4	2025-05-26	10:43:17	44,463	11,9323	0,4	11.8 +/-0.2	1.6 +/- 0.3	8	0,03	DA	DI	Bizzuno (RA)
5	2025-05-26	10:59:12	44,4683	11,9295	1,7	11.5 +/-0.7	1.6 +/- 0.1	7	0,08	DA	DI	Lugo (RA)
6	2025-05-26	13:33:58	44,4675	11,9212	0,4	12.0 +/-0.2	2.1 +/- 0.3	10	0,05	DA	DI	Lugo (RA)

Tabella 4.4.3: Elenco degli eventi rilevati e localizzati grazie alla rete di monitoraggio della concessione Longanesi tra marzo e agosto del 2025. Ai fini del monitoraggio integrale nella zona studio, 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	2025-03-26	02:49:51	1.2 +/- 0.2	1,10E-03	RL06.EHE	1,62E-05	RL06.EHE	DA
2	2025-05-23	00:16:08	1.0 +/- 0.2	1,23E-04	RL01.HNE	1,25E-05	RL01.HNN	DE
3	2025-05-26	08:38:29	2.4 +/- 0.5	3,99E-02	RL07.EHE	6,53E-04	RL07.EHE	DA
4	2025-05-26	10:43:17	1.6 +/- 0.3	3,07E-05	MTRZ.HHE	4,88E-07	MTRZ.HHE*	DA
5	2025-05-26	10:59:12	1.6 +/- 0.1	3,74E-03	RL03.EHE	2,71E-05	RL03.EHE	DA
6	2025-05-26	13:33:58	2.1 +/- 0.3	1,07E-02	RL05.HHN	1,47E-04	RL07.EHE	DA

Tabella 4.4.4: Valori massimi di PGA e PGV degli eventi rilevati e localizzati grazie alla rete di monitoraggio della concessione Longanesi nel periodo marzo 2023 - febbraio 2025 (*stazione non appartenente alla rete di monitoraggio di Longanesi). Ai fini del monitoraggio integrale nella zona studio, la zona immediatamente fuori del DE (in un buffer di altri 5km) è indicata come 'Dominio di Attenzione' (DA).

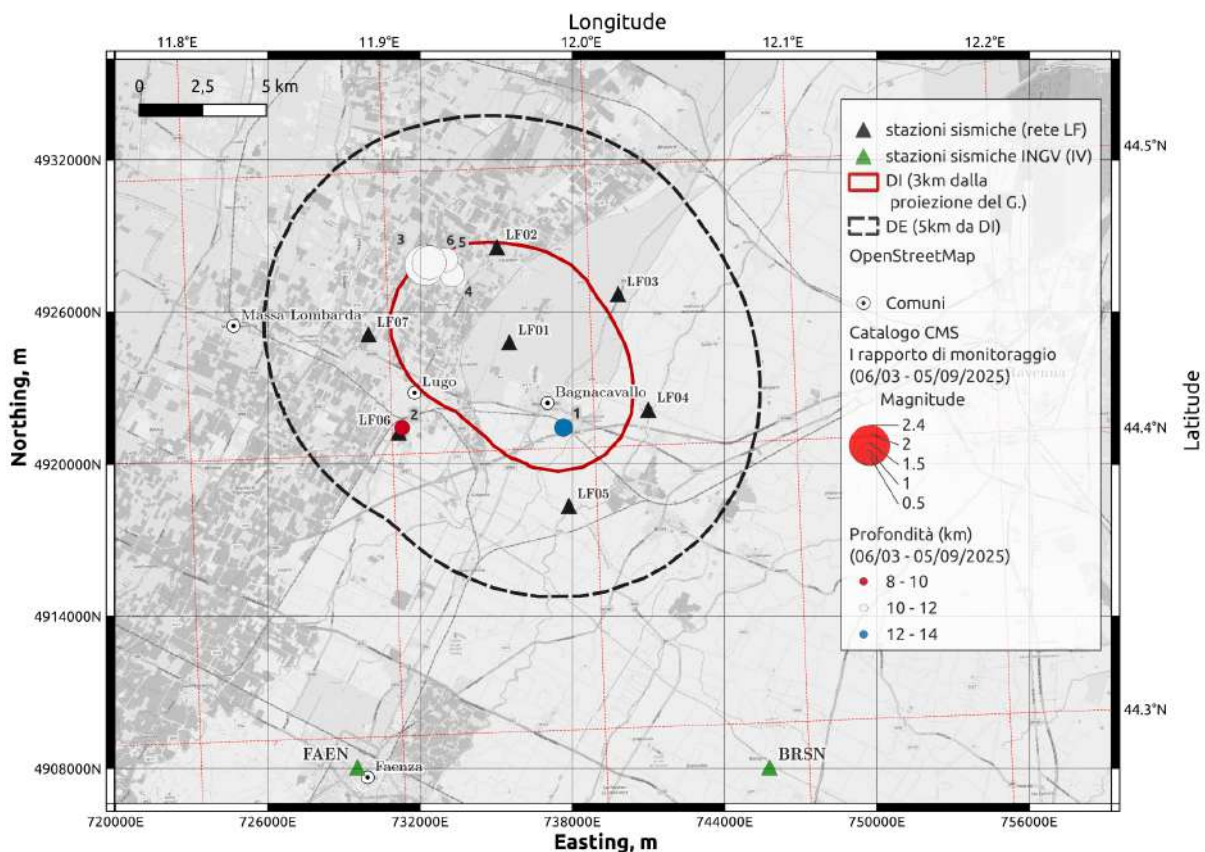


Figura 4.4.2: Mappa degli epicentri calcolati per gli eventi nel periodo relativo a questo rapporto di monitoraggio e riportati in Tabella 4.4.2 (colore e diametro dei cerchi in funzione, rispettivamente, della profondità e della magnitudo). I domini di monitoraggio sono rappresentati in rosso (DI, linea continua) ed in nero (DE, linea discontinua). Le stazioni sismiche della rete LF sono indicate con i triangoli neri. Infine, il numero vicino agli epicentri corrisponde all'ID elencato nella Tabella 4.4.2.

4.5 Confronto preliminare tra sismicità registrata e soglie teoriche di detezione

Come descritto nel Capitolo 4.3, le soglie teoriche di detezione della rete di monitoraggio di longanesi sono determinate in termini di Magnitudo momento (M_w), mentre la magnitudo calcolata per gli eventi nel bollettino sismico di monitoraggio è la magnitudo locale (ML_{bj} , vedere Capitolo 4.4). Le analisi teoriche di detezione della rete indicano, a 10km di profondità, una soglia di detezione in magnitudo momento dell'ordine di M_w tra 2.1 e 2.4 per le onde P, e M_w tra 1.7 e 2.1 per le onde S. Per fare un confronto con la sismicità registrata dalla rete integrata (LF+IV), è stata calcolata la M_w degli eventi riportati nelle tabelle 4.4.1 e 4.4.2 utilizzando un metodo spettrale (e.g. Brune 1970, 1971; Madariaga 1976) utilizzando lo spettro di spostamento delle onde P e S (Satriano 2024); il risultato (che è stato possibile di ottenere in totale per 11 eventi) è riassunto nella Figura 4.5.1: l'intervallo di magnitudo di questi 11 eventi copre valori di ML_{bj} tra 0.5 e 2.4 che corrispondono grosso modo a valori di M_w tra 1.2 e 2.6.

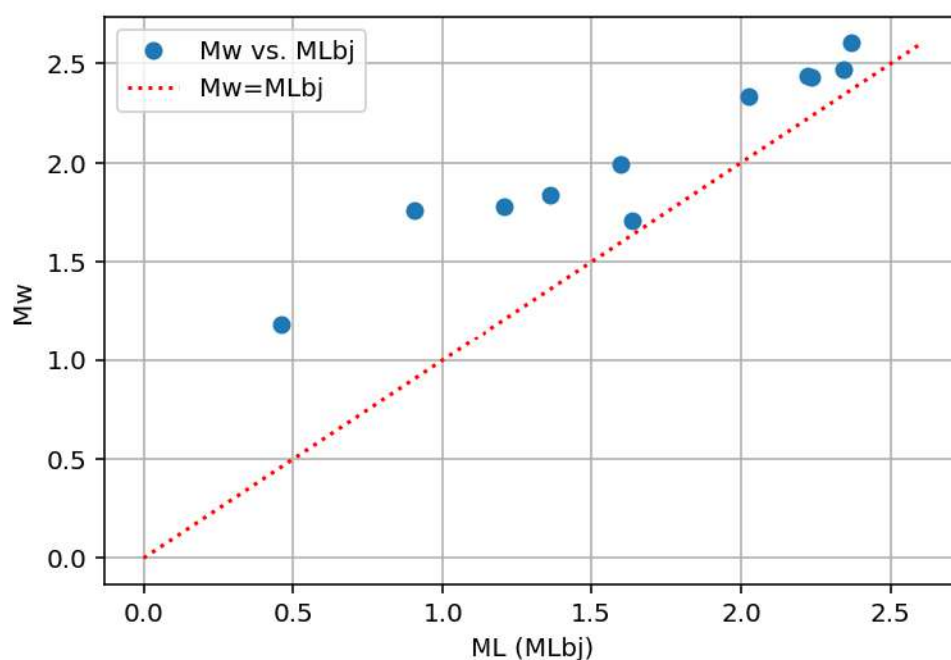
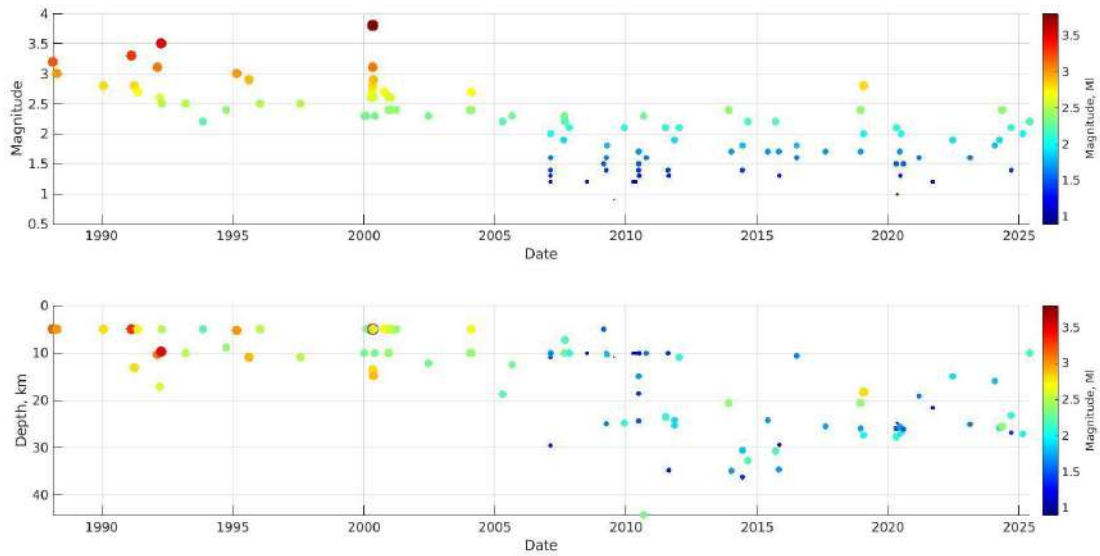


Figura 4.5.1: Confronto tra la stima della magnitudo momento (M_w) e la magnitudo locale (ML_{bj}) per 10 eventi registrati dalla rete di monitoraggio di Longanesi tra il marzo 2023 e agosto 2025.

È anche possibile fare un primo confronto (qualitativo) tra le stime teoriche di detezione e la completezza della sismicità locale disponibile da catalogo INGV tra il 1988 e il 2025, ottenuto utilizzando i dati della Rete Sismologica Nazionale (RSN, <https://terremoti.ingv.it/>). Abbiamo selezionato gli eventi che ricadono entro un raggio di 10 km dal centro del DI (~ la stazione LF01): la **Figura 4.5.2a** mostra la serie temporale in magnitudo e in profondità (nei pannelli superiore e inferiore rispettivamente) di occorrenza per questi eventi sismici. Si osserva una variazione nella capacità di detezione (in termini di eventi meno energetici e superficiali) a partire dell'anno 2007 (dovuta probabilmente all'installazione di nuove stazioni in zona). La **Figura 4.5.2b** mostra il grafico frequenza-magnitudo della sismicità, da cui si possono ricavare le stime preliminari di magnitudo di completezza, utilizzando diverse metodologie, otteniamo valori di ML tra 2.2 e 2.6, confrontabili con la soglia di detezione teorica per le onde P per eventi a 10 km di profondità (**Figura 4.3.3**). Considerando solo i dati dal 2007 al 2025 le stime di completezza scendono leggermente ma i valori sono altamente incerti a causa del numero limitato di eventi. È importante sottolineare che queste valutazioni rappresentano un primo confronto approssimativo tra le stime teoriche di magnitudo minima di detezione, la completezza nella zona, e le magnitudo degli eventi che si registrano man mano che prosegue il monitoraggio. Una valutazione più dettagliata e quantitativa potrà essere fatta quando si avrà a disposizione un catalogo di eventi registrati più corposo.

(a)



(b)

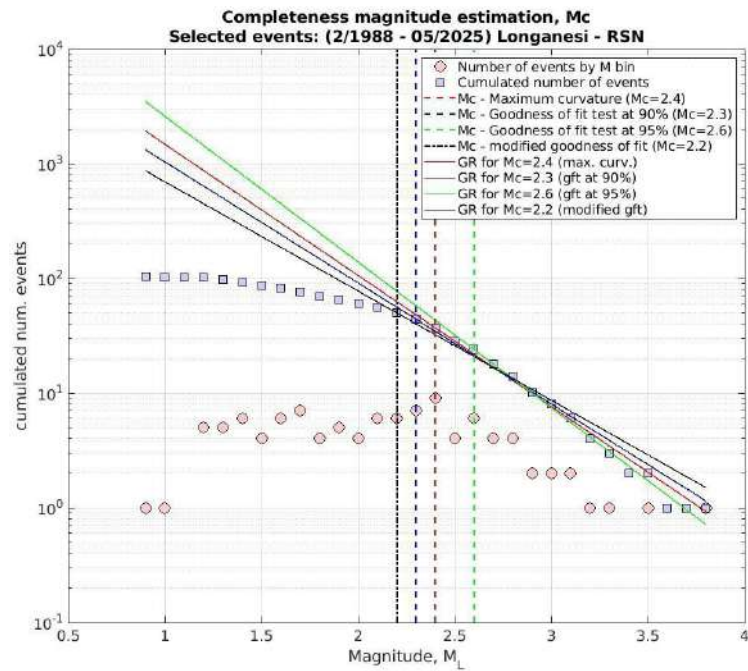


Figura 4.5.2: a) Sismicità registrata dalla Rete Sismica Nazionale, in un raggio di 10 km attorno al centro dei domini tra il 1988 e Maggio 2025; b) Grafico frequenza-magnitudo e stima della magnitudo di completezza dei dati della RSN presentati nella figura a) con diverse tecniche.

5 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). Di seguito viene descritta la rete GNSS (*Global Navigation Satellite System*) in termini di posizione, qualità dei dati e monumentazione, alla luce delle indicazioni previste dagli ILG, e viene fornita una elaborazione preliminare del dato GPS (*Global Positioning System*). Per quanto riguarda i dati SAR (*Synthetic Aperture Radar*) saranno 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. Saranno inoltre mostrati i risultati dell'analisi InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) del dataset Sentinel-1 effettuato dalla SPM aggiornato a settembre 2025. Per questa concessione sono stati forniti anche i dati di livellazione relativi alle campagne di misura del 2023 e 2024. Tuttavia, data la disponibilità di sole due campagne di misura e il riscontro di alcune potenziali problematiche inerenti l'acquisizione e il dato stesso (Capitolo 5.7), l'interpretazione di tali dati verrà effettuata nelle future relazioni.

5.1 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, le cui caratteristiche tecniche sono riportate in **Tabella 5.1.1** e co-locata con la stazione sismica LF01, e di 8 stazioni permanenti a singola frequenza, le cui coordinate di posizione sono riportate in **Tabella 5.1.2**. La stazione GNSS 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 dal concessionario al centro del giacimento in modo da essere baricentrica rispetto alle stazioni a singola frequenza per ottimizzare le misure, mentre la stazione microsismica a banda larga è stata invece ubicata nella posizione RL 05 (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
LONG	11.9595	44.4383	50	31/03/2023	TRIMBLE ALLOY	TRIMBLE TRM55971.00

Tabella 5.1.1: Caratteristiche della stazione GNSS a doppia frequenza installata per la concessione Longanesi in termini di coordinate, data di installazione e strumentazione in uso.

Long (°E)	Lat. (°N)	Nome sito
12,039242	44,502378	RLG1
11,954319	44,461403	RLG2
12,047897	44,445064	RLG3
11,974122	44,42035	RLG4
12,041819	44,372994	RLG5
11,930619	44,380917	RLG6
11,931594	44,417683	RLG7
11,888833	44,512083	RLG8

Tabella 5.1.2: Posizione delle stazioni GNSS a singola frequenza installate per la concessione Longanesi.

In questo primo rapporto semestrale, le analisi eseguite sono focalizzate prevalentemente sulla validazione della rete GNSS, valutando nello specifico i seguenti aspetti:

1. qualità della strumentazione utilizzata, che secondo gli ILG deve essere composta da “stazioni permanenti di precisione (di tipo geodetico)”. La stazione a doppia frequenza LONG rispetta questo requisito in quanto è equipaggiata di antenna choke ring di tipo geodetico e di ricevitore a doppia frequenza, secondo le caratteristiche tecniche riportate in Tabella 5.1.1. Per quanto riguarda invece le stazioni a singola frequenza (Tabella 5.1.2) non è stata ancora fornita la documentazione tecnica al riguardo, necessaria per valutare la qualità della strumentazione utilizzata.
2. copertura areale della rete di monitoraggio, in termini di interdistanze tra stazioni e capacità di detezione dei segnali, riportate nel Capitolo 5.2;
3. corretta monumentazione/installazione delle stazioni che sia “adatta a scopi geofisici”, ossia solidale con il substrato roccioso affiorante in modo da poter registrare segnali dovuti a sorgenti profonde (deformazioni tettoniche, idrologiche, di giacimento, etc.), come trattato nel Capitolo 5.3;

4. adeguata qualità di registrazione del segnale da parte delle stazioni GNSS attraverso le analisi mostrate nel Capitolo 5.4.

5.2 Analisi delle interdistanze

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 verificato la condizione posta dagli ILG per la distribuzione dei siti, ossia che siano distanti tra di loro entro i 10-15 km. A questo proposito sono state considerate tutte le stazioni disponibili nell'area di monitoraggio, che in questo caso riguardano reti geodetiche o topografiche private (come Italpos e Netgeo), integrate con le stazioni del Concessionario, come mostrato in **Figura 5.2.1**.

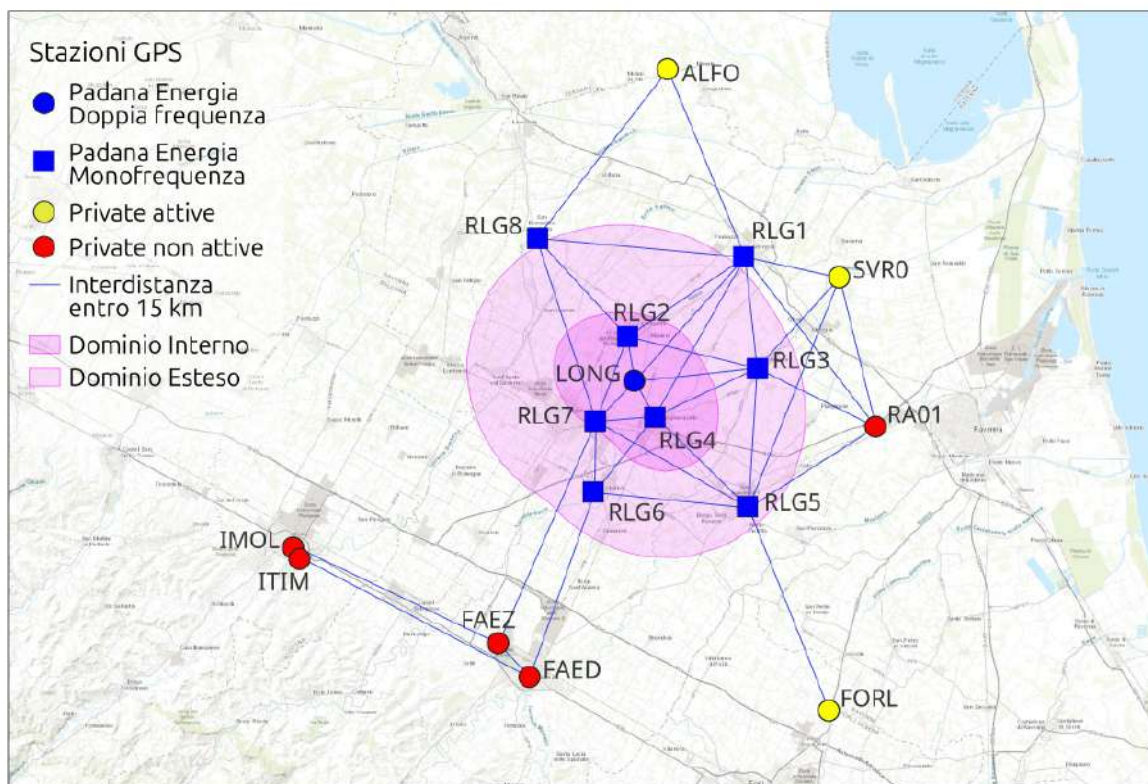


Figura 5.2.1: Interdistanze entro i 15 km tra tutte le stazioni GNSS, sia singola che a doppia frequenza, appartenenti sia al concessionario (blu) sia a reti private attive (gialle) e non attive (rosse) disponibili nell'area di monitoraggio della concessione di Longanesi.

La distribuzione delle interdistanze entro i 15 km (secondo i criteri minimi forniti dagli ILG) riportata in **Figura 5.2.1** mostra una buona copertura nella porzione centrale dei domini di monitoraggio, lasciando leggermente scoperta la porzione a Ovest. Da questa analisi si può osservare come nell'area di monitoraggio non siano presenti stazioni pubbliche, ma solo private le quali, trovandosi ai confini dei domini di monitoraggio, permettono di inserire la rete del concessionario all'interno di un quadro più ampio che aiuta a caratterizzare lo stato di

deformazione dell'area. Sono state distinte le stazioni attive da quelle non attive, perché: le prime, nel caso la SPM abbia a disposizione i dati, possono essere utilizzate non solo ai fini del monitoraggio stesso delle deformazioni, ma anche ai fini dell'elaborazione dei dati GPS mono-frequenza, data la loro breve distanza; le seconde invece sono utilizzate al solo scopo di fornire indicazioni sul campo di deformazione di *background* nei dintorni dell'area di monitoraggio.

Per valutare se la rete allo stato attuale possa fornire una copertura adeguata o meno al monitoraggio dell'area e 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 capacità di identificazione spaziale dei segnali da parte della distribuzione delle stazioni, come mostrato in **Figura 5.2.2**, in termini di grado q . 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 semi-lunghezza d'onda del segnale, secondo la **Tabella 5.2.1** che segue (da Tape et al., 2009):

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

Tabella 5.2.1: Scala spaziale delle *wavelet* sferiche che indicano la semi-lunghezza d'onda del segnale riprodotto di deformazione.

Dalla **Figura 5.2.2** si può osservare che la rete GNSS sarebbe potenzialmente in grado di identificare segnali di deformazione con lunghezze d'onda dell'ordine di circa 5 km (**Tabella 5.2.1**, grado q 12) in corrispondenza del dominio interno, e dell'ordine di circa 10 km per il dominio esteso. Questi valori sono compatibili con le lunghezze d'onda corrispondenti alle deformazioni attese per effetto dell'attività di estrazione dal giacimento, indicando quindi che la geometria della rete è potenzialmente capace di registrare eventuali segnali di deformazione dovuti all'attività estrattiva.

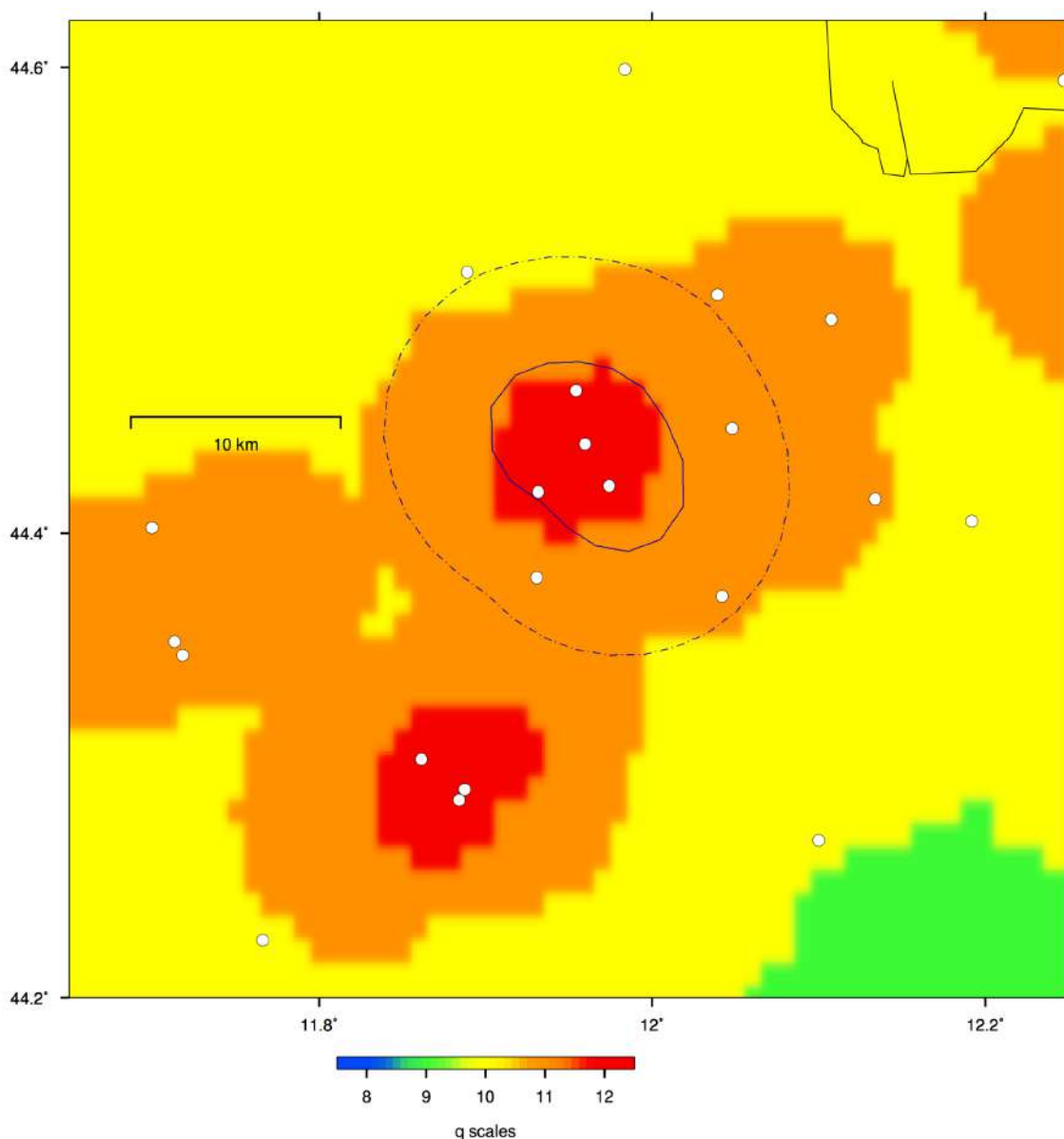


Figura 5.2.2: risoluzione spaziale in termini di valore massimo della scala q di wavelet sferiche riproducibile con la distribuzione spaziale di tutte le stazioni GNSS disponibili per la concessione di Longanesi, corrispondente alla scala spaziale riportata in Tabella 5.2.1.

5.3 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 affiorante tramite un ancoraggio che vada in profondità (da alcune decine di cm ad alcuni metri in funzione della specifica geologia di sito). 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.

Per la concessione di Longanesi abbiamo una scheda tecnica di sito solo per la stazione a doppia frequenza LONG, mentre non è stata ancora fornita documentazione tecnica circa la monumentazione delle stazioni a singola frequenza. La modalità di monumentazione della stazione LONG è mostrata in **Figura 5.3.1** (estratta dalla scheda tecnica) dove si osserva l'antenna GNSS installata sulla sommità di un Corner Reflector (CR, elemento utile per massimizzare la coerenza del segnale SAR) ancorato ad una piazzola di cemento, di cui non abbiamo informazioni riguardo alla modalità di ancoraggio in profondità. Alla luce di informazioni tecniche più di dettaglio riguardo all'installazione di questo e degli altri siti GNSS e dei risultati di elaborazione dei dati, sarà possibile valutare la stabilità e l'affidabilità delle misure GNSS ottenute dalla rete di monitoraggio.



Figura 5.3.1: sito di installazione della stazione GNSS a doppia frequenza LONG.

5.4 Analisi di qualità dei dati GPS

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) per la sola stazione LONG di cui abbiamo i dati, è stato utilizzato il *software* TEQC (<https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html>), ampiamente utilizzato per il trattamento standard di osservazioni 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 (**Figura 5.4.1**);
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 il valore quadratico medio (*Root Mean Square*) del multipath su ciascuna portante;
3. 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;
4. percentuale di funzionamento giornaliero della stazione rispetto alle 24h.
5. L'esito dell'analisi del punto 1 è mostrato in **Figura 5.4.1** e l'intervallo temporale dei dati utilizzati va dal primo giorno di acquisizione (31 marzo 2023, **Tabella 5.1.1**) fino a fine settembre 2025. Dalla **Figura 5.4.1** si può osservare come la stazione mostri un'ottima continuità del dato per il periodo di acquisizione, con un valore medio di percentuale di dati giornalieri del 99%.

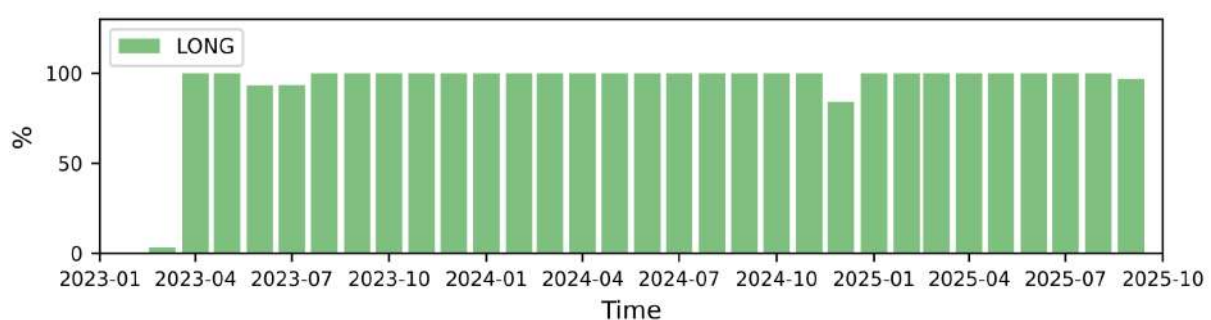


Figura 5.4.1: Percentuale di RINEX giornalieri forniti per ogni mese di acquisizione della stazione LONG.

L'esito delle analisi dei punti 2, 3 e 4 sono mostrati in **Figura 5.4.2**. In particolare, per quanto concerne l'analisi di qualità in termini di *multipath*, 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. Dalle misure effettuate (**Figura 5.4.2A**), i valori di MP1 e MP2 per la stazione LONG mostrano un

andamento costante nel tempo e i loro valori medi valgono rispettivamente 0.33 m e 0.59 m, rimanendo entro i limiti sopra esposti.

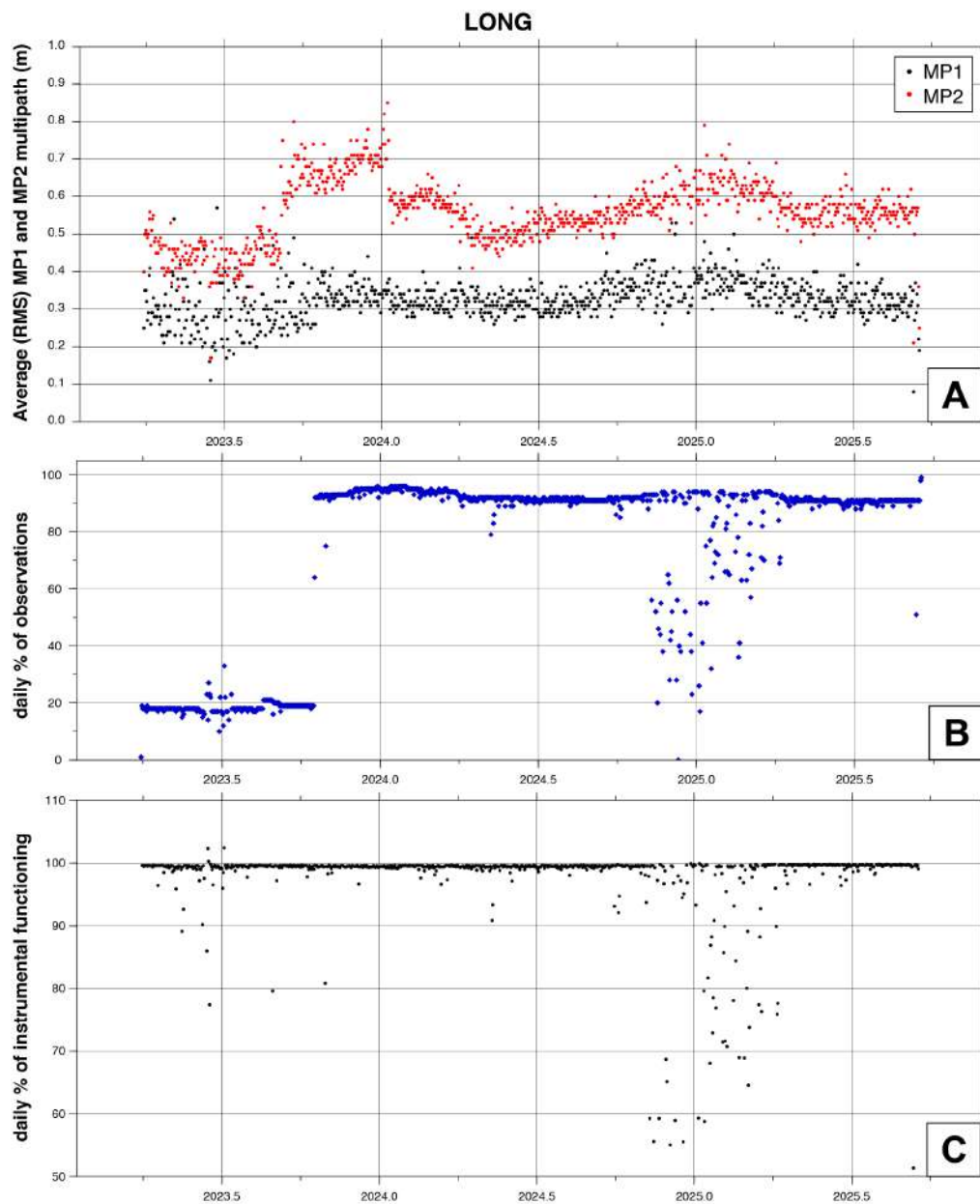


Figura 5.4.2: Analisi di qualità per ciascuna misura gionoliera della stazione LONG in termini di valori di multipath MP1 in nero e MP2 in rosso (A), di percentuale delle osservazioni presenti nei RINEX giornalieri rispetto alle osservazioni attese nell'intervallo di tempo di funzionamento effettivo giornaliero (B) e di percentuale di funzionamento effettivo della stazione nell'intervallo di tempo giornaliero di acquisizione dei dati (C).

Dall'analisi invece del punto 3, riguardante la percentuale di acquisizioni satellitari eseguite rispetto a quelle attese nell'intervallo di tempo di funzionamento della stazione (**Figura 5.4.2B**), si evince che nel primo periodo di registrazione (indicativamente i primi 6 mesi) la stazione è riuscita a registrare solo circa il 20% delle osservazioni possibili, a causa di un

malfunzionamento del ricevitore della stazione che è stato risolto in data 17.10.2023. Purtroppo questo periodo di bassa qualità di acquisizione del dato si traduce in bassa accuratezza delle misure di posizione giornaliera, come si può osservare nel paragrafo successivo riguardo l'esito dell'elaborazione del dato. L'analisi del punto 4 (**Figura 5.4.2C**), mostra che nel periodo in esame il funzionamento effettivo strumentale giornaliero nell'arco delle 24 ore risulta attivo quasi al 100%. .

5.5 Elaborazione dato GPS

I dati giornalieri in formato RINEX delle stazioni GNSS disponibili per l'area di monitoraggio 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). La procedura di elaborazione eseguita consiste in:

1. 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).
2. Combinazione delle soluzioni giornaliere ottenute per tutte le sotto-reti processate dalla SPM e allineamento delle soluzioni al sistema di riferimento globale ITRF20 (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 5.5.1** mostra la serie temporale degli spostamenti giornalieri per le tre componenti Est, Nord e verticale della stazione LONG ottenuta dall'elaborazione sopra esposta e dopo aver rimosso per ciascuna componente il termine lineare di spostamento stimato nel sistema di riferimento globale.

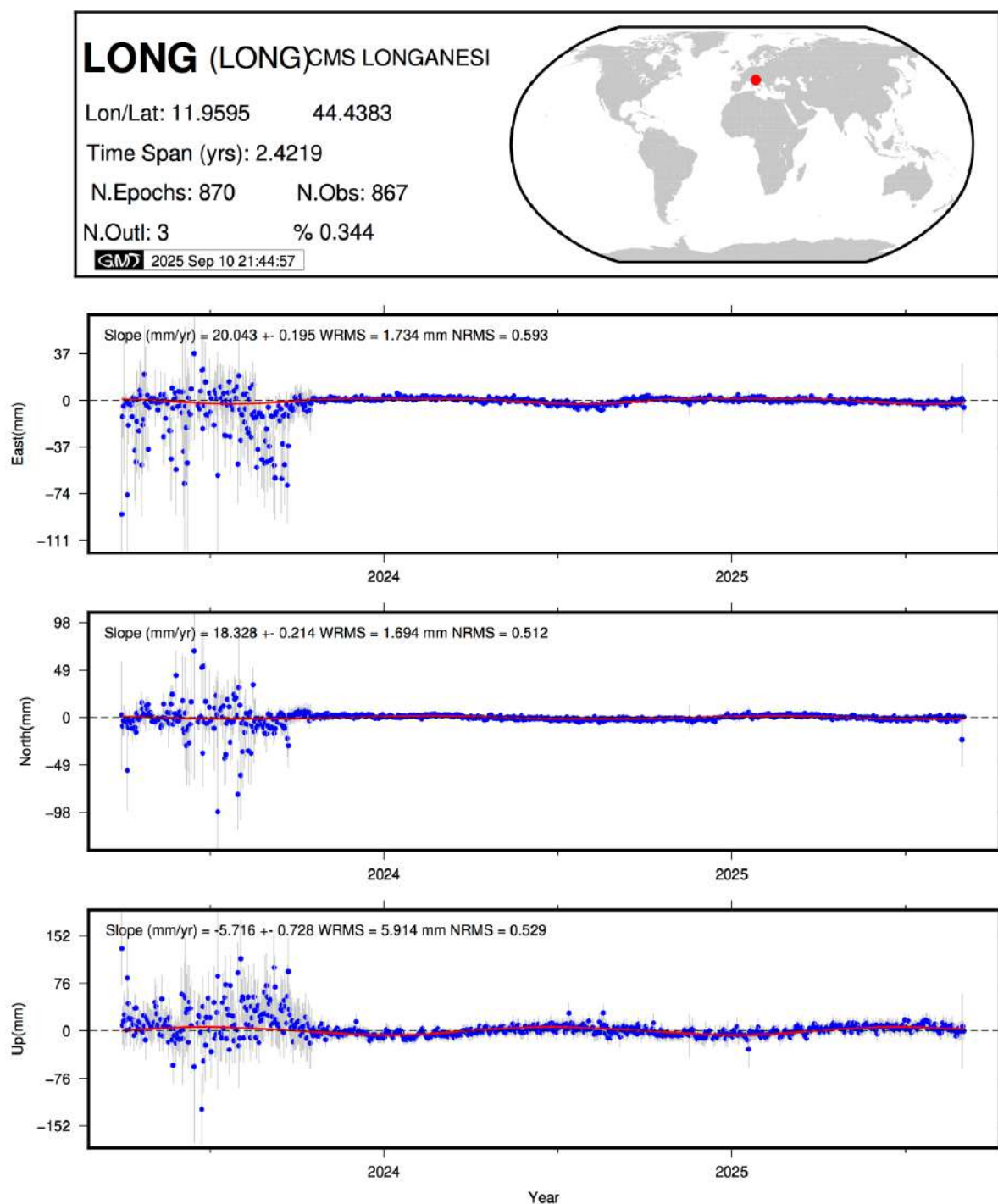


Figura 5.5.1: Serie temporale di spostamento (punti blu) della stazione LONG residua dopo aver rimosso il termine lineare di spostamento stimato per ciascuna componente (Est, Nord e verticale). Le linee grigie indicano le barre d'errore (1σ) degli spostamenti e la linea rossa rappresenta il modello analitico atteso.

Ad ogni misura giornaliera di spostamento viene associata un'incertezza corrispondente ad una deviazione standard (1σ) e viene riportato anche il modello funzionale atteso sopra descritto (linea rossa). Dal risultato così ottenuto si osserva molto bene come nei primi sei mesi circa di acquisizione le misure di spostamento siano particolarmente rumorose e incerte, tali per cui questo periodo di acquisizione risulta non utilizzabile ai fini del monitoraggio delle

deformazioni. Dal momento che la stazione LONG, al netto del primo periodo di 6 mesi di dati non utilizzabili, ha acquisito poco meno di due anni di dati, non è ragionevole fornire una stima delle velocità a lungo termine attesa e di conseguenza nemmeno un'analisi del capo di velocità per l'area di monitoraggio, che sarà pertanto oggetto del prossimo rapporto semestrale.

5.6 Analisi dati InSAR

Il concessionario ha fornito 5 relazioni tecniche inerenti il monitoraggio delle deformazioni del suolo tramite tecniche InSAR. In particolare sono state consegnate una relazione sull'analisi storica dal 2015 al 2022 e quattro relazioni di aggiornamento semestrale relative al 2023 e 2024. L'analisi è effettuata utilizzando i dati Sentinel-1, dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), svolta dalla società TRE ALTAMIRA. L'analisi storica, effettuata mediante l'utilizzo della tecnica SqueeSAR®, va dal 03/2015 al 12/2022 e spazialmente copre un'area poco più estesa dell'area di concessione. In tale relazione vengono riportati i risultati delle misure sia lungo la linea di vista del satellite (*Line of Sight*, LoS), sia nelle componenti E-O e Verticale. In tale relazione si conclude che:

“- L'area è caratterizzata da leggeri trend di subsidenza conformi con le note dinamiche regionali, in particolare l'area di Fusignano registra una subsidenza media di circa -1.6 mm/anno, sugli abitati di Lugo e Bagnacavallo si registra uno spostamento medio nullo e a sud nella zona di Cotignola una subsidenza media di -3 mm/anno. Non si rilevano movimenti orizzontali di rilievo.

- L'analisi di dettaglio dell'area di Longanesi compresa tra i clusters¹ A, B e C ha evidenziato leggeri trend di spostamento inferiori ai -3 mm/anno in direzione verticale. A partire dal 2021 nel cluster A si registra un trend di accelerazione della subsidenza; inoltre, alcuni punti di misura evidenziano un aumento della rumorosità a partire dalla seconda metà del 2021. Questo comportamento può essere dipeso dalla realizzazione di opere per il funzionamento del cluster e l'evoluzione andrà valutata nel prossimo aggiornamento.”

L'aggiornamento al 2023 non ha mostrato sostanziali differenze rispetto ai risultati ottenuti nell'analisi storica, con spostamenti mediamenti nulli sugli abitati di Lugo e Bagnacavallo e valori di subsidenza media di circa -1.5 mm/anno nell'area di Fusignano e di -2.9 mm/anno a sud di Cotignola, senza movimenti orizzontali di rilievo. Nell'area di Longanesi si confermano spostamenti verticali inferiori a -3mm/anno e *“nel cluster A il trend di accelerazione registrato a partire dalla seconda metà del 2021 è cessato a favore di un blando trend negativo lineare per il periodo compreso tra gennaio e giugno 2023”* che aumenta lievemente tra luglio e dicembre 2023. Le serie storiche di deformazioni SAR e GNSS risultano confrontabili tra loro, pur avendo

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; si veda anche la mappa di Fig.5.6.1 e seguenti.

una copertura temporale differente. Allo stesso modo, l'aggiornamento al 2024 non mostra differenze sostanziali negli andamenti già descritti.

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 a settembre 2025 e i risultati in termini di velocità di spostamento lungo la linea di vista, LoS, ascendente e discendente sono mostrati rispettivamente in **Figura 5.6.1** e **Figura 5.6.2**. I tassi di spostamento misurati dalla SPM sono comparabili con quelli descritti nell'analisi effettuata da TRE ALTAMIRA con SqueeSAR®.

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 (*cluster 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 di circa -4 mm/anno per la geometria discendente (**Figura 5.6.3**) e circa -1.3 mm/anno per l'ascendente (**Figura 5.6.4**). Un andamento simile si riscontra anche in prossimità del *cluster B*, mentre sul e *cluster C* non c'è copertura del dato, poiché nella stessa piazzola non sono presenti scatteratori del segnale. I valori di velocità media misurati per entrambe le orbite sono di circa -1/-1.5 mm/anno (da **Figura 5.6.5** a **Figura 5.6.6**). Nei settori occidentali e orientali del campo, i valori di spostamento misurati sembrano invece seguire un andamento più lineare nel tempo.

Sugli abitati di Lugo e Bagnacavallo, l'analisi effettuata dalla SPM conferma i valori di spostamento pressoché nulli. Anche nell'area di Fusignano, si registrano valori comparabili a quelli misurati da TRE ALTAMIRA con valori di tassi di spostamento pressoché nulli nel settore nord-orientale e di circa -1.6 mm/anno nel settore sud-occidentale e nell'area a sud di Cotignola con valori entro i -3mm/anno.

Nelle **Figura 5.6.7** e **Figura 5.6.8** 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 -5 e -2 mm/anno in corrispondenza del *cluster A* e *cluster B*, seppure la misura si riferisca a singoli *pixel* isolati, mentre non si ha copertura sul *cluster C*. I risultati ottenuti sono comparabili con quelli presenti nella reportistica fornita dal concessionario relativa alle elaborazioni fatte da TRE ALTAMIRA.

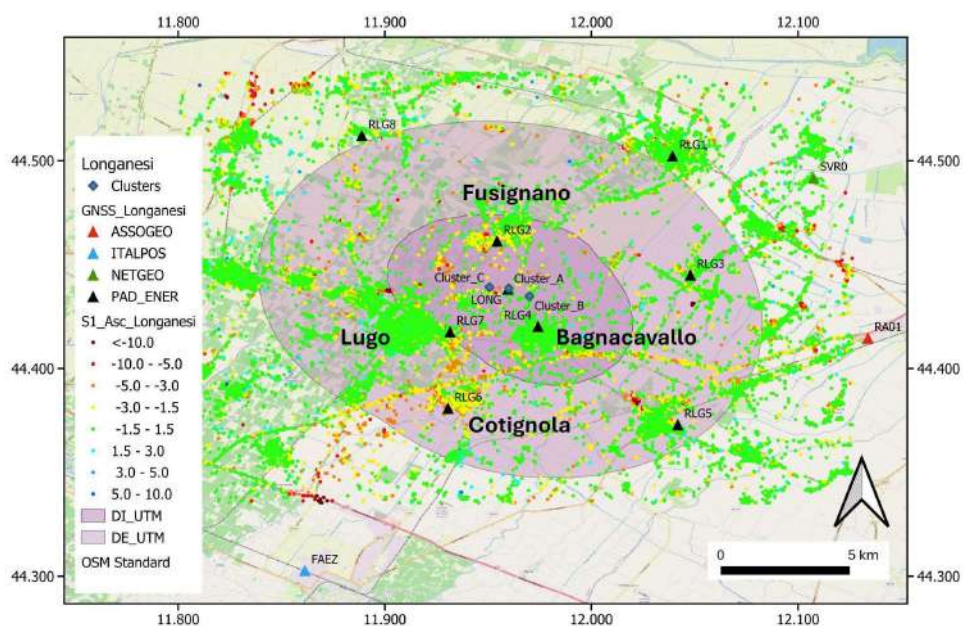


Figura 5.6.1: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 a settembre 2025 lungo la linea di vista del satellite (orbita ascendente) calcolata dai dati SAR acquisiti dai satelliti della costellazione Sentinel-1. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa 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).

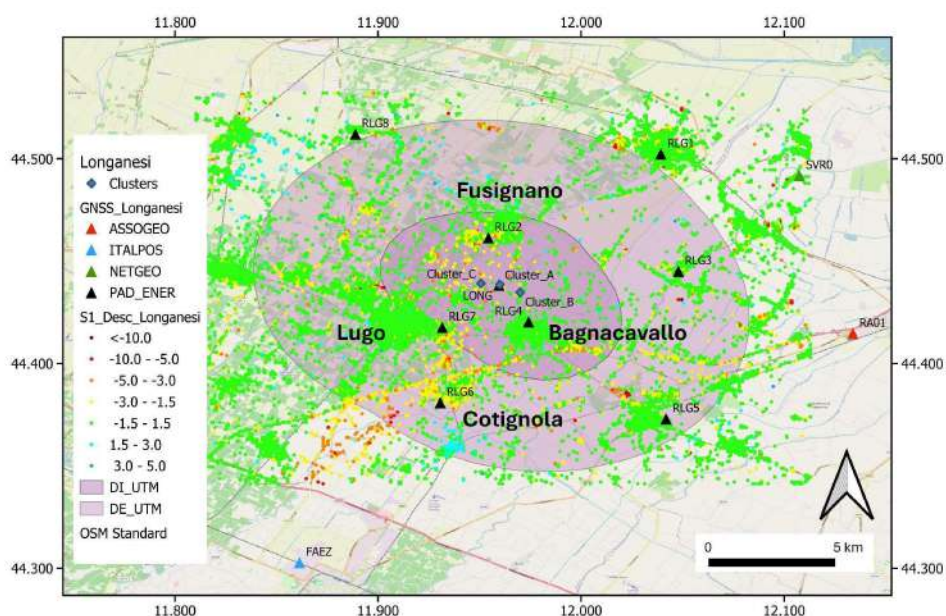


Figura 5.6.2: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 a settembre 2025 lungo la linea di vista del satellite (orbita discendente) calcolata dai dati SAR acquisiti dai satelliti della costellazione Sentinel-1. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, 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).

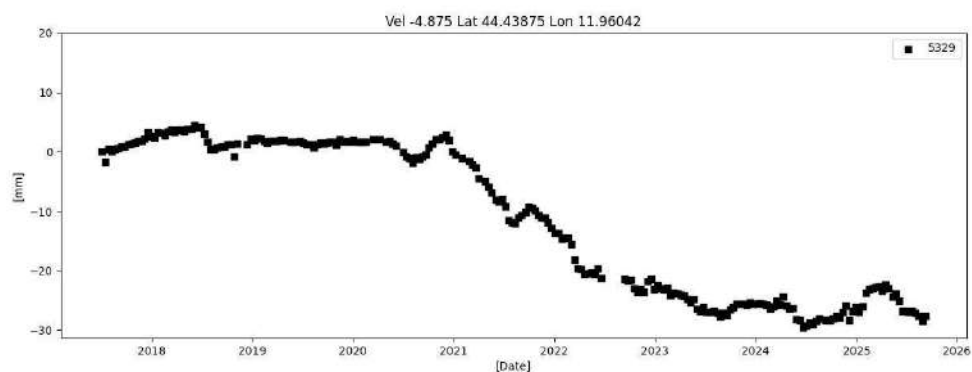


Figura 5.6.3: Serie storica di spostamento del suolo (mm) in cui sono riportati gli spostamenti nel tempo lungo la linea di vista discendente del satellite Sentinel-1, calcolati in prossimità della stazione GNSS LONG. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi.

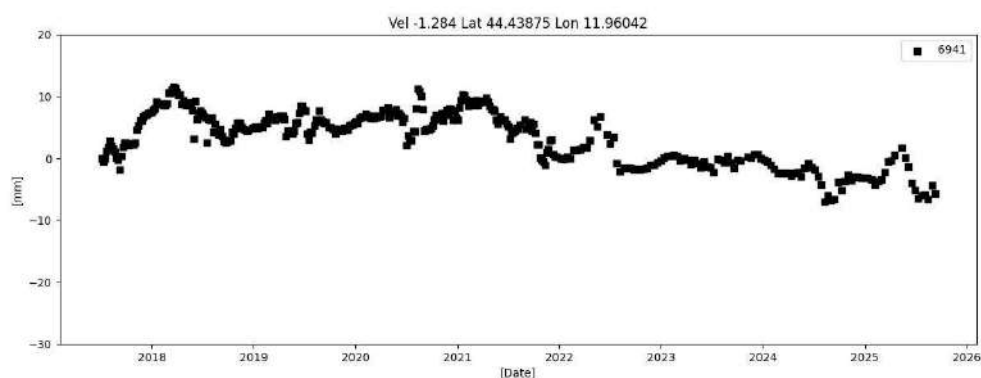


Figura 5.6.4: Serie storica di spostamento del suolo (mm) in cui sono riportati gli spostamenti nel tempo lungo la linea di vista ascendente del satellite Sentinel-1, calcolati in prossimità della stazione GNSS LONG. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi.

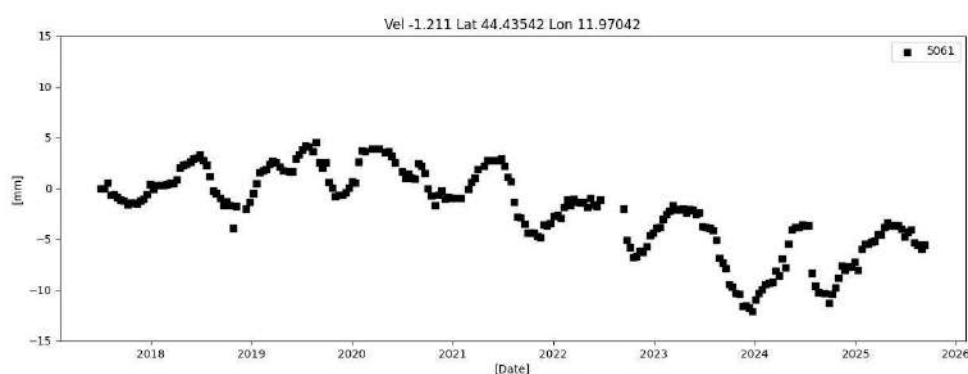


Figura 5.6.5: Serie storica di spostamento del suolo (mm) in cui sono riportati gli spostamenti nel tempo lungo la linea di vista discendente del satellite Sentinel-1, calcolati in prossimità cluster B. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi.

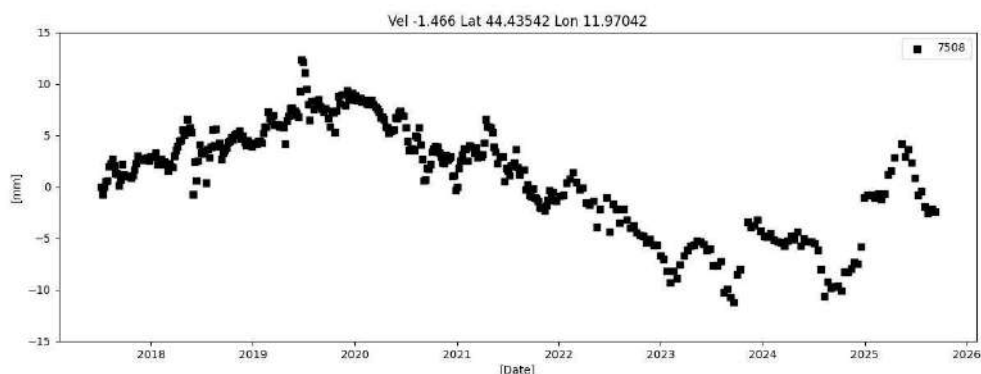


Figura 5.6.6: Serie storica di spostamento del suolo (mm) in cui sono riportati gli spostamenti nel tempo lungo la linea di vista ascendente del satellite Sentinel-1, calcolati in prossimità cluster B. Valori negativi indicano allontanamento dal satellite, viceversa per valori positivi.

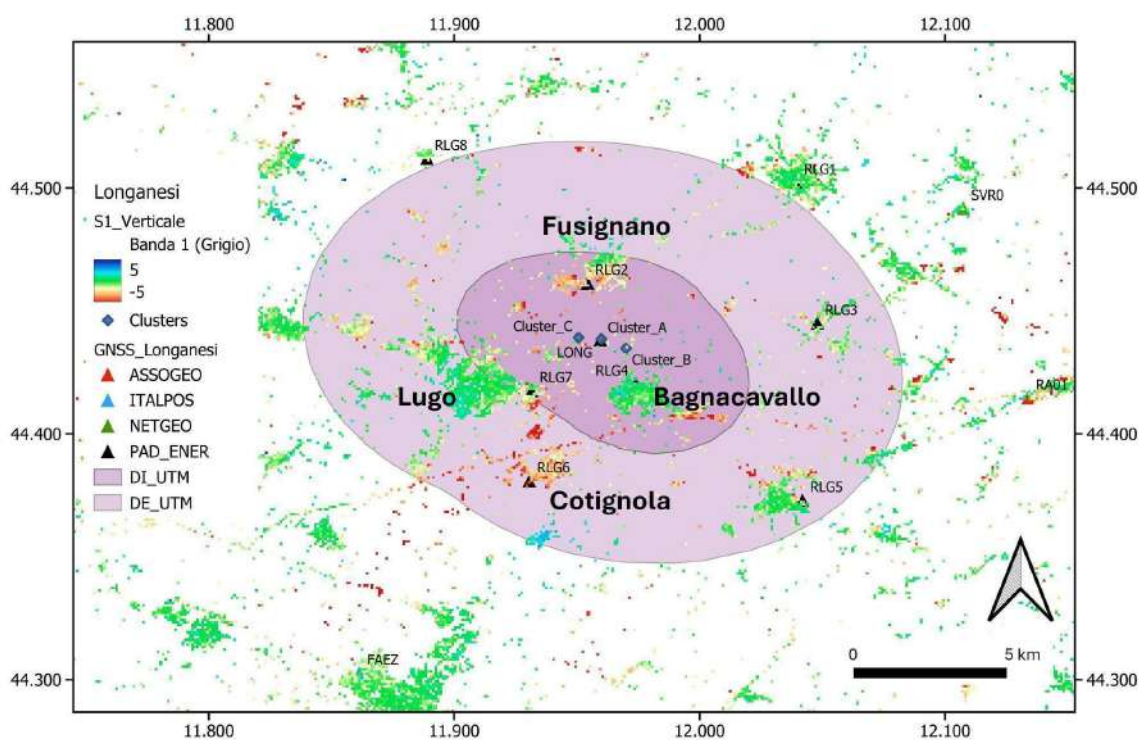


Figura 5.6.7: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 a settembre 2025 lungo la componente verticale calcolata dai dati SAR acquisiti dai satelliti della costellazione Sentinel-1. Valori negativi indicano subsidenza, viceversa per valori positivi. Nella mappa sono 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).

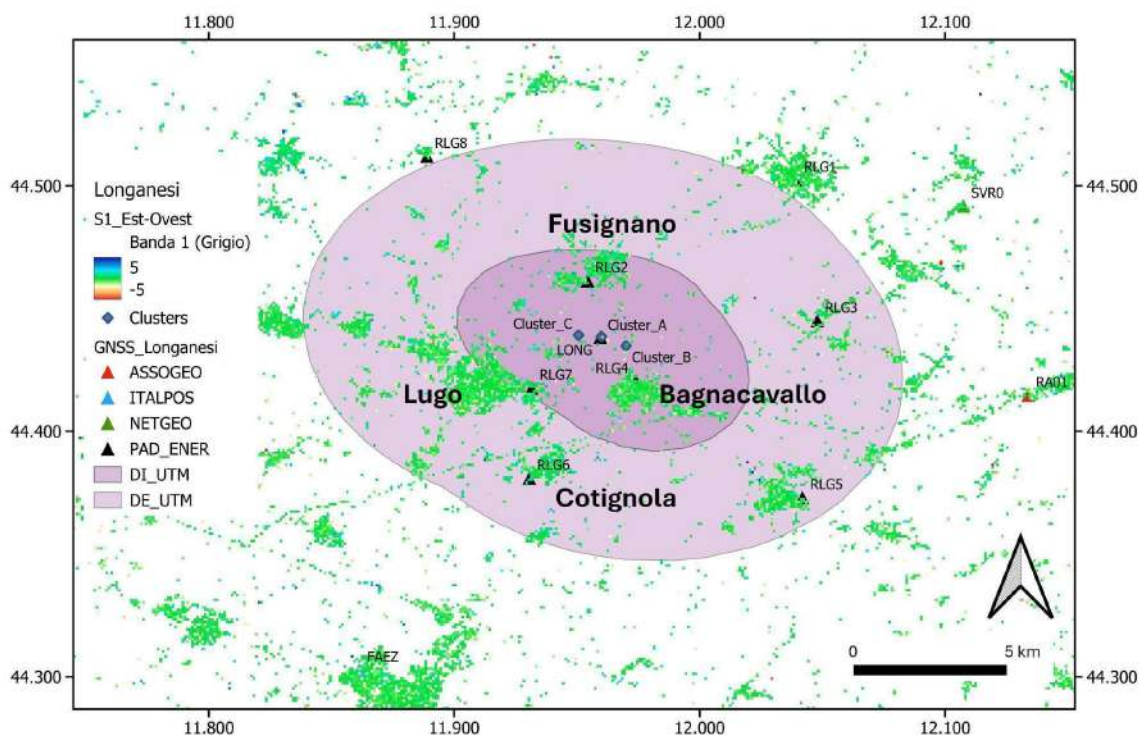


Figura 5.6.8: Mappa della velocità media di spostamento del suolo (mm/anno) da luglio 2017 a settembre 2025 lungo la componente orizzontale (est-ovest) calcolata dai dati SAR acquisiti dai satelliti della costellazione Sentinel-1. Valori negativi indicano spostamenti verso ovest, viceversa per valori 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).

5.7 Analisi dati di livellazione

Il Concessionario ha fornito alla SPM le informazioni relative a due campagne di livellazione realizzate nel 2023 e nel 2024. Per ognuna di queste campagne sono state trasmesse: 1) la posizione planimetrica dei capisaldi di livellazione appartenenti a 7 linee; 2) le monografie di alcuni capisaldi (incluso quelli di riferimento); 3) un documento di sintesi con i risultati dell'elaborazione dei dati e con i limiti di tolleranza; 4) le quote ricavate per ogni caposaldo.

Nonostante le informazioni fornite, la disponibilità di sole due misure per punto di livellazione non permette al momento un'analisi affidabile dell'andamento nel tempo del movimento verticale del suolo. Inoltre, segnaliamo due criticità inerenti il dato stesso. La prima è legata alla posizione del caposaldo di riferimento RLG400ITA (**Figura 5.7.1**), appartenente all'Anello N°03, che rappresenta un tracciato chiave per acquisire informazioni sulla deformazione superficiale legata al campo. Questo punto si trova a ridosso del giacimento di Longanesi e rischia di risentire degli effetti deformativi legati alle attività di sottosuolo e conseguentemente non risulta essere un riferimento stabile ideale per questa tipologia di misura. Una seconda criticità riguarda l'errore che si riscontra, a parità di campagna di livellazione, nella quota di alcuni capisaldi. Infatti, alcuni punti di livellazione, pur appartenendo ad anelli diversi, non sempre mostrano la stessa quota, come ad

Sarebbe anche utile disporre di un codice di stabilità della monumentazione dei capisaldi, per una valutazione della qualità della singola misura.

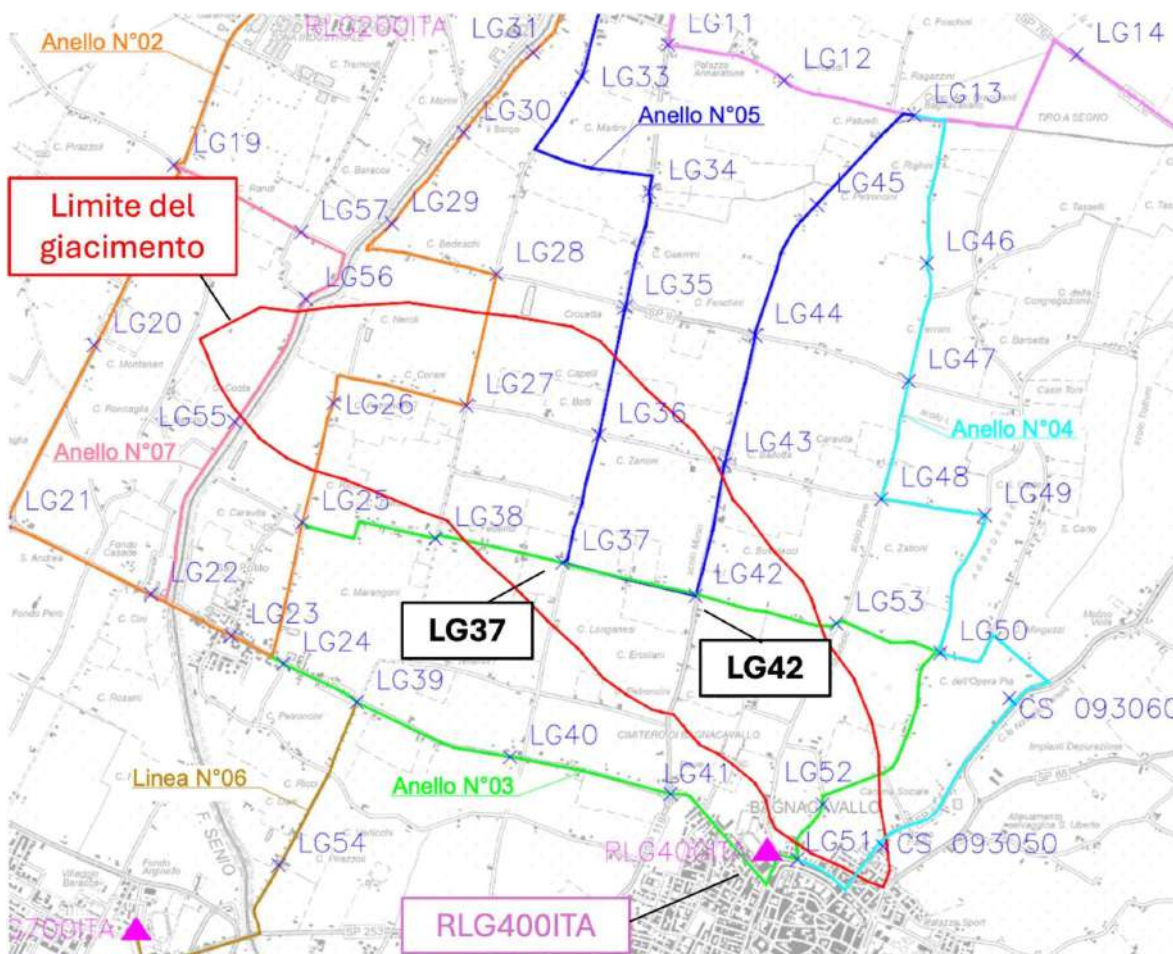


Figura 5.7.1: Planimetria dei capisaldi e degli anelli di livellazione fornita dal Concessionario: dettaglio in corrispondenza del Campo di Longanesi (linea rossa). Sono evidenziati i punti RLG400ITA, LG37 e LG42 (cfr testo).

6 Dati di portata e pressione

In riferimento all'attività estrattiva del giacimento Longanesi, il Concessionario ha fornito valori puntuali di profondità dei livelli produttivi attraversati dai 5 pozzi della concessione (**Tabella 6.1**).

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

Per tali livelli sono stati forniti profili statici di pressione e temperatura, e valori di pressione e temperatura acquisiti in continuo attraverso strumenti di memory gauge (**Tabella 6.2**).

Sebbene un'analisi preliminare dei dati di pressione abbia mostrato delle somiglianze fra i gradienti di pressione misurati nei diversi pozzi, valutazioni più accurate richiedono l'integrazione con informazioni di natura geologica e mineraria. In aggiunta, oltre ai livelli indicati come produttivi, il Concessionario ha trasmesso anche profili statici e *log* in continuo di pressione e temperatura, riferiti a ulteriori intervalli stratigrafici: PL1 B-C-D, PL1 E, PL1 I-J, PL1 L-M, PL1 O, PL1 O1 e PL1 P. Le pressioni di fluido di questi livelli non sono state al momento analizzate; la corretta interpretazione di questi elementi richiede infatti l'integrazione di ulteriori informazioni stratigrafiche, crono-stratigrafiche, sedimentologiche e strutturali che chiariscano l'interconnessione spaziale fra i livelli, così come informazioni circa i volumi di gas prodotto nel tempo dai singoli livelli e in ciascun pozzo.

In riferimento ai volumi di gas prodotto, è stato fornito il valore giornaliero lordo, riferito al periodo 12/03/2025 - 31/08/2025. In questo intervallo di tempo è stata anche trasmessa la pressione misurata alla testa del tubaggio (THP), distinta per pozzo e per stringa di produzione utilizzata (stringa lunga e stringa corta). In **Figura 6.1** è mostrato, ad esempio, l'andamento nel tempo delle pressioni del pozzo Longanesi 2dir e quello della produzione lorda di gas dal giacimento. In questo pozzo, come normalmente accade, si osserva una diminuzione di pressione dei livelli produttivi in corrispondenza dell'inizio dell'attività estrattiva. In particolare, la diminuzione di pressione relativa al livello più profondo PL1 N (stringa lunga) avviene in concomitanza con la 2^a fase produttiva del campo, mentre quella del livello più superficiale PL2 U (stringa corta) è in linea con la 4^a fase di incremento della produzione. Negli altri pozzi, a causa degli elementi sopra menzionati, pur osservando una diminuzione di THP in relazione alle fasi produttive del giacimento, non risulta al momento possibile la determinazione del contributo legato ai singoli livelli produttivi.

Pozzo	Livello	Data di riferimento	Tipo di dato		
Longanesi 3dir	PL1 N	05/06/2022	Profilo statico*		
		01/06/2022-02/06/2022 02/06/2022-05/06/2022	Log continuo		
		23/06/2023	Profilo statico		
	PL2 U	20/06/2023 21/06/2023-23/06/2023	Log continuo		
Longanesi 1	PL1 P	Dato assente			
	PL1 H	Dato assente			
Longanesi 2dir	PL1N	22/02/2022 25/02/2022	Profilo statico		
		22/02/2022 – 25/02/2022	Log continuo		
		09/03/2022	Profilo statico		
	PL2 U	07/03/2022-09/03/2022	Log continuo		
Casale Chiocci 1dir	PL1 Q+R	05/05/2023 18/07/2024	Profilo statico**		
		02/05/2023-05/05/2023 02/05/2023-03/05/2023 03/05/2023	Log continuo**		
		PL1 F	15/05/2023-17/05/2023	Log continuo**	
Abbadesse 1dir	PL1 G	21/06/2023 18/06/2023-19/06/2023 18/06/2023-21/06/2023 19/06/2023-21/06/2023 19/06/2023	Profilo statico		
		Log continuo			
			PL1 F	05/07/2023 05/07/2023	Profilo statico** Log continuo**

Tabella 6.2: Tipologia dei dati di pressione dei fluidi acquisiti nei pozzi della concessione e livelli produttivi a cui si riferiscono le misure. In evidenza: *incongruenza nei dati; **misure non riferite al solo livello produttivo indicato, ma a diversi intervalli di difficile identificazione mineraria (cfr. testo per ulteriori dettagli).

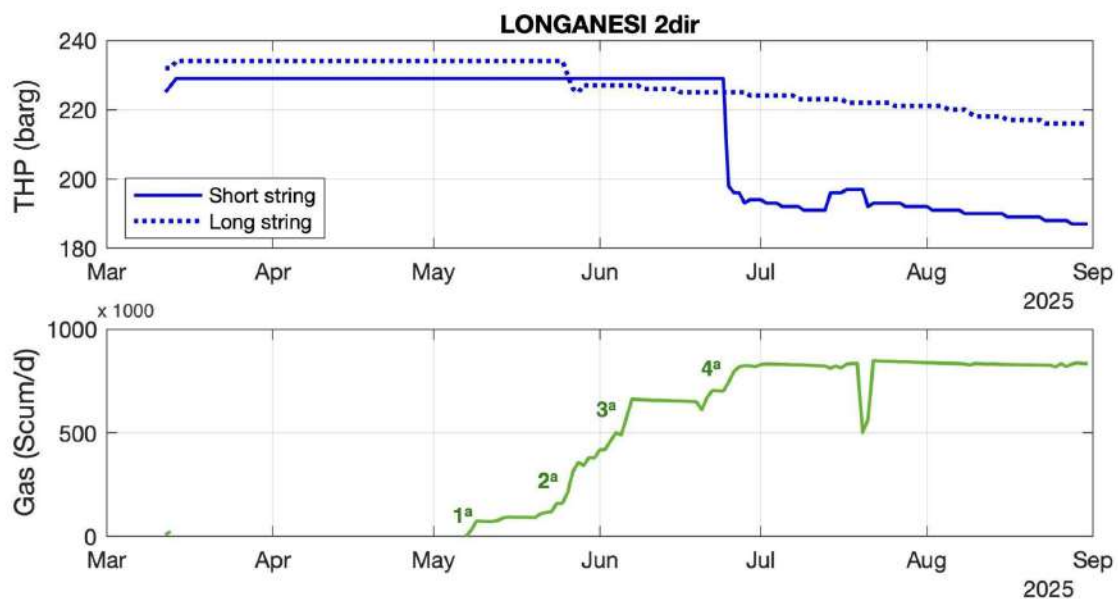


Figura 6.1: Andamento della pressione di fluido (THP) del pozzo Longanesi 2dir e dei volumi di gas totale prodotto dal giacimento di Longanesi nel periodo 12/05-31/08 2025. I numeri da 1 a 4 inseriti in corrispondenza dell'aumento di pendenza della linea verde (gas estratto) indicano le quattro fasi di maggiore incremento nella produzione.

7 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 7.1** 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.

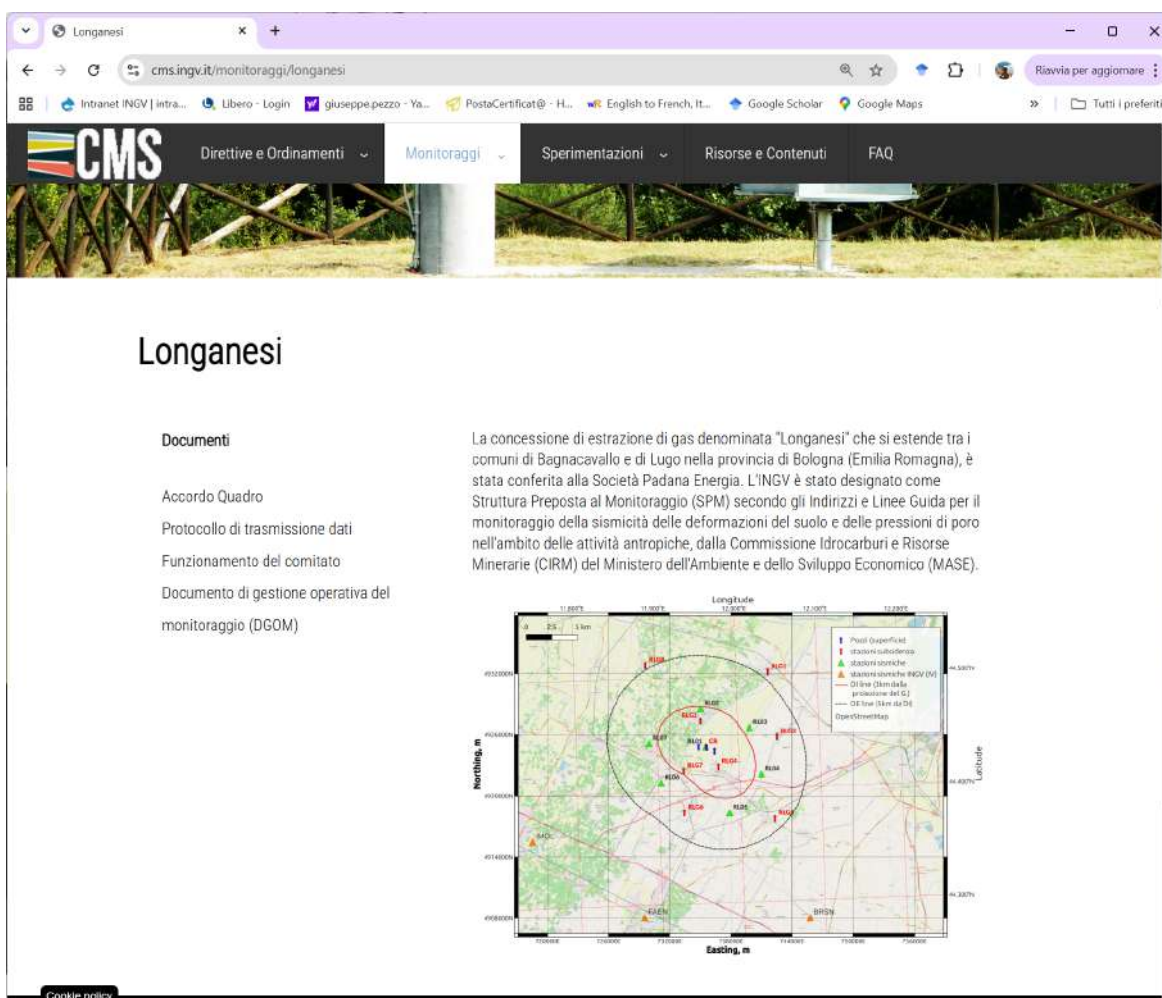


Figura 7.1: Schermata della pagina internet del CMS dedicata al monitoraggio della concessione Longanesi. Il menù a sinistra permette di aprire le diverse sottopagine dedicate ai documenti e conterrà una voce dedicata alle relazioni.

8 Considerazioni Conclusive

Come primo 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:

- La rete sismica locale è rispondente alle raccomandazioni presentate negli ILG per interdistanza, percentuale di dato acquisito (a parte casi sporadici), acquisizione in continuo, temporizzazione GPS, passo di campionamento e curve di risposta aggiornate;
- La rete sismica locale LF integrata con le stazioni della rete sismica nazionale IV non sembra completamente rispondente ai requisiti degli ILG (cap. 5.3) in quanto le stime teoriche di capacità di detezione indicano dei valori di magnitudo minima tra $1.9 \leq M_w \leq 2.3$ nel DI (vedere e.g., da **Figura 4.3.1** a **Figura 4.3.3**), mentre da ILG si richiede una magnitudo $0 \leq M_L \leq 1$ (cap. 5.3, punto 1). Trattandosi di scale di magnitudo differenti abbiamo cercato un modo per confrontarle calcolando la M_w per i terremoti registrati dalla rete: in base alla **Figura 4.5.1** è possibile inferire valori in M_w dell'ordine $1.0 \leq M_w \leq 1.5$ per il rango indicato negli ILG (tra 0 e 1 in M_L). Tale intervallo quindi si estende sotto il limite inferiore di quanto stimato come detezione teorica della rete.
- Questi risultati potrebbero essere dovuti agli alti livelli di rumorosità delle stazioni; ad esempio, dalle PPSD (**Figura 4.2.2** e Appendice B) è possibile vedere che per frequenze $> 1\text{ Hz}$ le misure di rumore delle stazioni sono vicine al valore di riferimento massimo NHNM (New High Noise Model) definiti da Petersen (1993), che potrebbero precludere una diminuzione significativa nella soglia di completezza rispetto ai livelli di completezza stimati dai dati della rete nazionale ed i valori suggeriti dagli ILG. Queste osservazioni potrebbero quindi suggerire il bisogno di stazioni in pozzo, almeno nei siti più rumorosi.
- La sismicità rilevata è costituita da pochi eventi di bassa energia, coerentemente con il quadro che emerge dall'analisi della sismicità storica e strumentale per l'area. Dall'inizio di operazione della rete sismica (primo trimestre del 2023), solo due eventi sismici sono stati localizzati all'interno del DE. Inoltre, come si può vedere nella **Tabella 4.4.3**, una serie 4 di eventi sismici accaduti il 26 maggio 2025 sono stati localizzati tra 11.5 e 12 km di profondità, appena fuori dal DE.

Monitoraggio delle deformazioni:

- La geometria della rete GNSS (composta da una stazione a doppia frequenza e da 8 a singola frequenza) risponde ai requisiti previsti dagli ILG in termini di interdistanze, mostrandosi potenzialmente capace di registrare eventuali segnali di deformazione dovuti all'attività industriale di giacimento.

- La mancanza di informazioni specifiche strumentali e la non disponibilità del dato riguardante le stazioni a singola frequenza non permette una valutazione della qualità della rete nel suo insieme.
- Per la stazione a doppia frequenza (LONG), non considerando i primi 6 mesi di dati registrati che risultano rumorosi e inaffidabili, le misure successive mostrano una buona qualità sia per continuità che per accuratezza. Tuttavia solo una serie temporale di spostamento più lunga può fornire indicazioni utili per verificare l'affidabilità e la stabilità del sito, argomento che sarà oggetto di studio nei prossimi rapporti semestrali.
- L'analisi delle deformazioni del suolo tramite InSAR utilizzando i dati Sentinel-1 dal 2017 al 2025 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 -5 mm/anno. Un andamento simile si riscontra anche in prossimità del *cluster* B, seppure con valori di subsidenza inferiori (circa -2.8 mm/anno). Gli andamenti della deformazione nel tempo calcolati nell'area dei due *cluster* A e B 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, sono state evidenziate alcuni aspetti che andranno approfonditi e chiariti nelle future analisi.

Monitoraggio delle pressioni di poro:

- Sulla base dei dati forniti dal Concessionario è possibile osservare una diminuzione della pressione dei fluidi (THP) nel periodo maggio-agosto 2025, in concomitanza con l'inizio dell'estrazione del gas.
- Tale diminuzione è attribuibile all'avvio di produzione di specifici livelli stratigrafici, riconoscibili solo nel pozzo Longanesi 2dir. Ulteriori dati di carattere minerario e geologico saranno utili per una migliore interpretazione.
- È auspicabile che i dati minerari, geologici e geofisici al momento disponibili siano integrati in futuro con ulteriori informazioni per poter descrivere la distribuzione dei fluidi (gas) nel giacimento e i flussi sotterranei, in relazione alla variazione delle pressioni di poro, come anche individuare eventuali limiti di permeabilità/confinamento dei fluidi nel sistema geologico.

Appendice A: Elenco dei terremoti storici e strumentali

Cat.	Data	Zona	Io	Lat.	Lon.	M
CPTI	1509-04-19	Faentino	7	44.323	11.864	5.0*
PFG	1561	Ravenna	5	44.417	12.167	3.6
CPTI	1591-07-10	Romagna	6-7	44.401	12.035	5.1*
PFG	1623-10-06	Conselice	5	44.583	11.833	3.6
PFG	1624-02-02	Conselice	5	44.583	11.833	3.6
PFG	1624-02-03	Conselice	5	44.583	11.833	3.6
PFG	1687	Castel Bolognese	6	44.333	11.75	4.1
PFG	1688-04-11	Fusignano	6	44.417	12	4.1
PFG	1688-04-11	Fusignano	7	44.417	12	4.7
CPTI	1688-04-11	Romagna	8-9	44.39	11.942	5.8*
PFG	1688-05-27	Fusignano	7	44.417	12	4.7
PFG	1688-08-18	Fusignano	7	44.417	12	4.7
PFG	1689-03-15	Fusignano	6	44.417	12	4.1
CPTI	1689-03-19	Faentino	4	44.281	12.107	3.7*
PFG	1700-01-09	Filetto	7	44.333	12	4.7
CPTI	1732-08-09	Romagna	6	44.288	11.878	4.6*
CPTI	1781-04-04	Faentino	9-10	44.251	11.798	6.1*
CPTI	1781-07-17	Faentino	8	44.268	11.987	5.6*
PFG	1854-06-16	Castel Bolognese	3	44.333	11.75	2.5
PFG	1854-06-17	Castel Bolognese	3	44.333	11.75	2.5
PFG	1861-10-16	Filetto	3	44.283	12.017	2.5
PFG	1861-10-17	Filetto	3	44.283	12.017	2.5
CPTI	1881-02-02	Russi	5-6	44.371	12.033	4.6*
CPTI	1891-08-01	Lugo	4-5	44.353	11.896	4.3*
PFG	1898-02-09	Conselice	4-5	44.517	11.833	3.3
PFG	1902-10-17	Lugo	3	44.433	11.917	2.5
PFG	1907-04-30	Fusignano	5	44.417	11.967	3.6
PFG	1913-12-31	Russi	3	44.383	12.033	2.5
PFG	1916-08-16	Fusignano	0	44.483	12.033	0
PFG	1916-10-06	Portonovo	3-4	44.583	11.8	2.8
PFG	1916-10-07	Portonovo	3-4	44.583	11.8	2.8
PFG	1920-02-15	Lugo	4	44.417	11.917	3.1
PFG	1921-01-13	Faenza	3	44.3	11.9	2.5
PFG	1921-01-13	Filetto	5	44.3	11.983	3.6
PFG	1926-01-04	Fusignano	3	44.5	12.033	2.5

PFG	1928-05-07	Faenza	3	44.3	11.9	2.5
PFG	1931-12-19	Faenza	4	44.3	11.9	3.1
PFG	1934-12-5	Faenza	3-4	44.3	11.9	2.8
PFG	1934-12-5	Faenza	3	44.3	11.9	2.5
PFG	1935-04-22	Castel Bolognese	3	44.3	11.75	2.5
PFG	1938-03-22	Faenza	3	44.283	11.917	2.5
PFG	1939-07-21	Faenza	3	44.283	11.917	2.5
PFG	1947-10-16	Longastrino	0	44.6	12	0
PFG	1949-06-27	Imola	0	44.4	11.8	0
PFG	1949-06-27	Imola	0	44.4	11.8	0
PFG	1949-06-27	Imola	0	44.4	11.8	0
PFG	1949-06-27	Imola	0	44.4	11.8	0
PFG	1949-06-27	Imola	0	44.4	11.8	0
PFG	1949-11-12	Faenza	3	44.3	11.9	2.5
PFG	1957-01-28	Cotignola	3	44.4	11.9	2.5
CPTI	1963-08-09	Romagna	5	44.416	11.977	5.2*
CPTI	1965-12-18	Pianura romagnola	5	44.27	12.021	4.5*
CPTI	1968-01-11	Pianura romagnola	4	44.279	11.909	4.4*
PFG	1968-03-12	Russi	4	44.4	12	3.1
CPTI	1969-01-10	Pianura ravennate	5	44.39	11.983	4.3*
PFG	1969-04-16	Fusignano	5	44.417	11.967	3.6
PFG	1969-04-17	Fusignano	3-4	44.417	11.967	2.8
PFG	1969-04-17	Fusignano	3	44.417	11.967	2.5
PFG	1969-04-17	Fusignano	3	44.417	11.967	2.5
PFG	1969-04-17	Cotignola	5	44.4	11.9	3.6
PFG	1971-01-19	Russi	3	44.4	12	2.5
PFG	1978-06-11	Ravenna n.o.	0	44.467	12.1	0
PFG	1978-12-23	S.Pietro	0	44.267	12.183	0
PFG	1979-11-06	Faenza	0	44.267	11.917	0
PFG	1980-04-19	Filetto	0	44.317	12.05	0
PFG	1980-05-20	Lugo	0	44.433	11.9	0

Tabella A.3.1: Elenco dei 67 terremoti storici localizzati entro l'area di interesse secondo i cataloghi PFG o CPTI (la fonte è indicata nella prima colonna di sinistra). La magnitudo è espressa come magnitudo macrosismica (Mm), ad eccezione dei 13 eventi inclusi nel CPTI per i quali viene riportata la magnitudo momento (Mw, valori contrassegnati da un asterisco). In tabella, oltre alla data e all'orario, sono riportati per ogni evento il catalogo di riferimento (colonna "Cat.") e i relativi parametri epicentrali (colonne data, zona, intensità "Io", latitudine e longitudine). L'ultima colonna ("M") riporta i valori in magnitudo momento (Mw) per i dati provenienti dal CPTI (13 casi, indicati con un asterisco), mentre per quelli da catalogo PFG presenta i valori di magnitudo macrosismica (Mm), una misura generica senza tipologia specifica (per maggiori dettagli si veda la definizione nel PFG stesso).

Data e Ora (Italia)	M	Zona	Z (Km)	Lat	Lon
1986-06-21 20:57	Md 3.6	9 km NE Forlì (FC)	24.4	44.292	12.106
1987-06-23 08:40	Md 2.4	6 km NE Forlì (FC)	7.5	44.255	12.102
1988-02-16 22:47	Md 3.2	3 km NE Bagnacavallo (RA)	5	44.446	11.992
1988-03-10 12:07	Md 2.7	12 km SW Comacchio (FE)	5	44.597	12.13
1988-04-07 09:42	Md 3.0	2 km NE Bagnacavallo (RA)	5	44.425	11.994
1989-03-26 19:30	Md 2.3	6 km E Faenza (RA)	10	44.281	11.957
1989-08-22 11:20	Md 2.7	9 km E Argenta (FE)	10	44.589	11.94
1989-09-08 07:04	Md 2.7	3 km SW Faenza (RA)	10.3	44.265	11.856
1990-01-19 11:46	Md 2.8	4 km E Bagnacavallo (RA)	5	44.424	12.021
1991-02-20 12:53	Md 3.3	3 km S Russi (RA)	5	44.347	12.038
1991-02-20 17:58	Md 2.4	6 km SE Faenza (RA)	5	44.257	11.949
1991-03-23 17:10	Md 2.8	3 km SE Solarolo (RA)	13.1	44.344	11.875
1991-03-29 13:37	Md 2.5	7 km W Forlì (FC)	5	44.252	11.964
1991-05-18 19:27	Md 2.7	5 km SW Cotignola (RA)	5	44.34	11.918
1991-07-22 16:02	Md 2.3	2 km NE Riolo Terme (RA)	4.6	44.293	11.741
1991-08-10 15:11	Md 2.3	3 km W Solarolo (RA)	10	44.354	11.803
1992-02-20 16:10	Md 3.1	6 km S Cotignola (RA)	10.4	44.334	11.955
1992-03-15 02:53	Md 2.6	1 km E Bagnacavallo (RA)	17.2	44.415	11.992
1992-04-03 19:23	Md 3.5	2 km W Bagnacavallo (RA)	9.8	44.425	11.957
1992-04-15 14:14	Md 2.5	4 km NE Faenza (RA)	5	44.314	11.921
1993-03-11 21:35	Md 3.0	9 km N Forlìimpopoli (FC)	12.8	44.265	12.155
1993-03-11 21:38	Md 3.1	9 km N Forlìimpopoli (FC)	11.6	44.268	12.142
1993-03-11 21:43	Md 2.5	6 km S Russi (RA)	10	44.322	12.031
1993-05-01 19:53	Md 2.2	10 km S Ravenna (RA)	10	44.33	12.172
1993-11-06 22:21	M 3.8	3 km N Forlì (FC)	10	44.253	12.038
1993-11-07 23:12	Md 2.0	6 km NE Forlì (FC)	10	44.269	12.073
1993-11-14 20:26	Md 2.2	4 km NE Russi (RA)	5	44.409	12.059
1994-02-15 12:17	Md 2.6	8 km S Russi (RA)	10	44.305	12.026

1994-10-02 05:35	Md 2.4	2 km W Conselice (RA)	8.9	44.507	11.805
1994-11-27 17:02	Md 2.9	11 km NE Alfonsine (RA)	8.1	44.594	12.107
1995-02-26 19:22	Md 3.0	8 km NW Ravenna (RA)	5.3	44.477	12.14
1995-08-09 21:35	Md 2.9	5 km E Alfonsine (RA)	11	44.489	12.102
1996-01-11 09:40	Md 2.5	7 km E Alfonsine (RA)	5	44.482	12.125
1996-03-18 01:15	Md 2.9	7 km E Alfonsine (RA)	5	44.506	12.133
1996-11-23 13:48	Md 2.2	8 km NE Forlì (FC)	10	44.272	12.116
1997-08-02 12:00	Md 2.5	5 km S Russi (RA)	10.9	44.329	12.031
1997-08-02 13:31	Md 2.5	3 km SW Castel Bolognese (RA)	16.1	44.299	11.778
1997-08-10 10:25	Md 2.6	11 km N Forlìmpopoli (FC)	19.1	44.285	12.158
1997-11-17 09:25	Md 2.4	4 km S Faenza (RA)	10	44.251	11.886
1998-02-26 08:14	Md 2.5	9 km NE Forlì (FC)	5	44.296	12.082
2000-01-05 12:21	Md 3.4	6 km N Forlì (FC)	5	44.276	12.027
2000-01-05 12:38	Md 2.8	6 km NW Forlì (FC)	14.9	44.257	11.99
2000-01-05 12:56	Md 2.6	4 km E Riolo Terme (RA)	5	44.287	11.774
2000-01-05 13:14	Md 2.9	5 km NW Forlì (FC)	15	44.254	11.998
2000-01-05 20:01	Md 2.3	4 km E Solarolo (RA)	10	44.35	11.888
2000-01-05 20:48	Md 2.7	6 km NW Forlì (FC)	11.7	44.269	11.998
2000-01-06 10:45	Md 2.6	4 km NW Forlì (FC)	16.9	44.259	12.027
2000-02-05 22:29	Md 2.3	2 km S Sant'Agata sul Santerno (RA)	5	44.423	11.864
2000-02-07 22:08	Md 2.6	6 km NE Forlì (FC)	6.9	44.273	12.083
2000-02-19 12:55	Md 3.5	3 km NE Riolo Terme (RA)	15.5	44.293	11.754
2000-04-03 23:09	Md 2.4	7 km NW Forlì (FC)	5	44.255	11.971
2000-04-05 01:04	Md 3.0	7 km NW Forlì (FC)	5	44.26	11.977
2000-04-08 01:14	Md 2.6	4 km E Solarolo (RA)	5	44.364	11.891
2000-04-09 12:12	Md 2.3	2 km E Riolo Terme (RA)	6.6	44.282	11.747
2000-04-09 12:20	Md 2.2	E Faenza (RA)	12.1	44.286	11.89
2000-04-19 17:24	Md 2.6	4 km S Castel Bolognese (RA)	7.7	44.287	11.813
2000-04-19 17:36	Md 3.1	4 km SE Faenza (RA)	10	44.257	11.919

2000-04-19 18:06	Md 3.4	5 km SE Faenza (RA)	12.1	44.253	11.921
2000-04-20 07:01	Md 2.6	7 km NE Forlì (FC)	5	44.285	12.079
2000-04-21 12:54	Md 2.8	6 km NW Forlì (FC)	11.6	44.254	11.972
2000-04-21 15:18	Md 2.3	4 km NE Brisighella (RA)	10	44.256	11.795
2000-04-21 22:59	Md 2.2	5 km SW Faenza (RA)	5	44.262	11.826
2000-04-21 23:22	Md 2.2	3 km SE Castel Bolognese (RA)	10	44.304	11.833
2000-04-22 03:23	Md 3.0	5 km E Faenza (RA)	5.6	44.271	11.947
2000-04-22 06:55	Md 2.6	4 km E Faenza (RA)	9.6	44.269	11.934
2000-04-23 19:13	Md 2.8	3 km E Faenza (RA)	5	44.289	11.927
2000-04-23 19:21	Md 2.2	5 km SW Faenza (RA)	10	44.253	11.833
2000-04-23 19:24	Md 3.4	2 km E Faenza (RA)	9	44.292	11.909
2000-04-23 19:28	Md 3.3	4 km E Faenza (RA)	10.1	44.278	11.937
2000-04-23 19:45	Md 2.6	6 km E Faenza (RA)	5	44.304	11.95
2000-04-23 19:50	Md 3.1	3 km W Faenza (RA)	5.4	44.281	11.842
2000-04-23 22:00	Md 2.9	5 km SE Faenza (RA)	12.3	44.254	11.935
2000-04-23 23:54	Md 2.7	4 km SW Faenza (RA)	10.5	44.253	11.86
2000-04-24 02:38	Md 3.2	5 km E Faenza (RA)	5	44.283	11.948
2000-04-26 17:56	Md 3.4	8 km NW Forlì (FC)	5	44.281	11.987
2000-04-26 18:28	Md 2.7	1 km E Russi (RA)	5	44.375	12.049
2000-04-26 19:08	Md 2.8	7 km SE Faenza (RA)	5	44.252	11.957
2000-04-26 23:57	Md 3.4	6 km E Faenza (RA)	5	44.28	11.953
2000-04-27 00:26	Md 3.2	6 km E Faenza (RA)	5	44.283	11.965
2000-04-27 01:01	Md 3.0	7 km NW Forlì (FC)	9.4	44.281	11.994
2000-04-28 13:15	Md 3.5	8 km NW Forlì (FC)	5	44.286	12.001
2000-04-29 11:42	Md 2.8	7 km E Faenza (RA)	12.2	44.272	11.965
2000-04-29 21:23	Md 2.9	6 km NW Forlì (FC)	4.1	44.277	12.01
2000-05-01 00:28	Md 3.8	8 km S Cotignola (RA)	5	44.319	11.97
2000-05-01 00:49	Md 2.7	6 km E Faenza (RA)	5	44.265	11.957
2000-05-01 00:51	Md 2.4	5 km SE Faenza (RA)	5	44.262	11.94

2000-05-01 05:40	Md 3.2	8 km NW Forlì (FC)	5	44.284	11.996
2000-05-01 16:06	Md 3.1	8 km E Faenza (RA)	5	44.305	11.98
2000-05-02 00:03	Md 3.3	7 km NW Forlì (FC)	5	44.283	12.005
2000-05-02 06:48	Md 4.0	7 km E Faenza (RA)	9.8	44.286	11.972
2000-05-02 07:10	Md 2.6	5 km SE Faenza (RA)	5	44.257	11.937
2000-05-04 20:43	Md 2.3	3 km SW Faenza (RA)	5	44.261	11.858
2000-05-05 11:24	Md 3.5	6 km NW Forlì (FC)	8	44.265	12
2000-05-05 12:06	Md 3.0	5 km SE Faenza (RA)	10	44.259	11.938
2000-05-05 12:23	Md 2.6	7 km SE Faenza (RA)	5	44.253	11.956
2000-05-05 20:54	Md 2.3	6 km SW Faenza (RA)	3.8	44.259	11.823
2000-05-06 20:07	Md 4.2	2 km E Faenza (RA)	10	44.286	11.904
2000-05-06 20:21	Md 2.8	6 km SE Faenza (RA)	12.3	44.26	11.944
2000-05-06 22:59	Md 2.4	3 km S Faenza (RA)	17.8	44.258	11.89
2000-05-06 23:27	Md 3.5	5 km SE Faenza (RA)	10.7	44.26	11.929
2000-05-06 23:32	Md 3.3	4 km SE Faenza (RA)	10.2	44.267	11.93
2000-05-07 00:10	Md 3.5	6 km SE Faenza (RA)	13.2	44.259	11.946
2000-05-07 01:05	Md 3.7	6 km E Faenza (RA)	15.2	44.279	11.96
2000-05-07 01:08	Md 2.8	7 km S Cotignola (RA)	13.5	44.327	11.963
2000-05-07 01:37	Md 2.2	5 km E Riolo Terme (RA)	10	44.266	11.783
2000-05-07 01:38	Md 2.3	4 km S Castel Bolognese (RA)	5	44.282	11.787
2000-05-07 03:01	Md 3.9	6 km E Faenza (RA)	11.9	44.276	11.958
2000-05-07 04:31	Md 2.5	5 km SE Faenza (RA)	11	44.258	11.933
2000-05-07 04:53	Md 2.6	5 km E Faenza (RA)	5	44.295	11.941
2000-05-07 05:16	Md 3.1	4 km E Faenza (RA)	13.4	44.273	11.925
2000-05-07 10:59	Md 2.8	3 km E Faenza (RA)	11.7	44.287	11.924
2000-05-07 22:14	Md 3.2	7 km NW Forlì (FC)	10.1	44.269	11.98
2000-05-08 10:29	Md 4.3	6 km E Faenza (RA)	10	44.27	11.95
2000-05-08 10:40	Md 3.1	7 km NW Forlì (FC)	5	44.258	11.971
2000-05-08 10:58	Md 2.5	7 km N Forlì (FC)	11	44.288	12.052

2000-05-08 11:16	Md 3.0	7 km NW Forlì (FC)	11	44.28	11.995
2000-05-08 11:57	Md 2.5	6 km E Faenza (RA)	10	44.283	11.965
2000-05-08 12:28	Md 3.5	7 km NW Forlì (FC)	10.4	44.268	11.977
2000-05-08 12:46	Md 2.2	2 km SW Faenza (RA)	5	44.275	11.872
2000-05-08 18:26	Md 2.1	3 km W Faenza (RA)	10	44.289	11.84
2000-05-08 22:53	Md 2.8	6 km E Faenza (RA)	5	44.298	11.961
2000-05-09 20:50	Md 2.5	6 km SE Faenza (RA)	5	44.253	11.937
2000-05-10 01:46	Md 3.5	6 km NW Forlì (FC)	10	44.257	11.979
2000-05-10 01:55	Md 2.5	6 km SE Faenza (RA)	5	44.257	11.952
2000-05-10 03:54	Md 3.1	6 km NW Forlì (FC)	5	44.269	12.012
2000-05-10 05:40	Md 2.4	3 km E Faenza (RA)	5	44.273	11.917
2000-05-10 10:15	Md 2.8	7 km NW Forlì (FC)	11.2	44.271	11.989
2000-05-10 16:19	Md 2.6	6 km E Faenza (RA)	13	44.283	11.955
2000-05-10 17:35	Md 2.6	6 km E Faenza (RA)	11.9	44.266	11.956
2000-05-10 17:48	Md 2.8	7 km NW Forlì (FC)	10	44.279	11.992
2000-05-10 20:22	Md 2.6	7 km NW Forlì (FC)	11.2	44.269	11.981
2000-05-10 21:04	Md 3.0	7 km E Faenza (RA)	14	44.266	11.964
2000-05-10 21:37	Md 2.8	4 km S Castel Bolognese (RA)	6.1	44.283	11.808
2000-05-10 22:02	Md 2.9	7 km SW Russi (RA)	14.8	44.317	12.009
2000-05-10 23:00	Md 2.9	6 km NW Forlì (FC)	10.1	44.26	11.991
2000-05-10 23:28	Md 2.3	4 km S Faenza (RA)	5	44.252	11.87
2000-05-11 00:39	Md 2.7	5 km E Faenza (RA)	14.1	44.296	11.95
2000-05-11 02:41	Md 3.5	6 km NW Forlì (FC)	12.3	44.265	11.992
2000-05-11 08:57	Md 4.0	3 km W Faenza (RA)	4.8	44.295	11.854
2000-05-11 09:57	Md 4.1	7 km E Faenza (RA)	5.1	44.293	11.968
2000-05-12 05:01	Md 2.9	3 km SE Faenza (RA)	10.1	44.262	11.902
2000-05-12 09:26	Md 4.1	2 km SE Faenza (RA)	3.9	44.276	11.905
2000-05-13 06:08	Md 2.6	4 km N Forlì (FC)	5	44.255	12.034
2000-05-13 06:17	Md 2.6	6 km E Faenza (RA)	5	44.305	11.959

2000-05-13 06:33	Md 2.5	5 km N Forlì (FC)	5	44.27	12.034
2000-05-13 13:58	Md 2.4	1 km N Faenza (RA)	7.1	44.291	11.882
2000-05-13 17:56	Md 3.3	6 km E Faenza (RA)	10	44.258	11.955
2000-05-13 21:01	Md 3.2	4 km E Faenza (RA)	10	44.275	11.933
2000-05-14 06:57	Md 2.2	4 km E Riolo Terme (RA)	5	44.293	11.765
2000-05-14 07:59	Md 2.3	3 km SE Castel Bolognese (RA)	5	44.303	11.83
2000-05-14 12:12	Md 2.2	3 km W Faenza (RA)	5	44.281	11.847
2000-05-14 13:30	Md 2.3	3 km E Faenza (RA)	5	44.277	11.914
2000-05-14 17:17	Md 2.1	4 km NW Faenza (RA)	5	44.316	11.866
2000-05-14 17:32	Md 2.1	5 km E Faenza (RA)	5	44.296	11.951
2000-05-15 18:39	Md 2.3	4 km SE Castel Bolognese (RA)	3	44.289	11.825
2000-05-16 09:48	Md 2.4	5 km NE Brisighella (RA)	5	44.262	11.809
2000-05-16 20:22	Md 2.2	3 km SE Faenza (RA)	2.6	44.268	11.91
2000-05-20 07:20	Md 2.5	4 km E Riolo Terme (RA)	10	44.287	11.774
2000-05-21 00:58	Md 2.3	5 km E Faenza (RA)	10	44.291	11.951
2000-05-22 04:28	Md 2.4	7 km E Faenza (RA)	10	44.28	11.973
2000-05-27 13:20	Md 2.3	5 km NE Faenza (RA)	10	44.33	11.909
2000-05-28 00:02	Md 2.2	4 km W Castel Bolognese (RA)	10	44.308	11.753
2000-05-29 04:10	Md 2.5	5 km SW Faenza (RA)	5	44.259	11.827
2000-06-03 18:41	Md 2.3	4 km W Faenza (RA)	10	44.27	11.836
2000-06-06 04:55	Md 2.2	7 km E Faenza (RA)	10	44.299	11.967
2000-06-08 21:37	Md 2.9	3 km SE Faenza (RA)	11.8	44.268	11.916
2000-06-08 23:26	Md 2.7	4 km SE Faenza (RA)	5	44.256	11.899
2000-06-16 16:35	Md 2.5	6 km NE Brisighella (RA)	10	44.252	11.829
2000-06-17 22:21	Md 3.2	6 km SE Faenza (RA)	11	44.253	11.943
2000-06-24 14:14	Md 2.6	2 km SE Faenza (RA)	10.6	44.269	11.898
2000-07-02 03:30	Md 3.3	7 km NW Forlì (FC)	16.8	44.27	11.987
2000-07-10 05:21	Md 2.8	3 km SE Faenza (RA)	11.6	44.263	11.908
2000-07-16 05:34	Md 2.7	7 km N Forlì (FC)	5	44.281	12.02

2000-07-25 02:09	Md 2.4	4 km NE Forlì (FC)	5	44.252	12.078
2000-09-24 07:21	Md 2.3	3 km NE Imola (BO)	5	44.375	11.747
2000-10-16 19:58	Md 2.7	3 km W Alfonsine (RA)	5	44.513	12.007
2000-11-24 02:12	Md 2.3	3 km SW Faenza (RA)	10	44.257	11.87
2000-12-05 12:01	Md 2.5	5 km E Faenza (RA)	11.5	44.294	11.944
2000-12-06 02:49	Md 3.2	10 km N Alfonsine (RA)	4.7	44.599	12.04
2000-12-06 03:39	Md 2.4	3 km N Alfonsine (RA)	10	44.53	12.048
2000-12-09 10:47	Md 2.6	6 km N Fusignano (RA)	5	44.526	11.959
2000-12-29 15:14	Md 2.5	2 km E Faenza (RA)	5	44.293	11.904
2000-12-29 15:15	Md 2.3	5 km S Castel Bolognese (RA)	10	44.278	11.792
2001-01-03 01:33	Md 2.4	6 km W Alfonsine (RA)	5.1	44.53	11.967
2001-01-07 22:24	Md 2.1	6 km NW Forlì (FC)	10	44.253	11.984
2001-01-11 17:22	Md 2.6	7 km NW Alfonsine (RA)	5	44.564	12.002
2001-01-19 21:57	Md 2.2	2 km W Castel Bolognese (RA)	10	44.319	11.777
2001-01-21 17:38	Md 2.5	4 km NE Brisighella (RA)	8.1	44.251	11.789
2001-02-02 05:39	Md 2.6	3 km SE Faenza (RA)	5	44.27	11.919
2001-02-13 18:22	Md 1.9	8 km NE Forlìimpopoli (FC)	10	44.257	12.167
2001-02-13 18:40	Md 2.3	11 km NE Forlìimpopoli (FC)	5	44.281	12.183
2001-02-15 18:16	Md 2.5	4 km S Faenza (RA)	12.6	44.251	11.891
2001-02-20 18:58	Md 2.4	8 km N Forlìimpopoli (FC)	10	44.263	12.133
2001-03-28 02:16	Md 2.4	3 km SW Lugo (RA)	5	44.403	11.885
2002-01-19 09:49	Md 2.2	3 km SE Castel Bolognese (RA)	5	44.297	11.819
2002-01-25 04:57	Md 2.5	1 km W Faenza (RA)	5	44.289	11.874
2002-04-12 18:34	Md 2.1	7 km E Faenza (RA)	10	44.28	11.974
2002-04-13 11:15	Md 2.1	2 km E Faenza (RA)	5	44.281	11.912
2002-04-13 11:24	Md 2.4	5 km SE Faenza (RA)	4.3	44.258	11.933
2002-04-13 12:30	Md 2.3	6 km E Faenza (RA)	10	44.274	11.953
2002-04-13 17:41	Md 2.3	4 km E Faenza (RA)	10	44.298	11.937
2002-04-15 12:11	Md 2.0	4 km N Forlì (FC)	10	44.26	12.034

2002-04-28 12:58	Md 2.1	6 km E Faenza (RA)	10	44.26	11.95
2002-06-22 17:26	Md 2.3	7 km NW Alfonsine (RA)	12.2	44.566	11.999
2002-10-21 17:42	Md 2.5	9 km NW Ravenna (RA)	10	44.49	12.16
2003-03-17 22:46	Md 2.0	4 km SE Faenza (RA)	5	44.254	11.911
2004-01-23 06:35	Md 2.4	4 km SW Cotignola (RA)	10	44.357	11.916
2004-01-23 09:40	Md 2.2	6 km SE Russi (RA)	10	44.32	12.065
2004-02-06 18:02	Md 2.1	11 km S Ravenna (RA)	10	44.319	12.174
2004-02-13 05:18	Md 2.4	4 km E Bagnacavallo (RA)	10	44.433	12.028
2004-02-14 16:55	Md 2.7	9 km SE Argenta (FE)	5	44.564	11.924
2005-03-26 15:59	Md 2.4	9 km NE Alfonsine (RA)	13	44.548	12.138
2005-04-20 16:31	Md 2.2	3 km S Lugo (RA)	18.8	44.394	11.901
2005-06-05 10:16	ML 1.8	7 km SE Faenza (RA)	6.6	44.254	11.96
2005-08-31 13:04	ML 2.3	6 km NE Faenza (RA)	12.5	44.318	11.937
2005-11-30 23:15	ML 1.8	11 km N Forlìmpopoli (FC)	23.5	44.286	12.15
2006-03-24 07:51	ML 2.3	12 km S Ravenna (RA)	10	44.307	12.181
2006-12-12 21:08	ML 2.0	8 km N Alfonsine (RA)	12.1	44.575	12.056
2007-02-14 22:10	ML 3.3	7 km S Russi (RA)	17.6	44.306	12.029
2007-02-14 22:24	ML 1.4	5 km E Solarolo (RA)	11	44.337	11.905
2007-02-14 22:37	ML 1.2	4 km E Solarolo (RA)	10	44.36	11.895
2007-02-14 23:27	Md 2.0	3 km SW Russi (RA)	10	44.351	12.016
2007-02-14 23:55	ML 1.6	2 km E Solarolo (RA)	10	44.369	11.865
2007-02-15 22:23	ML 1.3	4 km SW Russi (RA)	29.6	44.356	11.993
2007-02-18 11:02	ML 1.5	6 km SE Russi (RA)	10	44.34	12.09
2007-03-12 21:56	ML 2.0	4 km E Riolo Terme (RA)	10	44.281	11.771
2007-03-25 16:38	ML 2.1	5 km SE Faenza (RA)	21.4	44.254	11.933
2007-06-30 21:37	ML 1.3	7 km NW Forlì (FC)	5	44.286	12.006
2007-08-23 02:52	ML 1.9	4 km SE Solarolo (RA)	10	44.33	11.865
2007-08-29 21:47	Md 2.3	3 km W Cotignola (RA)	10	44.396	11.914
2007-09-08 18:24	ML 2.2	3 km E Bagnara di Romagna (RA)	7.3	44.397	11.864

2007-09-09 00:31	ML 2.0	3 km SE Castel Bolognese (RA)	1.9	44.302	11.827
2007-09-09 02:30	ML 2.0	3 km W Faenza (RA)	2.9	44.277	11.853
2007-11-02 19:57	ML 2.0	4 km W Castel Bolognese (RA)	5.1	44.326	11.755
2007-11-02 21:26	ML 2.1	4 km SW Cotignola (RA)	10	44.359	11.913
2007-12-06 05:49	ML 1.3	5 km E Castel Guelfo di Bologna (BO)	10	44.424	11.741
2008-06-20 06:41	ML 1.6	6 km NW Forlì (FC)	21.7	44.257	11.98
2008-07-10 21:52	ML 1.1	5 km N Castel Bolognese (RA)	10	44.36	11.784
2008-07-11 08:30	ML 1.2	5 km N Faenza (RA)	10	44.327	11.892
2009-01-06 09:03	ML 1.5	5 km NW Forlì (FC)	10	44.251	11.999
2009-02-23 19:53	ML 1.5	6 km W Ravenna (RA)	5	44.403	12.124
2009-04-05 18:25	Md 2.2	3 km W Faenza (RA)	35.3	44.289	11.845
2009-04-05 18:29	Md 2.0	8 km N Forlì (FC)	34.2	44.298	12.03
2009-04-05 18:44	ML 1.4	3 km E Faenza (RA)	25	44.276	11.917
2009-04-05 18:45	ML 1.6	7 km E Faenza (RA)	25	44.257	11.963
2009-04-05 19:11	ML 1.6	6 km E Faenza (RA)	30.6	44.285	11.956
2009-04-05 19:25	ML 1.5	6 km NW Forlì (FC)	30	44.261	11.979
2009-04-05 20:26	ML 1.9	5 km NW Forlì (FC)	33.8	44.264	12.007
2009-04-05 20:28	ML 1.9	2 km SE Faenza (RA)	30.7	44.266	11.896
2009-04-05 21:20	ML 1.4	6 km NW Forlì (FC)	31	44.255	11.987
2009-04-05 21:27	ML 1.2	6 km E Faenza (RA)	34.8	44.262	11.944
2009-04-05 21:38	Md 1.1	7 km NW Forlì (FC)	36.1	44.257	11.968
2009-04-05 21:39	ML 2.0	4 km SE Faenza (RA)	29.4	44.255	11.912
2009-04-05 21:42	ML 1.6	8 km E Faenza (RA)	25	44.307	11.979
2009-04-05 23:03	ML 1.4	5 km S Russi (RA)	10	44.328	12.043
2009-04-06 01:33	ML 3.3	7 km SE Faenza (RA)	27.7	44.251	11.958
2009-04-06 11:03	ML 2.0	3 km N Forlì (FC)	32.2	44.251	12.049
2009-04-07 08:46	ML 1.7	6 km N Forlì (FC)	10	44.277	12.051
2009-04-07 15:21	ML 1.3	8 km NE Forlì (FC)	10	44.265	12.118
2009-04-08 16:42	ML 1.4	4 km SE Faenza (RA)	9.4	44.258	11.903

2009-04-09 09:44	ML 2.4	3 km S Faenza (RA)	27.2	44.264	11.888
2009-04-09 16:09	ML 2.6	5 km E Faenza (RA)	27.9	44.28	11.948
2009-04-16 12:01	ML 1.8	6 km E Faenza (RA)	10.3	44.307	11.952
2009-05-27 06:29	ML 1.4	6 km N Forlì (FC)	10	44.275	12.024
2009-07-15 12:47	ML 0.9	4 km SW Cotignola (RA)	11	44.361	11.914
2009-07-16 12:24	ML 1.4	4 km NE Faenza (RA)	2	44.304	11.926
2009-08-31 05:23	ML 1.3	2 km E Castel Bolognese (RA)	10	44.319	11.822
2009-09-01 20:07	ML 2.6	11 km N Alfonsine (RA)	31.7	44.603	12.04
2009-10-26 14:48	ML 1.7	1 km NE Faenza (RA)	10	44.293	11.896
2009-10-26 16:21	ML 1.4	4 km E Castel Bolognese (RA)	10	44.304	11.84
2009-12-10 16:02	ML 2.1	4 km SE Cotignola (RA)	24.8	44.365	11.983
2010-04-13 05:11	ML 1.2	6 km S Cotignola (RA)	10	44.335	11.943
2010-04-13 05:14	ML 1.7	2 km E Faenza (RA)	15	44.289	11.908
2010-05-22 16:32	ML 1.2	5 km SE Solarolo (RA)	10	44.329	11.88
2010-06-23 16:08	ML 1.4	7 km E Faenza (RA)	18.6	44.315	11.963
2010-06-23 16:41	ML 1.5	6 km E Faenza (RA)	24.4	44.305	11.956
2010-06-29 06:05	ML 1.7	4 km E Russi (RA)	15	44.364	12.08
2010-06-30 00:06	ML 2.2	9 km NW Forlì (FC)	26.1	44.294	11.993
2010-07-09 09:36	ML 1.3	5 km NE Faenza (RA)	10	44.33	11.902
2010-09-01 12:09	ML 2.3	3 km N Fusignano (RA)	44.3	44.498	11.953
2010-09-05 16:31	ML 1.8	3 km W Mordano (BO)	25.2	44.405	11.775
2010-09-12 01:46	ML 1.7	3 km E Castel Bolognese (RA)	10	44.322	11.836
2010-10-07 04:00	ML 1.6	4 km SE Solarolo (RA)	10	44.326	11.872
2011-07-04 13:34	ML 2.1	1 km W Cotignola (RA)	23.5	44.39	11.927
2011-08-08 15:55	ML 1.9	1 km S Faenza (RA)	10	44.273	11.883
2011-08-11 04:34	ML 1.4	2 km NW Russi (RA)	10	44.382	12.018
2011-08-19 00:11	ML 1.0	5 km NE Forlì (FC)	10	44.263	12.062
2011-08-27 00:10	ML 1.3	3 km E Solarolo (RA)	34.8	44.351	11.877
2011-09-05 19:47	ML 1.6	5 km NW Forlì (FC)	32.9	44.256	11.999

2011-10-06 10:33	ML 1.5	2 km W Castel Bolognese (RA)	10.2	44.316	11.779
2011-11-03 01:09	ML 1.2	5 km NE Forlì (FC)	10	44.256	12.084
2011-11-06 18:06	ML 1.9	5 km SW Cotignola (RA)	24.2	44.346	11.911
2011-11-06 19:12	Md 1.9	1 km E Russi (RA)	25.4	44.374	12.044
2012-01-13 00:14	ML 2.1	3 km SE Cotignola (RA)	10.9	44.364	11.959
2012-01-27 18:38	ML 1.4	3 km NE Faenza (RA)	10	44.299	11.912
2012-01-31 15:46	ML 1.4	5 km E Faenza (RA)	10	44.285	11.942
2012-04-06 02:51	ML 1.2	8 km SE Russi (RA)	9.4	44.319	12.109
2012-06-08 08:45	ML 1.7	5 km NE Brisighella (RA)	21.2	44.256	11.803
2012-06-08 17:37	ML 1.5	3 km E Faenza (RA)	22.2	44.273	11.918
2012-06-09 07:31	ML 1.5	8 km NW Forlì (FC)	22.7	44.287	12.007
2012-06-09 16:51	ML 2.4	1 km SE Faenza (RA)	20.6	44.278	11.894
2012-06-11 10:32	ML 2.2	1 km W Faenza (RA)	25.2	44.285	11.874
2012-06-14 18:48	ML 1.3	12 km SE Russi (RA)	27.5	44.305	12.148
2012-07-03 03:23	ML 1.4	2 km E Riolo Terme (RA)	22.6	44.278	11.756
2012-07-06 00:58	ML 1.6	4 km E Faenza (RA)	23	44.278	11.932
2012-08-16 08:10	ML 1.9	5 km NW Forlì (FC)	9.3	44.266	12.024
2012-09-22 22:00	ML 1.5	2 km SE Faenza (RA)	23.5	44.273	11.907
2012-11-25 16:03	ML 2.0	3 km SW Ravenna (RA)	36.2	44.395	12.18
2013-06-02 23:52	ML 1.6	3 km S Castel Bolognese (RA)	19.4	44.291	11.807
2013-06-04 16:25	ML 1.3	5 km W Faenza (RA)	18.3	44.268	11.828
2013-06-04 19:11	ML 1.5	6 km W Faenza (RA)	20.3	44.263	11.818
2013-06-04 19:14	ML 1.7	6 km NE Brisighella (RA)	21.2	44.263	11.817
2013-06-04 19:59	ML 1.1	5 km S Castel Bolognese (RA)	27.7	44.273	11.809
2013-06-04 20:23	ML 1.5	6 km NE Brisighella (RA)	23.7	44.266	11.808
2013-06-04 21:10	ML 1.1	5 km S Castel Bolognese (RA)	25.3	44.278	11.814
2013-06-05 01:09	ML 1.9	5 km NE Brisighella (RA)	21.9	44.261	11.797
2013-06-06 02:48	ML 1.8	5 km E Riolo Terme (RA)	20.6	44.266	11.786
2013-06-07 14:30	ML 2.1	2 km W Faenza (RA)	18.4	44.282	11.865

2013-07-15 15:05	ML 2.2	8 km N Ravenna (RA)	20.2	44.489	12.189
2013-12-05 17:49	ML 2.4	3 km S Cotignola (RA)	20.7	44.358	11.936
2014-01-15 02:36	ML 1.7	1 km NW Bagnacavallo (RA)	35	44.429	11.973
2014-01-28 10:31	ML 1.9	2 km NE Riolo Terme (RA)	28.4	44.288	11.741
2014-05-16 09:21	ML 1.8	1 km NE Faenza (RA)	22.9	44.299	11.891
2014-06-14 16:37	ML 1.1	4 km W Faenza (RA)	38.3	44.27	11.836
2014-06-14 16:39	ML 1.4	6 km NE Faenza (RA)	36.2	44.321	11.937
2014-06-14 16:42	ML 1.8	8 km N Forlì (FC)	31.1	44.294	12.043
2014-06-14 20:53	ML 1.8	5 km S Russi (RA)	30.6	44.327	12.043
2014-08-29 17:23	ML 2.2	4 km E Alfonsine (RA)	32.8	44.511	12.094
2014-09-05 08:01	ML 1.8	1 km W Castel Bolognese (RA)	10.6	44.321	11.791
2014-11-21 10:01	ML 1.5	2 km S Castel Bolognese (RA)	14.1	44.304	11.799
2015-04-08 03:08	ML 1.8	7 km E Faenza (RA)	31.6	44.282	11.973
2015-04-24 10:51	ML 2.7	4 km SE Faenza (RA)	23.4	44.257	11.902
2015-04-24 13:18	ML 1.8	4 km SE Faenza (RA)	22.8	44.256	11.914
2015-04-24 13:19	ML 1.5	3 km E Faenza (RA)	24	44.278	11.92
2015-04-24 13:48	ML 1.7	1 km S Faenza (RA)	24.5	44.274	11.879
2015-04-24 14:08	ML 1.6	5 km SE Faenza (RA)	24	44.257	11.931
2015-04-24 14:22	ML 1.7	5 km SE Faenza (RA)	22	44.257	11.935
2015-04-24 14:43	ML 1.6	4 km SE Faenza (RA)	26.8	44.259	11.915
2015-04-24 15:44	ML 1.4	3 km S Faenza (RA)	25.5	44.264	11.883
2015-04-24 15:47	ML 1.4	7 km NW Forlì (FC)	20.5	44.257	11.973
2015-04-24 16:16	ML 1.2	7 km NW Forlì (FC)	17.6	44.261	11.969
2015-04-24 16:25	Md 1.6	1 km E Faenza (RA)	29.2	44.286	11.897
2015-04-24 16:33	ML 1.5	3 km W Faenza (RA)	28.4	44.285	11.844
2015-04-24 16:37	ML 2.0	5 km E Faenza (RA)	27.1	44.277	11.943
2015-04-24 16:53	ML 1.0	4 km SW Faenza (RA)	22.7	44.261	11.852
2015-04-24 17:48	ML 1.4	6 km E Faenza (RA)	24.7	44.258	11.953
2015-04-24 18:18	ML 1.7	4 km SE Faenza (RA)	25.6	44.253	11.906

2015-04-24 18:28	ML 1.6	7 km NW Forlì (FC)	24	44.258	11.965
2015-04-24 20:28	ML 1.3	3 km E Riolo Terme (RA)	29.2	44.287	11.763
2015-04-24 21:34	ML 1.7	7 km SE Faenza (RA)	19.9	44.254	11.959
2015-04-25 02:58	Md 1.7	7 km N Forlì (FC)	10.2	44.289	12.05
2015-04-25 16:34	ML 1.3	4 km SW Faenza (RA)	27.2	44.269	11.842
2015-04-25 18:36	ML 1.4	5 km SE Faenza (RA)	21.4	44.262	11.933
2015-04-26 02:45	ML 1.3	4 km SW Faenza (RA)	26.1	44.265	11.842
2015-04-26 02:49	ML 1.6	SW Faenza (RA)	25.5	44.286	11.882
2015-04-26 04:26	ML 1.6	4 km SW Faenza (RA)	21.1	44.252	11.868
2015-04-26 04:27	ML 1.2	6 km E Faenza (RA)	23.1	44.28	11.959
2015-04-26 08:33	ML 1.2	4 km W Faenza (RA)	26.2	44.27	11.843
2015-04-26 09:27	ML 1.6	5 km E Faenza (RA)	20.9	44.27	11.937
2015-04-26 13:15	ML 1.1	4 km W Faenza (RA)	27	44.279	11.834
2015-04-26 19:32	ML 1.5	4 km SE Faenza (RA)	21.5	44.26	11.924
2015-04-27 00:24	ML 1.2	7 km E Faenza (RA)	19.2	44.273	11.966
2015-04-27 01:41	ML 1.0	6 km E Faenza (RA)	19.5	44.283	11.96
2015-04-27 02:51	ML 1.0	6 km E Faenza (RA)	24.1	44.282	11.959
2015-04-27 03:05	ML 1.3	5 km SW Faenza (RA)	26.5	44.264	11.829
2015-04-27 16:20	ML 1.7	4 km E Faenza (RA)	20.3	44.274	11.928
2015-04-27 18:03	ML 1.8	6 km E Faenza (RA)	22.6	44.275	11.958
2015-04-27 18:20	ML 1.4	5 km NE Brisighella (RA)	25.6	44.26	11.804
2015-04-28 11:51	ML 1.8	4 km E Faenza (RA)	23	44.278	11.931
2015-04-28 20:30	ML 1.5	5 km S Castel Bolognese (RA)	22.8	44.274	11.818
2015-04-28 21:46	ML 1.1	5 km SW Faenza (RA)	25.7	44.261	11.831
2015-04-29 00:45	ML 1.5	4 km SW Faenza (RA)	20.2	44.258	11.856
2015-04-29 06:44	ML 1.4	4 km S Castel Bolognese (RA)	26.3	44.281	11.807
2015-04-29 07:32	ML 1.5	6 km SE Faenza (RA)	8.8	44.252	11.937
2015-04-29 08:05	ML 1.6	2 km E Faenza (RA)	8.8	44.279	11.903
2015-04-29 08:06	ML 1.9	3 km SE Faenza (RA)	9.4	44.264	11.895

2015-05-02 21:09	ML 1.4	4 km E Faenza (RA)	26.4	44.278	11.929
2015-05-07 00:05	ML 1.7	4 km S Faenza (RA)	22.5	44.254	11.885
2015-05-11 02:09	ML 1.5	2 km SE Faenza (RA)	22	44.275	11.9
2015-05-12 13:55	ML 1.7	5 km SE Faenza (RA)	20.8	44.264	11.934
2015-05-12 13:56	ML 1.6	4 km SE Faenza (RA)	21.4	44.26	11.926
2015-05-12 14:03	ML 1.8	5 km SE Faenza (RA)	9.6	44.256	11.931
2015-05-12 14:40	ML 1.8	5 km SE Faenza (RA)	10.7	44.251	11.927
2015-05-12 15:00	ML 1.2	3 km SE Faenza (RA)	24.2	44.263	11.895
2015-05-12 18:22	ML 1.2	3 km SE Faenza (RA)	21.5	44.269	11.917
2015-05-12 21:56	ML 1.5	5 km SE Faenza (RA)	8.1	44.258	11.94
2015-05-13 05:44	ML 1.9	2 km SE Faenza (RA)	21.2	44.269	11.902
2015-05-13 15:39	ML 1.5	4 km E Faenza (RA)	8.3	44.288	11.936
2015-05-13 19:23	ML 1.8	4 km SE Faenza (RA)	22.8	44.268	11.926
2015-05-15 08:41	ML 1.5	3 km S Faenza (RA)	34.1	44.258	11.886
2015-05-30 02:16	ML 1.7	2 km N Solarolo (RA)	24.3	44.375	11.843
2015-08-24 01:43	Mw 3.5	5 km SE Faenza (RA)	21.7	44.259	11.939
2015-08-24 01:47	ML 1.6	7 km NW Forlì (FC)	18.8	44.281	11.991
2015-08-24 01:49	ML 1.5	NW Faenza (RA)	23.9	44.289	11.879
2015-08-24 07:09	ML 1.7	5 km E Faenza (RA)	21.6	44.289	11.941
2015-08-24 08:33	ML 1.4	5 km NE Brisighella (RA)	30	44.259	11.812
2015-08-24 09:05	ML 1.4	3 km E Faenza (RA)	24.9	44.295	11.92
2015-08-25 01:40	ML 1.6	4 km S Faenza (RA)	20.4	44.254	11.881
2015-08-26 13:51	ML 1.2	5 km W Faenza (RA)	26.5	44.263	11.826
2015-09-14 22:49	ML 2.2	4 km NE Bagnacavallo (RA)	30.7	44.449	12.001
2015-09-21 00:19	ML 1.9	6 km SE Faenza (RA)	24.4	44.256	11.951
2015-10-15 02:25	ML 2.9	4 km SE Faenza (RA)	21.9	44.257	11.907
2015-10-15 02:41	ML 1.8	5 km NE Brisighella (RA)	21.7	44.261	11.807
2015-10-15 04:44	ML 1.5	1 km N Faenza (RA)	21.2	44.296	11.882
2015-10-15 04:55	Md 1.4	3 km SW Faenza (RA)	24.7	44.267	11.852

2015-10-15 05:01	Md 1.6	3 km SW Faenza (RA)	25.7	44.272	11.856
2015-10-15 06:12	ML 1.6	4 km SE Faenza (RA)	23.6	44.262	11.924
2015-10-15 10:38	ML 1.9	5 km SW Faenza (RA)	18.3	44.256	11.834
2015-10-15 14:06	ML 1.6	3 km S Faenza (RA)	20.2	44.259	11.876
2015-10-15 14:07	Md 1.6	1 km E Faenza (RA)	25	44.29	11.894
2015-10-15 14:28	ML 1.4	1 km SW Faenza (RA)	23.2	44.279	11.88
2015-10-17 20:20	ML 1.6	4 km S Faenza (RA)	21.2	44.252	11.878
2015-11-04 08:45	ML 1.7	4 km SW Russi (RA)	34.7	44.354	11.987
2015-11-09 17:10	ML 1.3	8 km E Faenza (RA)	29.4	44.312	11.975
2015-11-13 23:05	ML 1.6	4 km SW Faenza (RA)	23.1	44.251	11.863
2016-01-07 17:22	ML 1.5	3 km W Faenza (RA)	26.2	44.276	11.854
2016-01-07 17:53	ML 1.4	2 km S Faenza (RA)	25.5	44.266	11.881
2016-01-07 22:06	Md 1.7	1 km N Faenza (RA)	25.1	44.298	11.886
2016-01-08 02:39	ML 1.9	1 km W Faenza (RA)	26.1	44.289	11.875
2016-01-18 10:32	Md 1.8	6 km E Faenza (RA)	21.1	44.287	11.956
2016-01-26 20:39	ML 1.3	5 km N Forlì (FC)	35.4	44.268	12.056
2016-04-30 03:46	ML 1.4	1 km W Faenza (RA)	26.5	44.286	11.87
2016-05-11 13:06	ML 1.7	5 km S Castel Bolognese (RA)	27.2	44.279	11.812
2016-05-28 23:14	Md 1.6	4 km SW Castel Bolognese (RA)	22	44.288	11.778
2016-06-23 14:19	ML 1.3	2 km NW Castel Bolognese (RA)	31.2	44.332	11.776
2016-07-10 19:53	ML 1.8	2 km SE Fusignano (RA)	10.6	44.456	11.975
2016-07-10 19:55	ML 1.6	2 km SE Fusignano (RA)	10.7	44.457	11.981
2016-08-22 03:05	ML 2.0	1 km NE Faenza (RA)	24.1	44.296	11.894
2016-08-22 04:49	ML 2.5	4 km E Castel Bolognese (RA)	24.9	44.316	11.851
2017-05-22 13:24	ML 2.6	4 km SE Faenza (RA)	23.1	44.257	11.909
2017-05-22 15:15	ML 1.5	6 km NW Forlì (FC)	20.1	44.26	11.984
2017-05-22 20:05	ML 1.1	6 km S Castel Bolognese (RA)	28.8	44.27	11.811
2017-08-13 18:54	ML 1.7	3 km E Bagnacavallo (RA)	25.5	44.416	12.014
2017-09-06 23:55	ML 1.4	8 km E Faenza (RA)	20.6	44.275	11.978

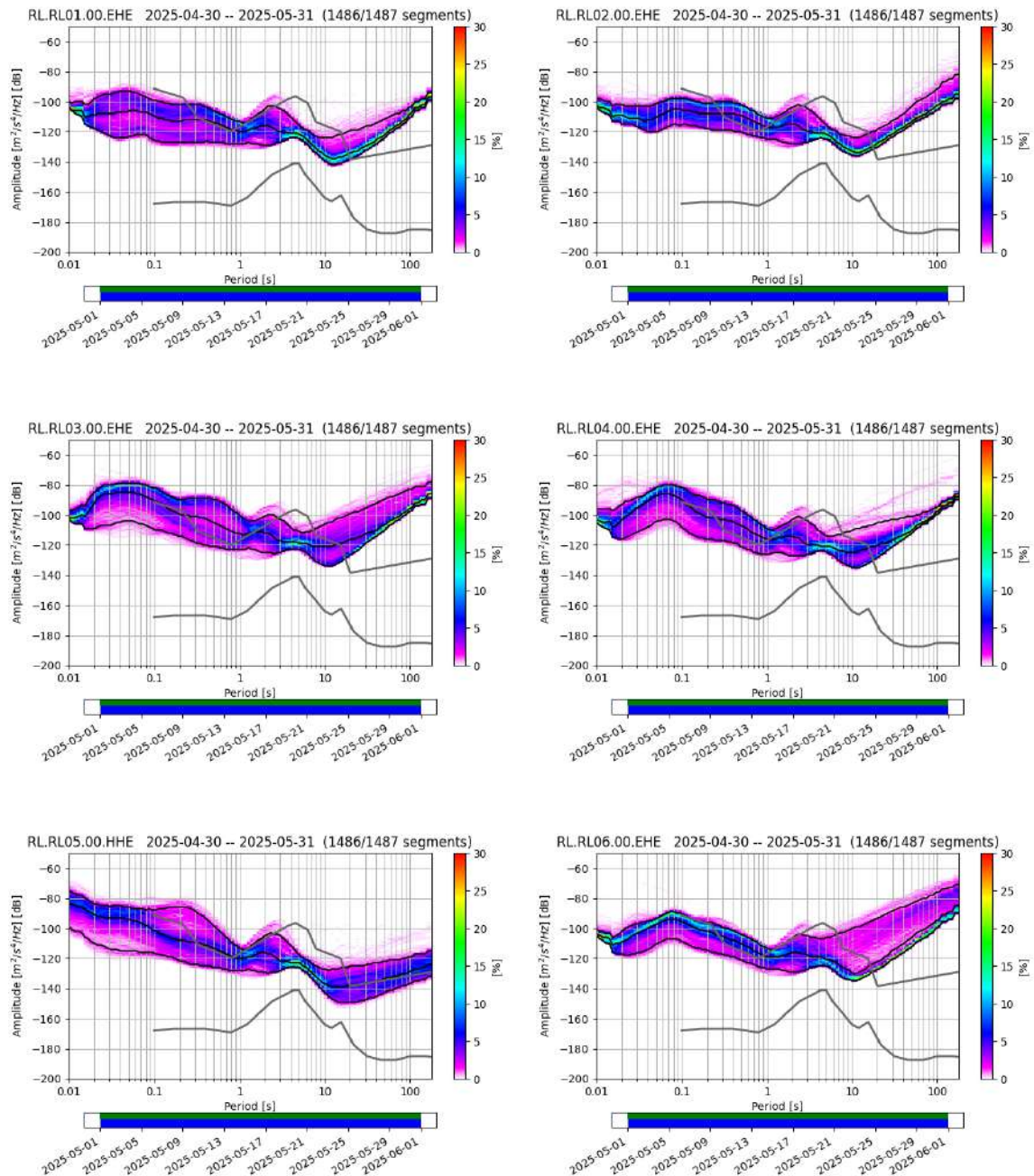
2017-09-13 13:08	ML 1.6	6 km SE Faenza (RA)	17.7	44.256	11.943
2017-09-17 11:02	ML 2.3	4 km SW Faenza (RA)	24.8	44.261	11.851
2017-12-07 15:48	ML 2.4	3 km N Faenza (RA)	18.4	44.315	11.875
2018-03-29 14:31	ML 1.4	2 km SE Riolo Terme (RA)	22.8	44.27	11.743
2018-04-21 03:34	ML 1.3	4 km E Riolo Terme (RA)	23	44.283	11.772
2018-05-29 18:09	ML 1.5	5 km SW Faenza (RA)	24.3	44.261	11.84
2018-06-24 12:02	ML 1.9	4 km E Faenza (RA)	22.2	44.27	11.929
2018-12-09 18:06	ML 2.0	7 km SE Faenza (RA)	26.1	44.255	11.955
2018-12-12 17:08	ML 1.7	4 km E Solarolo (RA)	26	44.346	11.897
2018-12-12 18:51	ML 2.4	5 km E Solarolo (RA)	20.6	44.34	11.898
2019-01-15 02:57	ML 1.9	13 km N Forlìmpopoli (FC)	19	44.297	12.172
2019-01-17 06:15	ML 2.1	8 km E Russi (RA)	23.1	44.371	12.129
2019-01-20 20:17	ML 1.7	8 km N Forlìmpopoli (FC)	13.3	44.254	12.149
2019-01-20 22:24	ML 2.1	5 km S Ravenna (RA)	22.9	44.372	12.189
2019-01-23 20:46	ML 2.0	3 km SE Solarolo (RA)	27.5	44.342	11.872
2019-01-25 20:02	ML 2.8	4 km NE Faenza (RA)	18.3	44.317	11.908
2019-01-26 08:54	ML 1.3	5 km SW Faenza (RA)	24.9	44.258	11.838
2019-02-08 03:06	ML 2.3	3 km NW Faenza (RA)	23	44.303	11.858
2019-03-16 08:22	ML 1.1	4 km E Riolo Terme (RA)	26.3	44.284	11.775
2019-04-03 04:34	ML 1.4	4 km W Faenza (RA)	25.6	44.274	11.837
2019-09-04 15:44	ML 1.7	8 km NW Forlì (FC)	29.3	44.292	11.998
2019-09-29 11:20	ML 2.2	5 km NW Forlì (FC)	20.2	44.263	12.01
2019-11-07 23:45	ML 0.9	6 km N Forlì (FC)	28.7	44.275	12.043
2020-03-19 00:07	ML 1.4	1 km NE Faenza (RA)	25.8	44.295	11.896
2020-04-25 19:21	ML 2.1	2 km W Bagnacavallo (RA)	27.7	44.417	11.948
2020-05-02 06:58	ML 1.5	3 km W Cotignola (RA)	26	44.372	11.907
2020-05-08 01:17	ML 1.0	4 km SW Russi (RA)	24.8	44.342	12.017
2020-06-14 02:56	ML 1.7	4 km E Solarolo (RA)	25.5	44.349	11.895
2020-06-23 07:35	ML 1.6	7 km E Faenza (RA)	23.8	44.292	11.969

2020-06-28 21:09	ML 1.3	6 km E Faenza (RA)	27.1	44.306	11.951
2020-07-04 13:55	ML 2.0	1 km NW Cotignola (RA)	26.9	44.393	11.936
2020-07-10 08:03	ML 1.0	3 km SE Riolo Terme (RA)	17.1	44.259	11.759
2020-07-14 09:28	ML 2.2	3 km SE Riolo Terme (RA)	21.9	44.256	11.742
2020-07-23 18:38	ML 1.3	4 km S Faenza (RA)	20.2	44.251	11.878
2020-07-25 00:20	ML 1.6	12 km NE Forlìmpopoli (FC)	26.3	44.283	12.19
2020-07-29 13:20	ML 1.5	3 km S Solarolo (RA)	26.1	44.332	11.85
2020-11-12 07:15	ML 2.1	3 km N Faenza (RA)	20.4	44.311	11.874
2021-03-09 03:48	ML 1.6	3 km E Fusignano (RA)	19.2	44.47	11.997
2021-06-10 08:57	ML 1.6	8 km NE Forlì (FC)	21.1	44.263	12.126
2021-08-11 20:31	ML 1.5	9 km SE Russi (RA)	21.3	44.317	12.121
2021-08-19 05:57	ML 1.7	3 km N Forlì (FC)	21.2	44.253	12.039
2021-08-31 15:29	ML 1.3	3 km NW Castel Bolognese (RA)	37.1	44.345	11.782
2021-09-15 05:27	ML 1.3	5 km NW Forlì (FC)	23.9	44.255	12.006
2021-09-17 18:05	ML 1.2	1 km W Russi (RA)	21.7	44.375	12.019
2022-03-05 02:27	ML 1.5	2 km E Riolo Terme (RA)	25.3	44.281	11.75
2022-06-25 16:02	ML 1.9	3 km S Cotignola (RA)	15	44.355	11.937
2022-10-16 21:36	ML 1.8	3 km S Faenza (RA)	24	44.259	11.876
2022-12-17 04:00	ML 2.1	7 km NW Forlì (FC)	27.2	44.281	12.015
2023-01-13 11:11	ML 1.7	8 km E Faenza (RA)	24.6	44.291	11.987
2023-02-22 01:37	ML 1.6	7 km SE Cotignola (RA)	25.1	44.327	11.968
2023-09-29 21:24	ML 2.7	12 km N Alfonsine (RA)	15.4	44.613	12.054
2023-09-30 00:52	ML 2.7	10 km N Alfonsine (RA)	22	44.593	12.061
2023-09-30 14:23	ML 1.6	10 km NW Alfonsine (RA)	11.1	44.586	11.972
2023-10-18 18:05	ML 2.0	11 km SE Russi (RA)	23.5	44.324	12.151
2023-10-19 01:08	ML 2.3	9 km E Russi (RA)	22.6	44.343	12.134
2023-10-26 06:32	ML 2.0	2 km NW Faenza (RA)	21.8	44.301	11.861
2024-01-23 18:36	ML 1.8	5 km NE Faenza (RA)	16	44.326	11.903
2024-04-01 03:01	ML 1.9	5 km SW Russi (RA)	25.8	44.329	12.007

2024-05-01 11:59	ML 0.9	4 km SE Imola (BO)	23	44.326	11.742
2024-05-12 08:03	ML 2.4	8 km W Ravenna (RA)	25.5	44.423	12.104
2024-06-06 03:54	ML 1.6	8 km SE Russi (RA)	20.6	44.33	12.111
2024-07-07 23:54	ML 1.7	2 km NW Faenza (RA)	25	44.3	11.866
2024-09-18 08:40	Md 1.4	2 km SE Cotignola (RA)	26.9	44.377	11.96
2024-09-18 08:41	ML 2.1	6 km S Cotignola (RA)	23.3	44.332	11.95
2024-09-18 08:52	ML 2.2	3 km NE Faenza (RA)	22.7	44.307	11.916
2024-11-09 16:04	ML 1.6	4 km NE Brisighella (RA)	22.2	44.256	11.792
2024-11-09 17:20	ML 1.5	5 km NE Brisighella (RA)	20.9	44.26	11.809
2024-11-09 23:54	ML 1.6	5 km E Riolo Terme (RA)	20.5	44.271	11.782
2024-11-10 06:10	Md 1.6	1 km SE Castel Bolognese (RA)	9.5	44.316	11.805
2024-11-10 16:00	ML 1.6	5 km S Castel Bolognese (RA)	22.4	44.271	11.804
2025-02-25 03:55	ML 2.0	7 km SW Russi (RA)	27.2	44.324	11.982
2025-05-26 06:38	ML 2.2	1 km S Fusignano (RA)	10	44.459	11.96
2025-05-31 14:35	ML 1.3	12 km NE Forlì (FC)	10	44.296	12.154

Tabella A.3.2: Elenco dei terremoti strumentali presenti nel bollettino INGV che ricadono nell'area di studio.

Appendice B: PSD delle componenti orizzontali per le 6 stazioni sismiche interne al DE



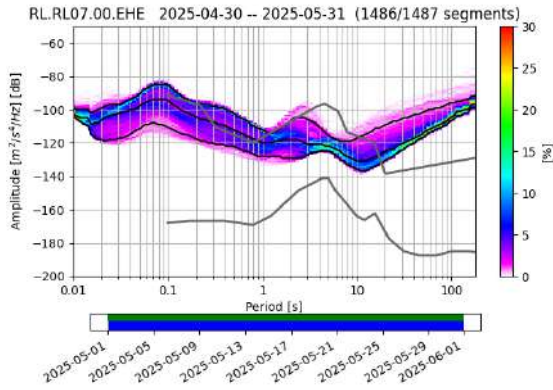
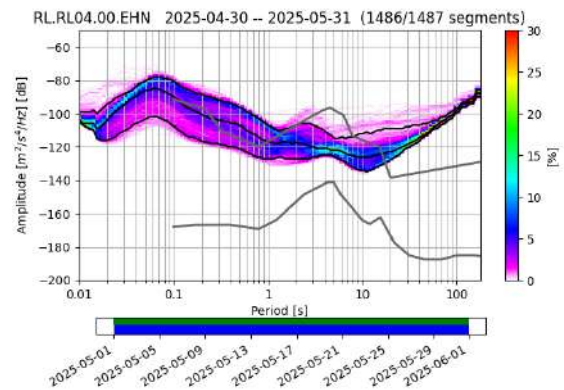
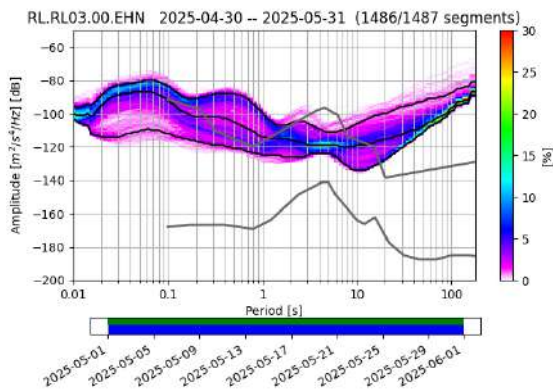
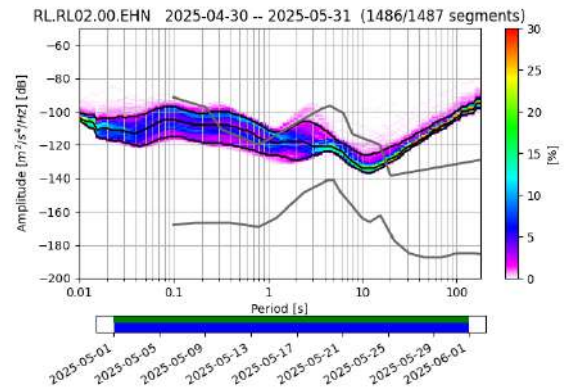
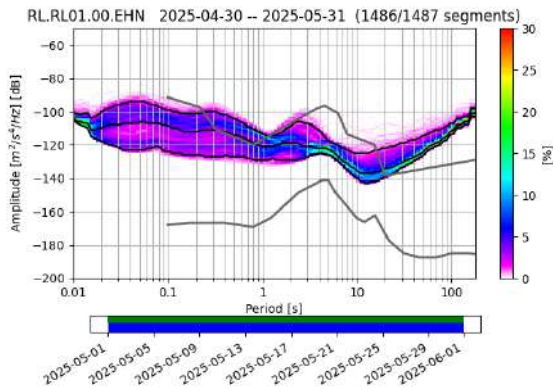


Figura B.1: PPSD calcolate sui dati registrati alle componenti E delle 7 stazioni interne ai domini (dati di maggio 2025). Le linee nere indicano il valore del 5° (curva sottostante), 50° (mediana, curva intermedia), e 95° (curva superiore) percentile. Le linee grigie indicano l'andamento dei valori minimo NLNM e massimo NHHM definiti da Petersen (1993) come riferimento.



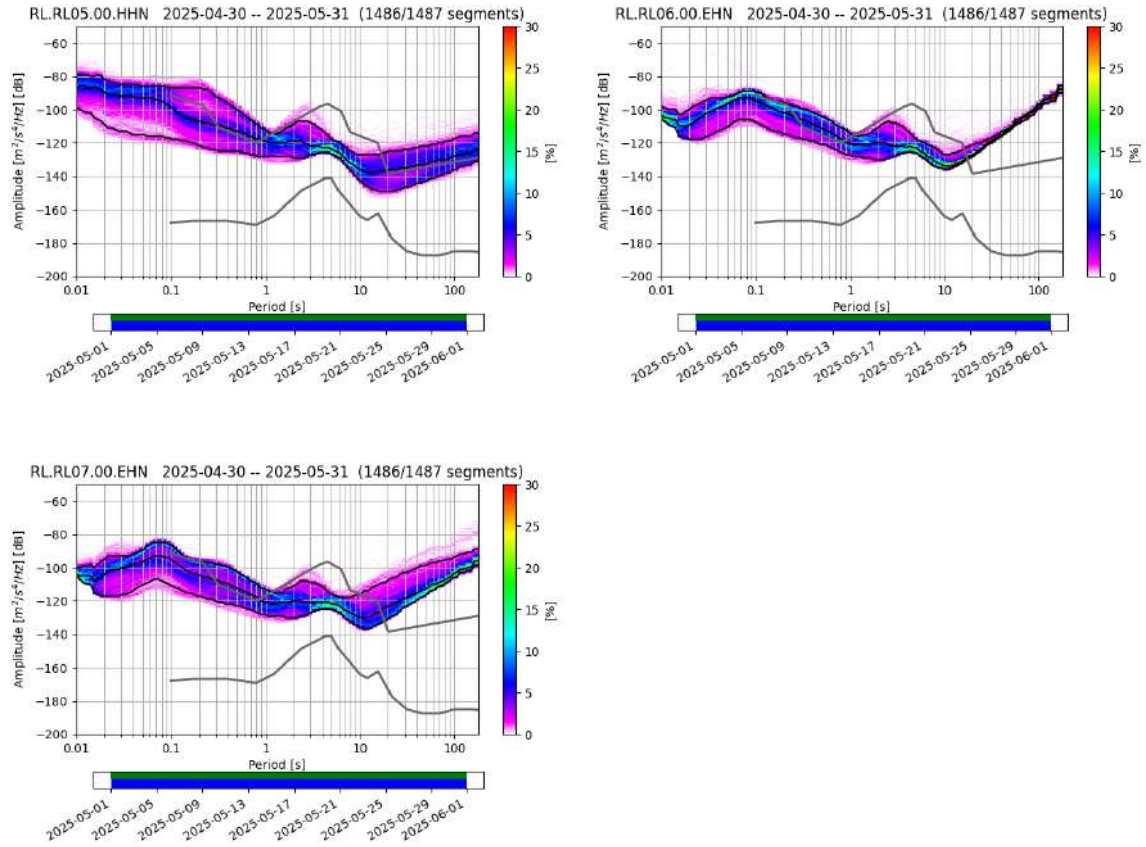


Figura B.2: PPSD calcolate sui dati registrati alle componenti N delle 7 stazioni interne ai domini (dati di maggio 2025). Le linee nere indicano il valore del 5° (curva sottostante), 50° (mediana, curva intermedia), e 95° (curva superiore) percentile. Le linee grigie indicano l'andamento dei valori minimo NLNM e massimo NHHM definiti da Petersen (1993) come riferimento.

Appendice C: Soglie di Detezione dallo Studio del Rumore Sismico Ambientale

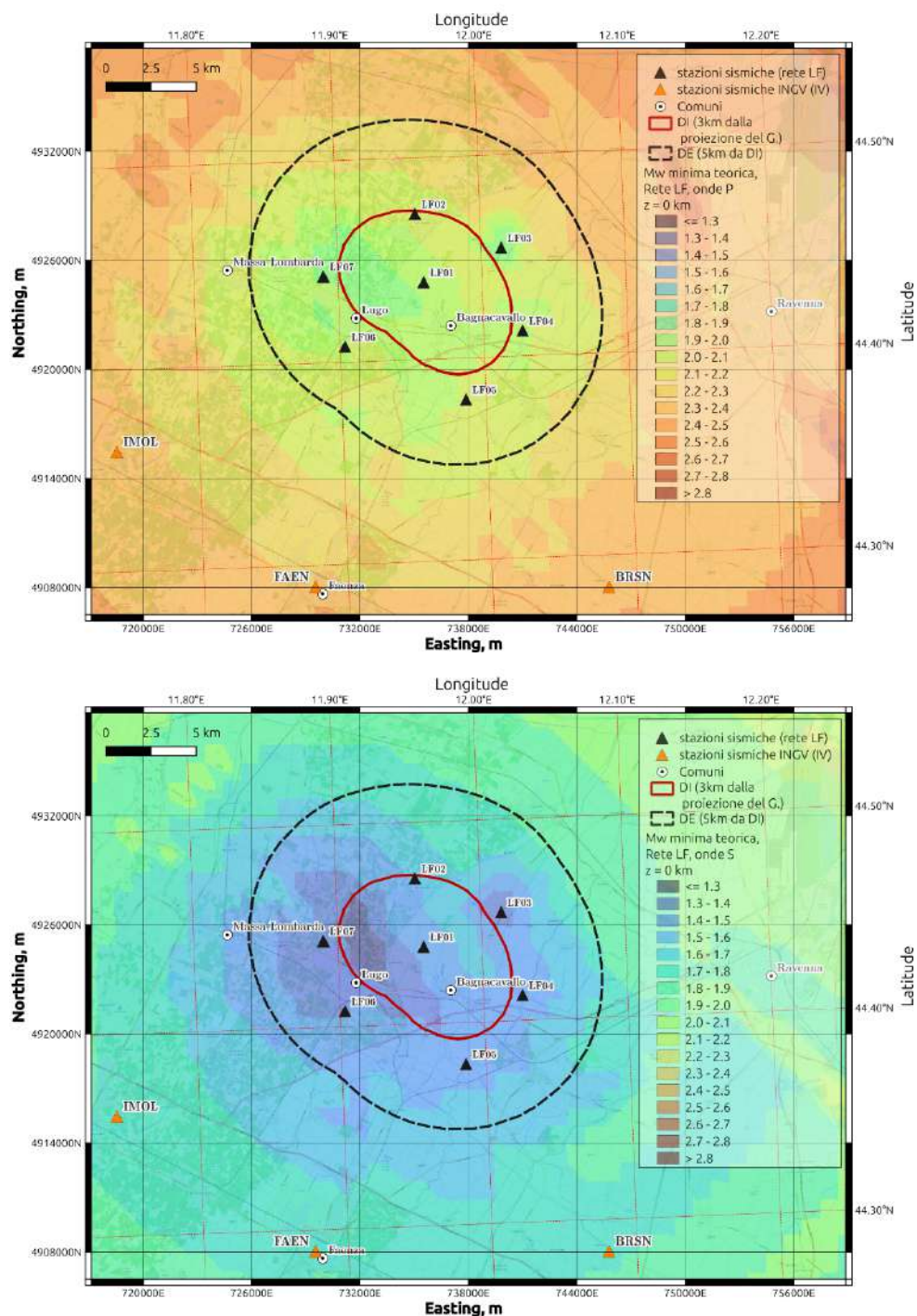


Figura C.1: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 0 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).

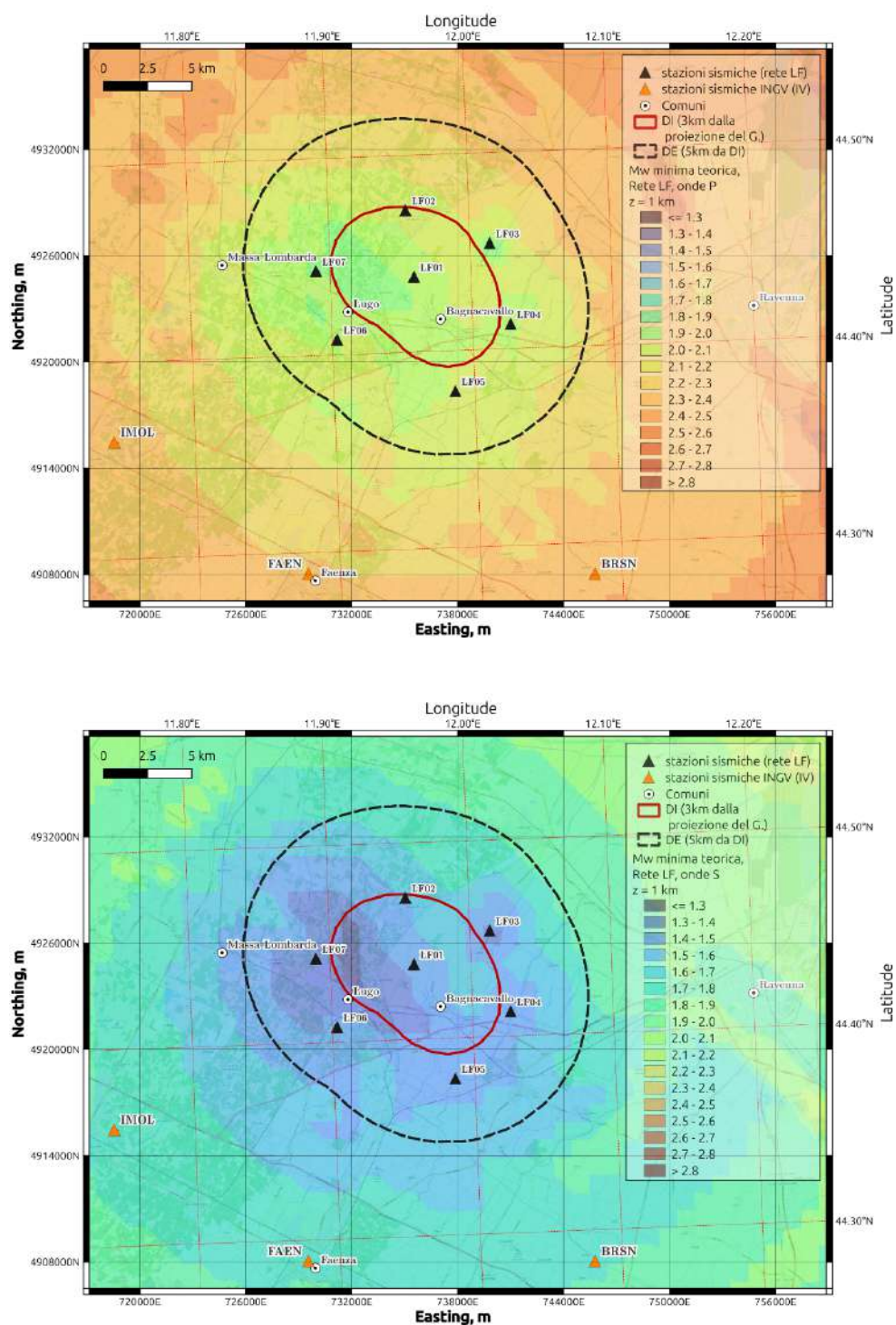


Figura C.2: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 1 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).

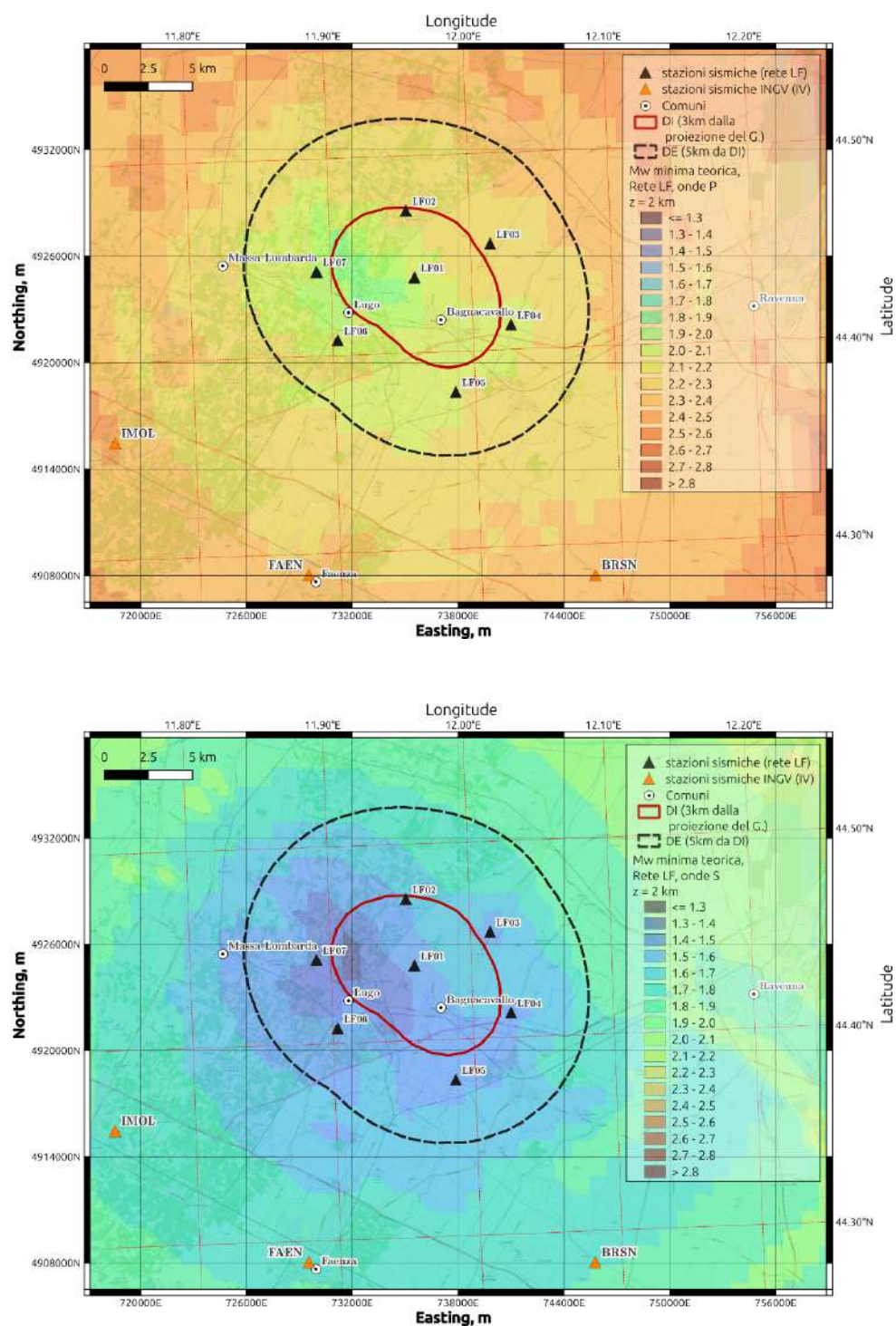


Figura C.3: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 2 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).

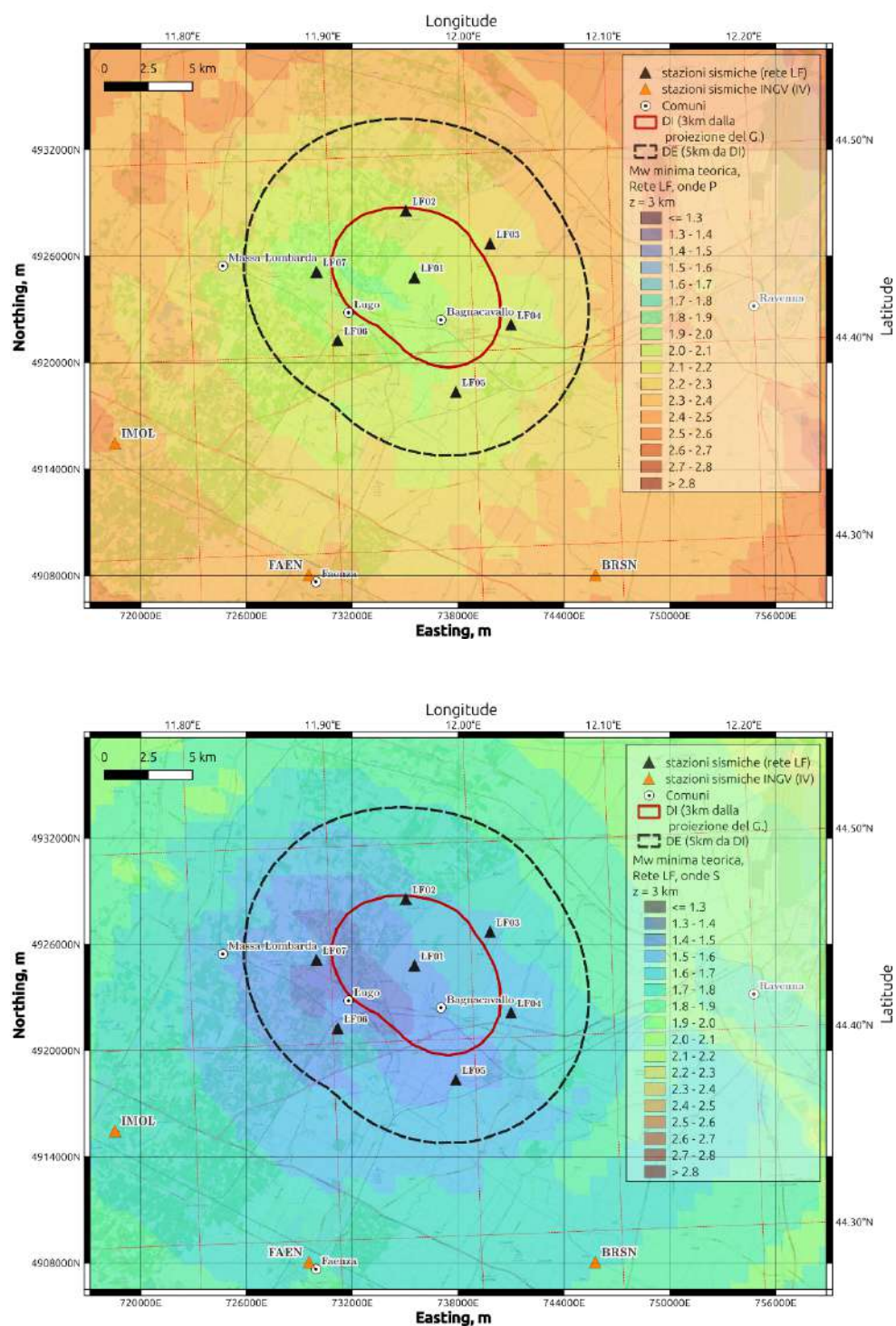


Figura C.4: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondit  di 3 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).

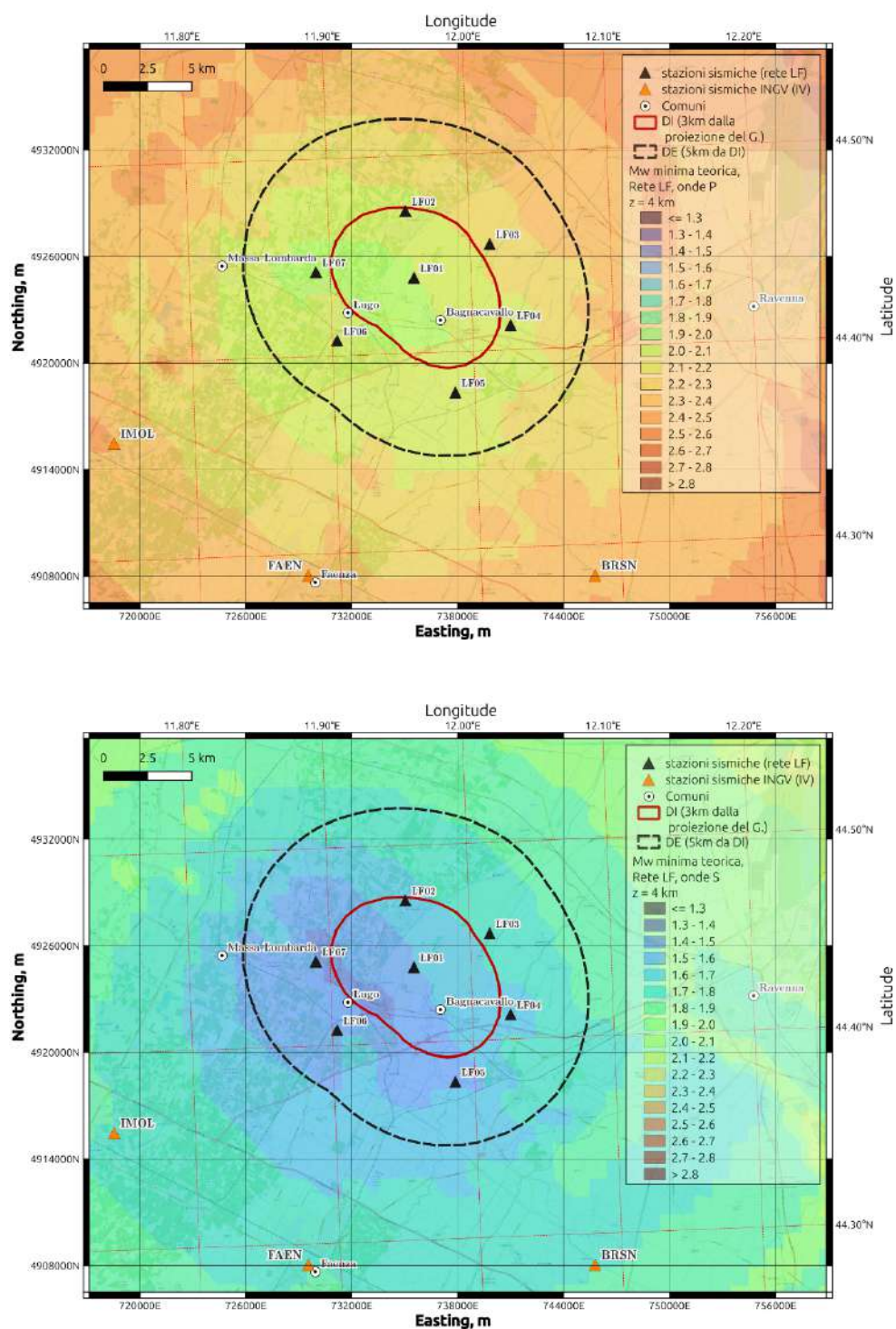


Figura C.5: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 4 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).

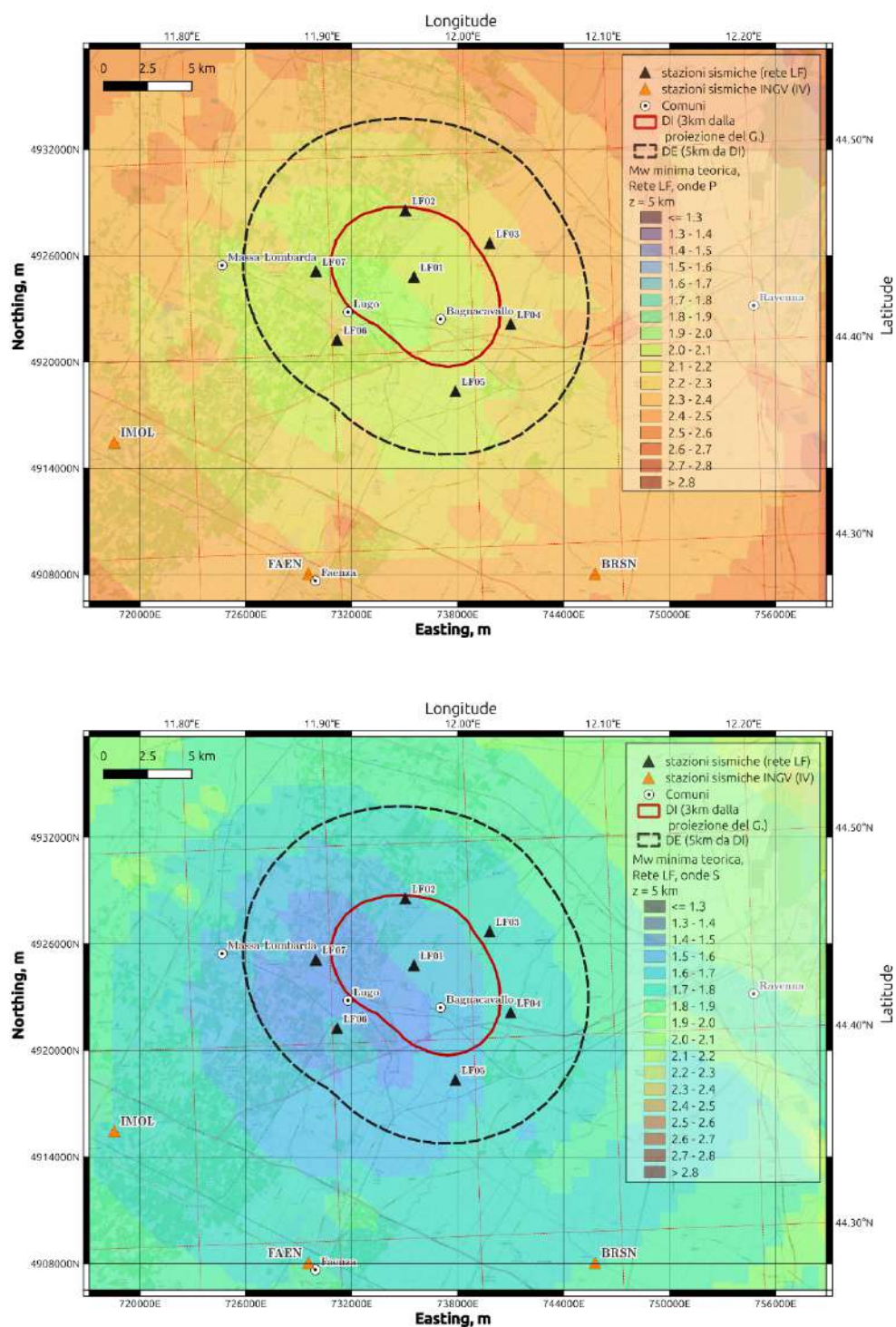


Figura C.6: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 6 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).

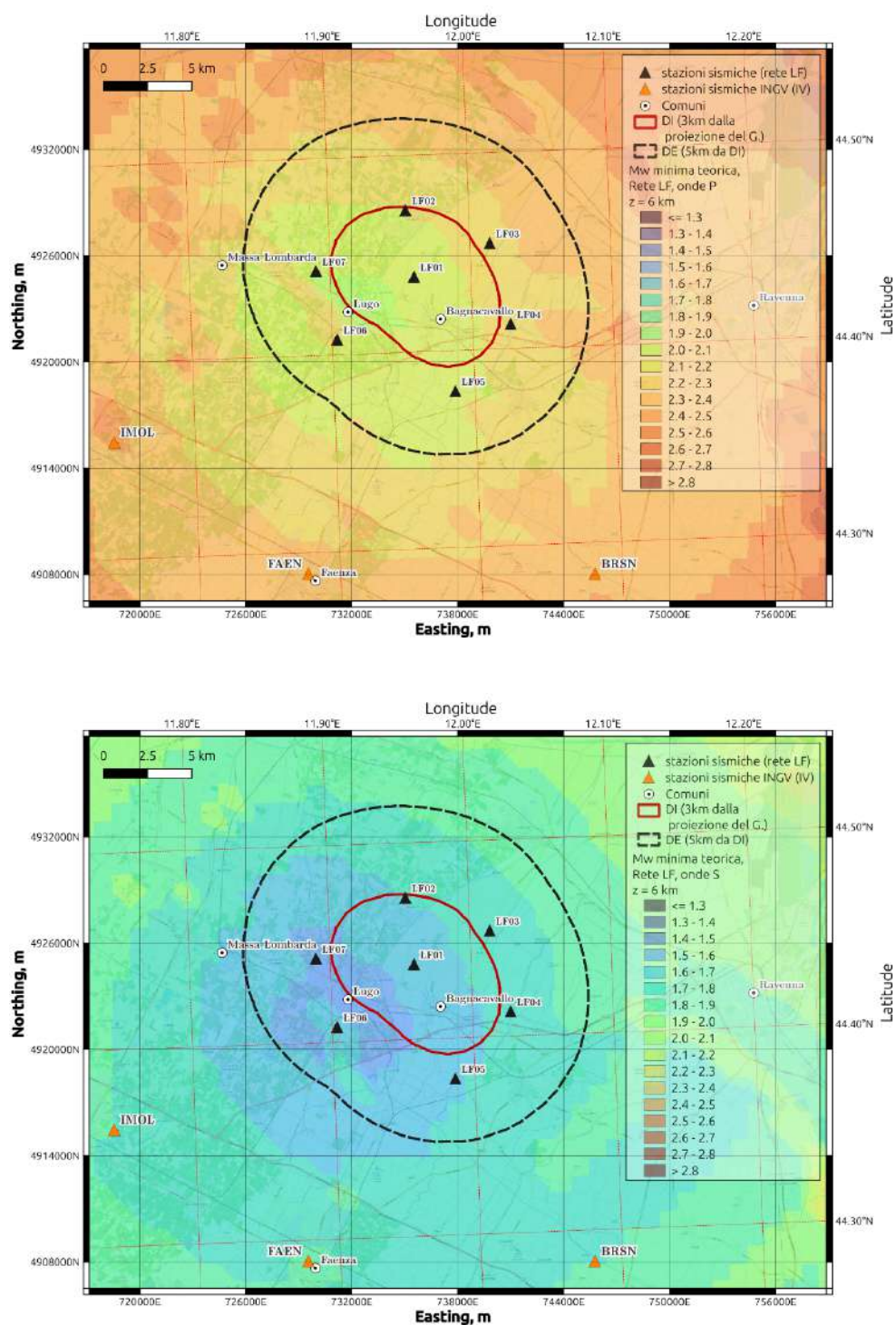


Figura C.7: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 6 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).

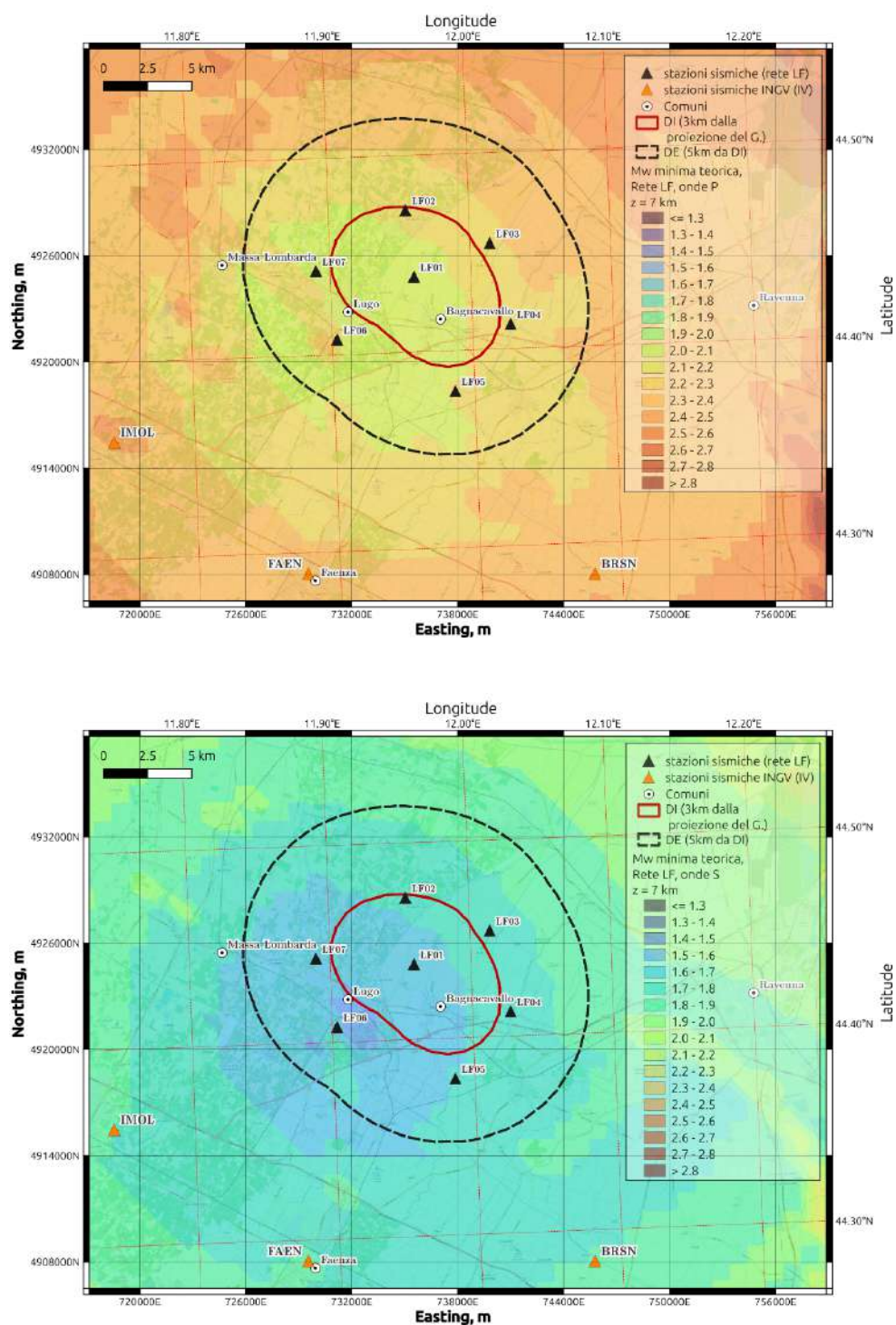


Figura C.8: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 7 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).

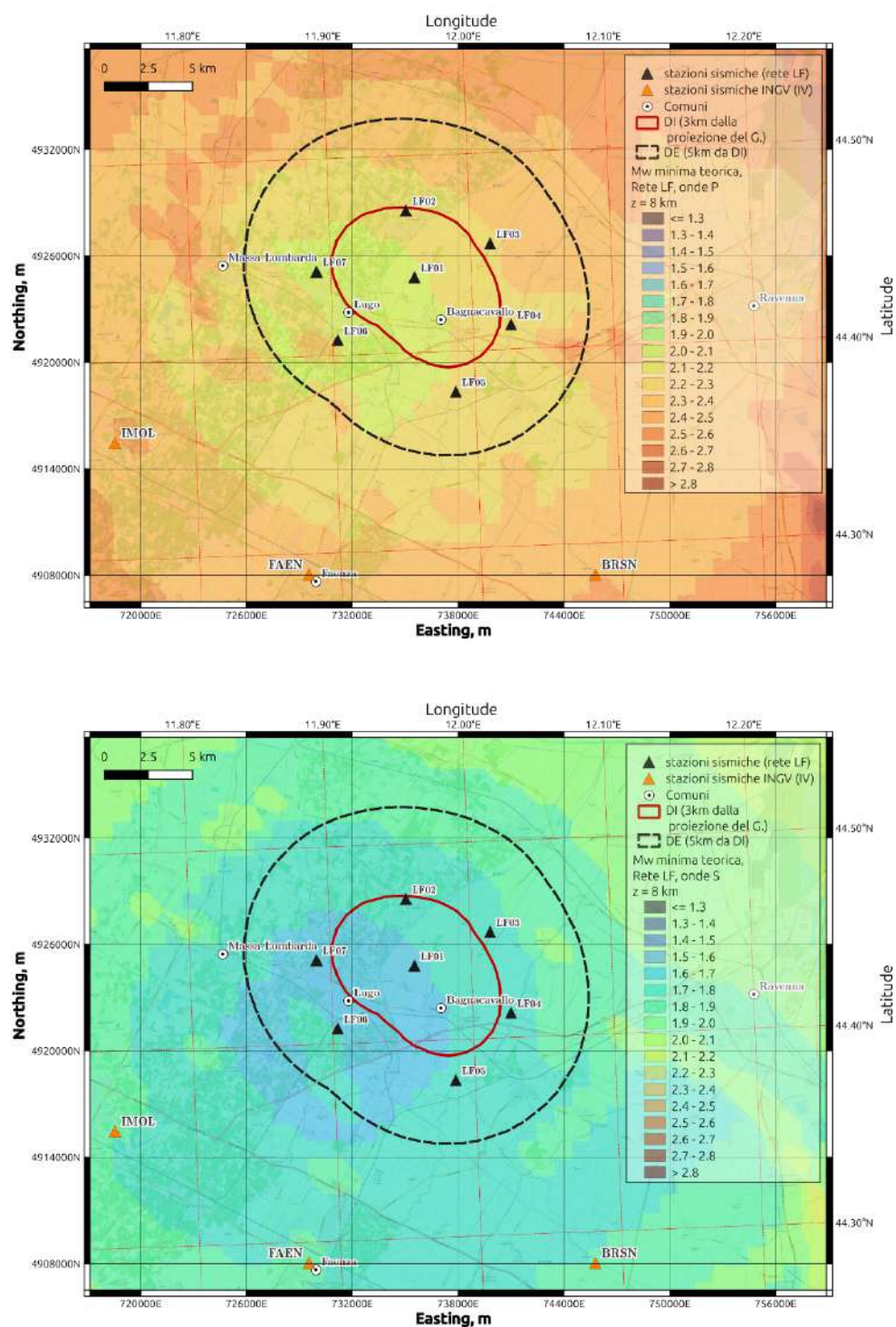


Figura C.9: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 8 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).

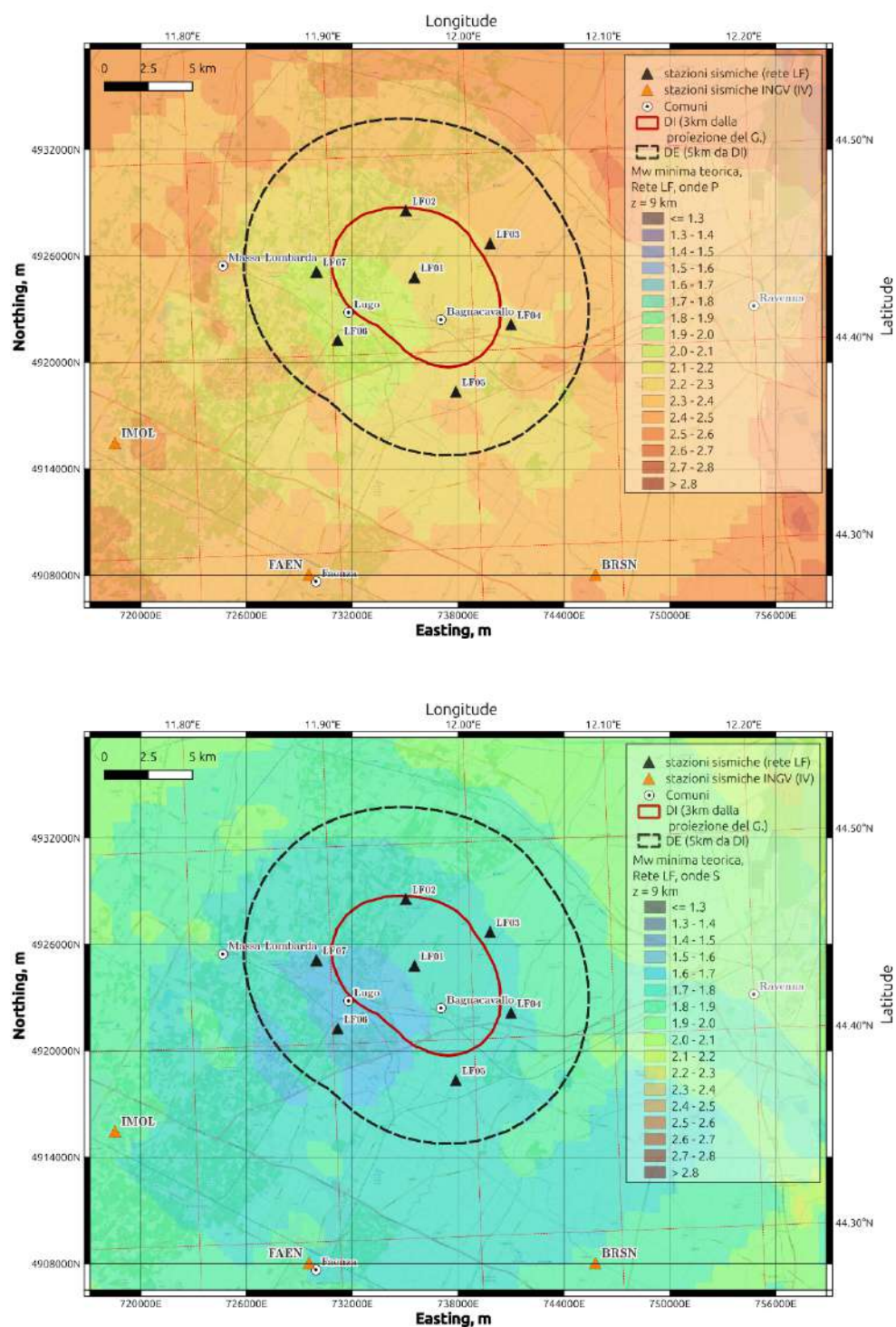


Figura C.10: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondità di 9 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).

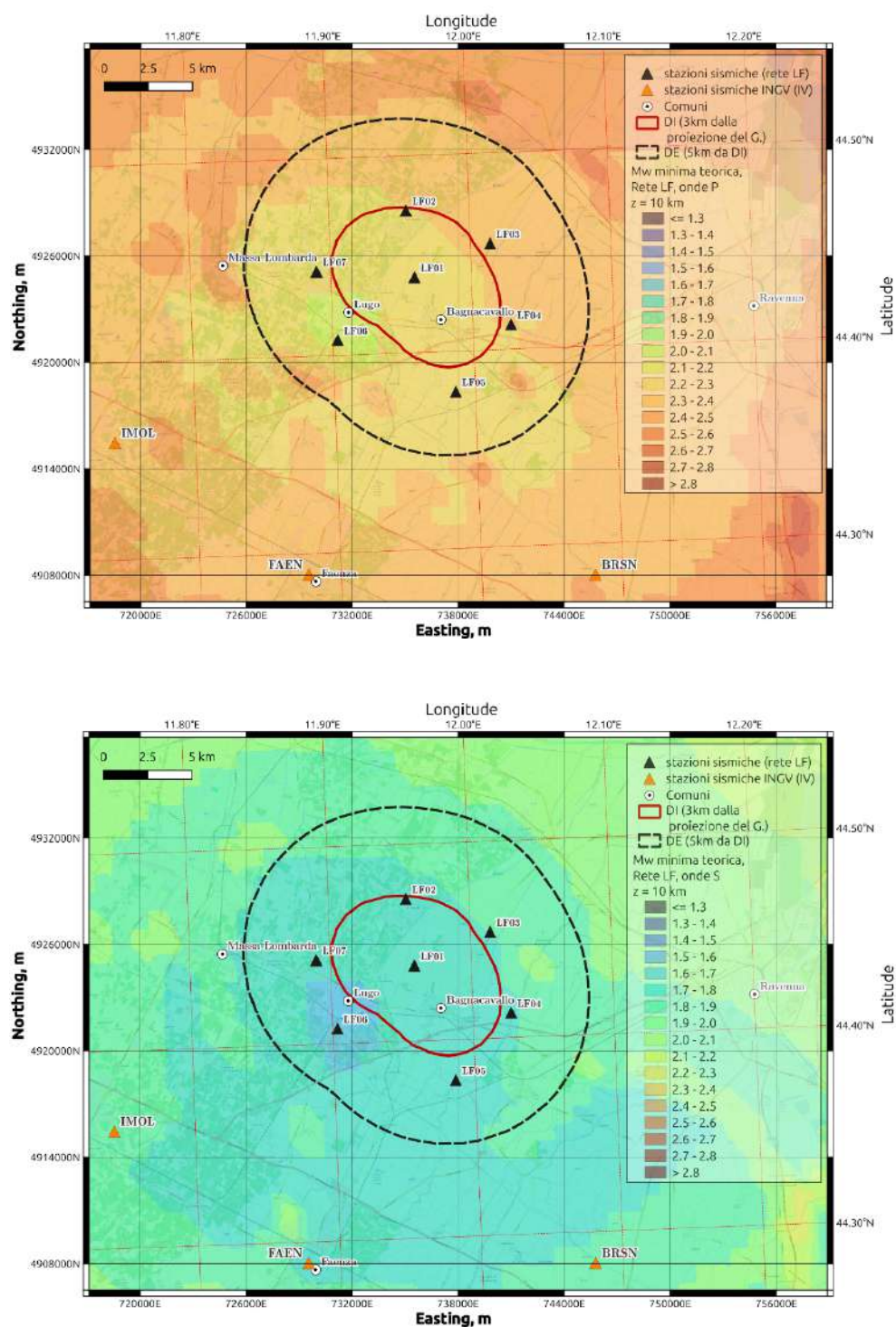


Figura C.11: Mappa della soglia minima di magnitudo (M_w) teorica per la detezione di eventi a una profondit  di 10 km considerando almeno 4 stazioni della rete di monitoraggio integrato a Longanesi, e considerando fase P (a) e fasi S (b).

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
MIbj	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.

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>.

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

Petersen, J. R., (1993), Observations and modeling of seismic background noise, Open-File Report, 93-322, <https://doi.org/10.3133/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.