

Accordo di Collaborazione Scientifica
Regione Toscana, INGV

Prosecuzione del monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane

Responsabile di Progetto: Thomas Braun

Autori: T. Braun, C. Bidini, M. Caciagli, M. Errico, D. Famiani, A. Govoni, G. Zerbinato

Redazione: M. Errico



In copertina: Monte Amiata e Val d'Orcia visti dalle pendici del Monte Cetona.

1	CRONISTORIA ATTIVITÀ	5
2	STATO DELLA RETE DI SISMICA INTEGRATA NELLE AREE GEOTERMICHE TOSCANE	7
2.1	RETE SISMICA NAZIONALE (RSN)	8
2.1.1	Stazioni attuali della rete IV	8
2.1.2	Stazioni in fase di attivazione	9
2.1.3	Future stazioni	11
2.2	MONTE AMIATA - LARDERELLO ARRAY (MALA)	16
2.3	RETE SISMICA ENEL GREEN POWER (EGP):	20
2.4	CONTROLLO DEGLI STATION.XML	21
3	TRASMISSIONE E ARCHIVIAZIONE DATI	23
3.1	FLUSSO DEI DATI	23
3.2	QUALITÀ DEI DATI SISMICI DELLA RETE IV (PPSD)	26
3.3	QUALITÀ DEI DATI SISMICI DELLA RETE MALA (PPSD)	27
3.4	QUALITÀ DEI DATI SISMICI DELLA RETE EL (PPSD)	29
4	MODELLI DI VELOCITÀ	32
5	MONITORAGGIO SISMICO	36
5.1	BOLLETTINO SISMICO IV 2024/2025	37
5.2	CONFRONTO DELLA MAGNITUDO CALCOLATA DA SPM E EGP	40
5.3	MONITORAGGIO AUTOMATICO	42
6	DATI EGP RELATIVI AL CONSUMO DI VAPORE E REINIEZIONE	44
6.1	CONSUMO VAPORE GIORNALIERO	44
6.2	VOLUME LIQUIDO ESTRATTO E REINIETTATO	46
7	DIVULGAZIONE RISULTATI	48
7.1	PAGINA WEB DEL CMS	48
7.2	SISTEMA DI MESSAGGISTICA	49
8	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	50
	APPENDICE A: SISMICITÀ LOCALE RILEVATA NEL PERIODO 06/24-06/25	52
	APPENDICE B: PARAMETRI STAZIONI EGP	56
	APPENDICE C: MODELLI DI VELOCITÀ 1D M. AMIATA E LARDERELLO	57
	GLOSSARIO	58
	BIBLIOGRAFIA	59
	ELENCO DELLE FIGURE	61
	ELENCO DELLE TABELLE	63

Accordo di Collaborazione Scientifica tra Regione Toscana e Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Prosecuzione del monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane

Relazione tecnica annuale (Relazione n.8)

Thomas Braun^{1,2}, Camilla Bidini^{1,2}, Marco Caciagli^{1,3}, Maddalena Errico³, Daniela Famiani², Aladino Govoni⁴, Giampaolo Zerbinato³

¹ INGV, Osservatorio Sismologico Arezzo Italia;

² INGV, Sezione di Roma 1, Italia;

³ INGV, Sezione di Bologna, Italia;

⁴ INGV, Osservatorio Nazionale Terremoti, Roma, Italia.

07/07/2025

Responsabile di Progetto: T. Braun

Redazione: M. Errico

Coordinatore CMS: G. Saccorotti

1 Cronistoria attività

In data 01/07/2020 ha avuto inizio un Accordo di Collaborazione Scientifica (ACS) tra la Regione Toscana (RT) e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) con il titolo *"Costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane"*, che nasce dalle attività svolte nell'ambito del precedente accordo, con il titolo: *"Supporto scientifico per la valutazione del monitoraggio sismico operato dalle reti di Enel Green Power nelle aree geotermiche di Larderello-Travale ed Amiata"* (INGV, 2018-2021). L'art. 2, comma 2, del presente accordo prevede un Programma delle attività, suddiviso nei seguenti obiettivi:

- attività propedeutiche alla costituzione della rete sismica (definizione dei domini di monitoraggio, schema di scenari di rete sismica integrata, simulazione di capacità di detezione, ricerca siti nelle aree geotermiche toscane di Larderello e del Monte Amiata);
- definizione di protocolli omogenei di condivisione dei dati sismici provenienti dai differenti concessionari e relativa valutazione della qualità del dato;
- acquisizione in tempo reale dei segnali sismici presso i laboratori del Centro di Monitoraggio Sismico dell'INGV di Bologna e condivisione con la Regione Toscana dei dati sismici;
- monitoraggio e analisi dati: analisi dati sismici di dettaglio, monitoraggio secondo le ILG (calcolo Localizzazione PGV, ML), reperibilità, compilazione report scientifico in caso di evento significativo nelle aree monitorate;
- coordinamento delle attività di installazione delle stazioni sismiche finanziate da parte dei Concessionari ed eventuale installazione di postazioni sismiche integrative;
- supporto tecnico-scientifico alla Regione Toscana, nell'ambito dei processi decisionali connessi con le attività di monitoraggio sismico.

In data 24/07/2020 l'INGV ha trasmesso alla RT il 1° rapporto, chiamato "Relazione di Inizio Attività" che illustra in dettaglio lo stato di fatto e il cronoprogramma delle attività (CMS, 2020a).

In data 30/11/2020 l'INGV ha trasmesso alla RT il 2° rapporto, chiamato "Relazione Tecnica Intermedia" relativa alla verifica sia della conclusione delle attività propedeutiche sia dello stato di avanzamento inerente la messa in funzione della rete di monitoraggio sismico (CMS, 2020b).

In data 30/06/2021 l'INGV ha trasmesso alla RT il 3° rapporto chiamato "Prima relazione tecnica annuale" relativa alla descrizione dell'avanzamento delle attività riportate (CMS, 2021).

In data 30/06/2022 l'INGV ha trasmesso alla RT il 4° rapporto, chiamato "Seconda relazione tecnica annuale" (CMS, 2022).

In data 28/06/2023 l'INGV ha trasmesso alla RT il 5° rapporto, denominato "Relazione tecnica finale" (CMS, 2023), che riassume tutte le attività previste e svolte nell'ambito dell'ACS (art. 2, com. 2).

In data 28/07/2023 l'INGV ha trasmesso alla RT il 6° rapporto, denominato "Relazione iniziale", che introduce la proroga dell'ACS da parte di RT e INGV (2023 - 2026) e garantisce la prosecuzione delle attività previste dal programma di lavoro del triennio 2020 - 2023 senza interruzione.

In riferimento alla richiesta INGV del 31/05/2024 relativa alla proposta di definizione dei domini di monitoraggio nelle aree geotermiche toscane, in data 18/06/2024 la Regione Toscana esprime parere favorevole alla definizione dei domini proposta.

In data 30/06/2024 l'INGV ha trasmesso alla RT il 7° rapporto, denominato "Prima relazione tecnica annuale, che riassume le attività svolte durante il primo anno di attività.

A maggio del 2025 EGP trasmette gli station.xml e i file relativi ai modelli di velocità in formato **NonLinLoc**.

A giugno del 2025 vengono ripristinati i tunnel VPN, necessari per la trasmissione dei dati sismici in tempo reale verso CAD-BO.

Il presente rapporto è denominato "Relazione tecnica annuale, n°8" riassume le attività svolte durante il secondo anno di attività.

Per il monitoraggio sismico delle aree geotermiche toscane di Larderello/Travale e M. Amiata, la SPM si avvale dei dati sismici provenienti da stazioni della Rete Sismica Nazionale (codice rete IV, cerchi gialli in Figura 2.1) e dell'EGP (codice rete EL, triangoli viola in Figura 2.1). Nell'ambito del presente ACS la RT ha finanziato l'acquisto di 6 acquisitori per l'installazione dell'array MALA, sito a Montalcino (vedi Report n°7, Braun et al., 2024a). Sono inoltre stati messi a disposizione dei fondi per l'acquisto e l'installazione di tre stazioni a 6 canali, composte da un sismografo a larga banda e un accelerometro, come previsto dalle linee guida ministeriali ILG (Dialuce et al., 2014) e LGEO (Terlizzese, 2016). Uno di essi è stato integrato nell'array MALA (stazione MALA0).

7

2.1 Rete Sismica Nazionale (RSN)

2.1.1 Stazioni attuali della rete IV

L'INGV gestisce una rete di monitoraggio sismica a livello nazionale (codice rete IV in Tabella 2.1), di cui i dati provenienti dalle stazioni ubicate in un'area con raggio di massimo 100 km (cerchi gialli), sono ipoteticamente utili per essere integrati nelle analisi della SPM. Considerando che l'obiettivo dell'Accordo di Collaborazione Scientifica (ACS) tra RT e INGV è il monitoraggio della microsismicità, le stazioni esterne della rete IV (PII, CRMI, FIR, ASQU, CELB) sono troppo lontane per registrare eventi con $M < 1.5$, ma in caso di un terremoto significativo, possono essere incluse nelle analisi. I *datastream* attualmente archiviati presso il CAD-BO arrivano dalle stazioni IV con (cerchi gialli in Figura 2.1) e sono elencati in Tabella 2.2. La trasmissione dei dati avviene tramite VPN tra ONT e CAD-BO (vedi §3.1)

Sigla	Rete	Lat [°] N	Long [°] E	Alt [m]	Località	Provincia
ARCI	IV	42.8519	11.4754	1080	Arcidosso	GR
CAFI	IV	43.329	11.9663	547	Castiglion Fiorentino	AR
CASP	IV	42.7908	10.8652	390	Castiglion della Pescaia	GR
CSNT	IV	43.4731	11.2902	636	Castellina in Chianti	SI
FROS	IV/EL	43.2097	11.1562	432	Frosini	SI
LATE	IV	42.6137	11.8040	610	Latera	VT
LOCA	IV	43.3064	11.26226	511	La Loccaia	SI
MAGO	IV/EL	43.2732	10.6579	280	Magona	LI
MCIV	IV/EL	42.7786	11.6765	790	Monte Civitella	GR
OSSC	IV	43.5236	11.2458	452	Osservatorio del Chianti	FI
RIBO	IV	42.9490	11.0465	50	Ribolla	GR
SACS	IV	42.8491	11.9097	845	San Casciano dei Bagni	SI
TRIF	IV/EL	43.1148	10.9026	596	Trifonti	GR
<i>MALA0</i>	<i>IV</i>	<i>43.0058</i>	<i>11.4738</i>	<i>441</i>	<i>Montalcino S. Angelo Colle</i>	<i>SI</i>
<i>MALA1</i>	<i>IV</i>	<i>43.0039</i>	<i>11.4769</i>	<i>403</i>	<i>Montalcino S. Angelo Colle</i>	<i>SI</i>
<i>MALA2</i>	<i>IV</i>	<i>43.0036</i>	<i>11.4782</i>	<i>414</i>	<i>Montalcino S. Angelo Colle</i>	<i>SI</i>
<i>MALA3</i>	<i>IV</i>	<i>43.0052</i>	<i>11.4800</i>	<i>445</i>	<i>Montalcino S. Angelo Colle</i>	<i>SI</i>
<i>MALA4</i>	<i>IV</i>	<i>43.0056</i>	<i>11.4777</i>	<i>430</i>	<i>Montalcino S. Angelo Colle</i>	<i>SI</i>
<i>MALA5</i>	<i>IV</i>	<i>43.0070</i>	<i>11.4781</i>	<i>444</i>	<i>Montalcino S. Angelo Colle</i>	<i>SI</i>

Tabella 2.1. Stazioni della RSN; le stazioni elencate in grassetto indicano l'appartenenza alla rete EL, condivisa con IV; le sigle in corsivo indicano le componenti del MALArray.

2.1.2 Stazioni in fase di attivazione

Per migliorare la realtà di monitoraggio sismico in Toscana l'INGV ha recentemente reso operativo delle nuove stazioni sismiche (cerchi arancioni; vedi Figura 2.1):

- Castagneto Carduccio;
- Gavorrano (GAVR);
- Abbadia San Salvatore (ABBA);
- Arezzo Ripa di Olmo (AROB).

Le prime tre stazioni sono state installate a cura dell'ONT con l'obiettivo di omogeneizzare le distanze intermedie tra le stazioni della RSN, mentre la stazione AROB è stata installata, sia per chiudere degli gap azimutali della rete sismica, sia come stazione test del progetto infrasonico ACU. Tutte quattro le stazioni sono in fase di attivazione, che significa che registrano attualmente in locale e verranno prossimamente messe in trasmissione in tempo reale verso la sismica a Roma.

Di seguito un breve approfondimento sull'installazione della stazione AROB, sita in Arezzo, località Ripa di Olmo. Oltre l'obiettivo di infittire la rete sismica in Toscana, lo scopo del progetto ACU è di sviluppare a livello nazionale una rete di stazioni infrasoniche ai fini di studiare eventi acustici, come per esempio i boati, e per quantificare il contributo acustico nel sismogramma.

Figura 2.2. Stazione sismica AROB, installata in località Ripa di Olmo, Arezzo (AR).



A tale scopo è stato proceduto all'installazione di una stazione sismica (sigla AROB), dotata sia di un sismografo a larga banda, sia di sensori infrasonici. Il principio di funzionamento di tali sensori di pressione è simile a quello dei microfoni, ma permette

di registrare con elevata sensibilità la propagazione in atmosfera delle onde acustiche anche con frequenze al di sotto della soglia dell'udibile (20 Hz).

La stazione AROB è quindi dotata di un acquisitore a 24 bit (Nanometrics CENTAUR) a 6 canali che registra come segue:

- **canali 1-3:** le tre componenti sismici provenienti da un sensore sismico triassiale a larga banda (Nanometrics TCH120-1 Trillium Compact Horizon;
- **canali 4-6:** i segnali infrasonici registrati da tre sensori di pressione (Chaparral UHP64-2, Seismowave MB3a e SIS-1).

Sono stati calcolati gli spettri di potenza (PSD - *Power Spectral Density*) per la stazione AROB (Figura 2.3), al fine di valutare il livello assoluto dell'energia sismica per periodo (s). Le figure seguenti riportano i plot degli spettri di potenza determinati per 10 giorni di rumore sismico registrato dalle tre componenti (Z-verticale, N-S, E-W). Le curve in grigio rappresentano rispettivamente il massimo (NHNM - *New High Noise Model*) e minimo (NLNM - *New Low Noise Model*) livello di ampiezza di riferimento proposto da Peterson (1993). Nonostante la distanza di 300 m dalla strada statale e la linea ferroviaria, nel *range* di frequenza utile (periodi inferiori a 10s) le curve di rumore sismico si collocano a livelli energetici vicini al NLNM.

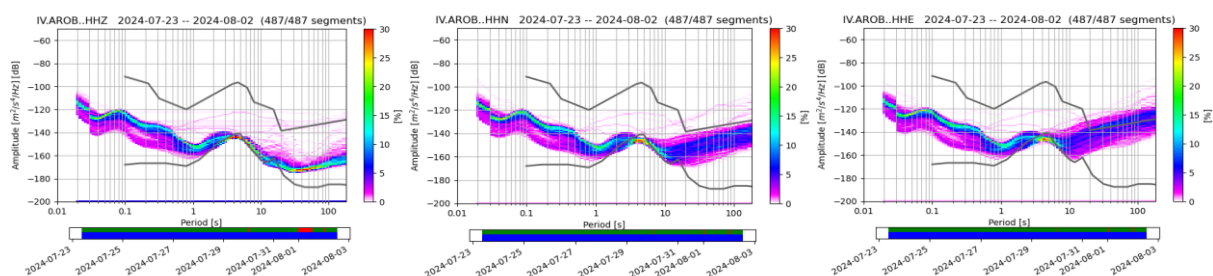


Figura 2.3. Esempio di plot della PSD per monitorare la qualità dei dati registrati dalla stazione AROB.

Poche settimane dopo l'installazione della stazione si è presentata l'occasione di testare la funzionalità della nuova stazione aretina. È stato casualmente registrato un evento esplosivo verificatosi all'interno di uno stabilimento industriale sito in località San Zeno (AR), a meno di 2 km di distanza dalla stazione AROB. L'esplosione all'interno dello stabilimento ha scoperchiato il tetto e ha generato un'onda d'urto in maniera tale che la maggior parte dell'energia sia stata sprigionata in aria e solo una piccola frazione venga trasmessa nel terreno. Approfondimenti sull'evento possono essere trovati a:

<https://ingvterremoti.com/2024/12/10/lesplosione-allinterno-di-stabilimento-industriale-a-san-zeno-ar-20-novembre-2024/>

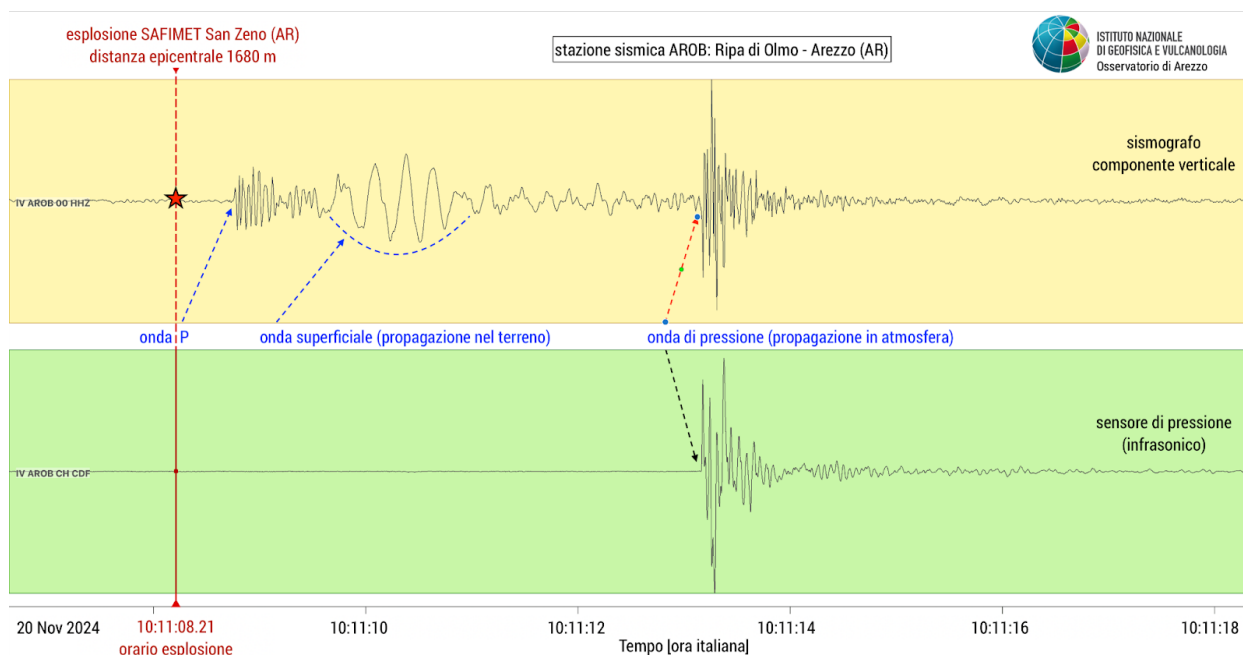


Figura 2.4. Sismogramma della stazione multiparametrica AROB, situata a Ripa di Olmo, in linea d'aria 1680 metri di distanza dall'evento. Il tracciato in basso mostra la registrazione del sensore di pressione, proveniente dall'onda acustica dell'esplosione, che si propaga in atmosfera ad una velocità di 340 m/s (Braun et al., 2024b).

2.1.3 Future stazioni

Per rispondere alle esigenze di monitoraggio, si è resa necessaria la ricerca di ulteriori siti ove collocare nuove stazioni sismiche utili a migliorare la capacità di detezione della rete sismica nel suo complesso. La conformazione geologica della Toscana rende particolarmente ardua la scelta di siti adatti a questo scopo in quanto, tali siti, devono ubicarsi su substrati rigidi che garantiscano risposte strumentali efficienti. La presenza su gran parte del territorio regionale di litotipi sabbioso/argillosi riconducibili alla successione Neogenica del versante tirrenico dell'Appennino settentrionale, limitano fortemente il numero di località candidabili a questo scopo. Inoltre, molto spesso le località dove affiorano litologie più competenti, come i calcari o altre rocce metamorfiche appartenenti rispettivamente alla Serie Toscana e ai Complessi Ofiolitici, sono spesso oggetto di attività estrattive e conseguentemente fonte di un elevato rumore antropico che impedisce la detezione sismica.

Alla luce di quanto descritto, è stata effettuata una ricerca bibliografica geologica mirata alle aree individuate precedentemente sulla base di considerazioni legate innanzitutto alla geometria della rete che si voleva ottenere (Figura 2.1). Questo processo ha portato all'individuazione di alcune aree che, per le loro peculiarità, potevano potenzialmente essere utili allo scopo.

Per quanto riguarda il SETTORE EST, il sito scelto è ubicato nel centro storico di Serre di Rapolano all'interno dell'edificio "La Grancia". Le coordinate della stazione

temporanea SDR9: sono: 43.258560° 11.616210° 345 m). Come si evince dalla Figura 2.5, il substrato geologico dell'area è caratterizzato, oltre che da depositi continentali Quaternari, da formazioni appartenenti alla Serie Toscana con litotipi che comprendono la Maiolica, i Calcari ad Aptici (che costituiscono l'unità presente al di sotto del sito prescelto), i Diaspri e le Marne a Posidonia e, nel settore orientale, dalle unità marine Plioceniche caratterizzate da argille, *silt* e conglomerati. Le premesse geologiche per la scelta di questi luoghi per l'installazione di una nuova stazione sismica sembrano favorevoli.



Figura 2.5. Carta geologica del settore in località Serre di Rapolano (Foglio 297 - Asciano - CARG - sezione 297120). Il cerchio giallo indica dove sono state effettuate le prove di rumore.

Figura 2.6. Foto del locale sotterraneo all'interno dell'edificio della "Grancia" dove sono state effettuate le prove di rumore sismico della stazione temporanea SDR9.



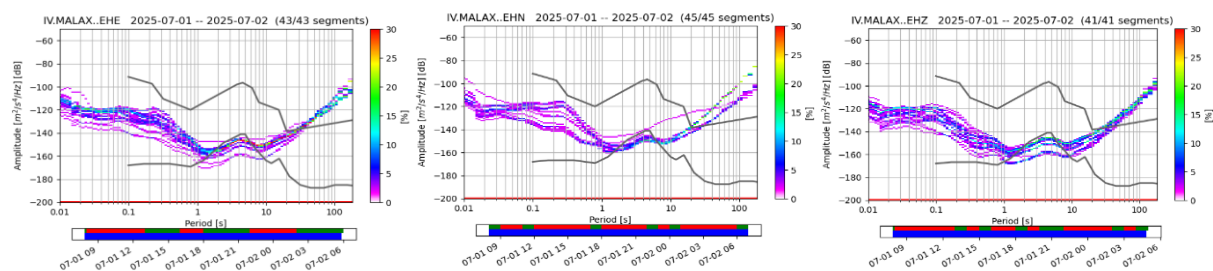


Figura 2.7. PSD calcolata per le tre componenti della stazione SDR9 (periodo disponibilità dati 23 h).

Le prime prove di rumore effettuate per un breve periodo di 23 ore danno primi risultati promettenti, in quanto il livello di rumore nel *range* di frequenza 0.1 - 100 Hz (10 - 0.01 s) rimane distintamente sotto la curva del NHNM, nonostante che la stazione si trovi nel centro di un borgo abitato.

Nel SETTORE NORD, nell'area di Montignoso, sono stati individuati 5 siti potenzialmente favorevoli all'installazione di nuove stazioni sismiche (Figura 2.8). Ad esclusione del sito 1, in cui il substrato è rappresentato da sabbie appartenenti alla Formazione di San Vivaldo ma è stato scelto per la presenza del Convento di San Vivaldo probabilmente esente da particolare rumore antropico, il resto dei siti selezionati erano caratterizzati da substrati rocciosi appartenenti o alle successioni triassiche delle Anidriti di Burano e dei Calcari Cavernosi (siti 2 e 3) oppure a spessi banchi di travertini quaternari (siti 4 e 5).

Alla luce dei sopralluoghi, solo il sito 3 è risultato potenzialmente idoneo, sia dal punto di vista geologico che delle sorgenti di rumore antropico al contorno. Si tratta di un sito in località Montignoso Vaiano, nel comune di Gambassi Terme (FI), presso l'Agriturismo VAIANINO. In questa località affiorano depositi riconducibili alla Formazione anidritica di Burano/Calcari Cavernosi e dei depositi travertinosi, entrambi substrati potenzialmente favorevoli in termini di risposta strumentale sismica (Figura 2.9). In accordo con la proprietà dell'Agriturismo VAIANINO, sono stati individuati 4 siti dove sono previste delle prove di rumore: 3 di questi poggiano su membri appartenenti alla Formazione di Burano (3a, b, c) ed uno (3d) su di un substrato travertinoso (Figura 2.10)

Le ricerche di sito nel SETTORE SUD (Figura 2.1) nell'area di Campagnatico/Paganico sono in previsione per l'autunno 2025.

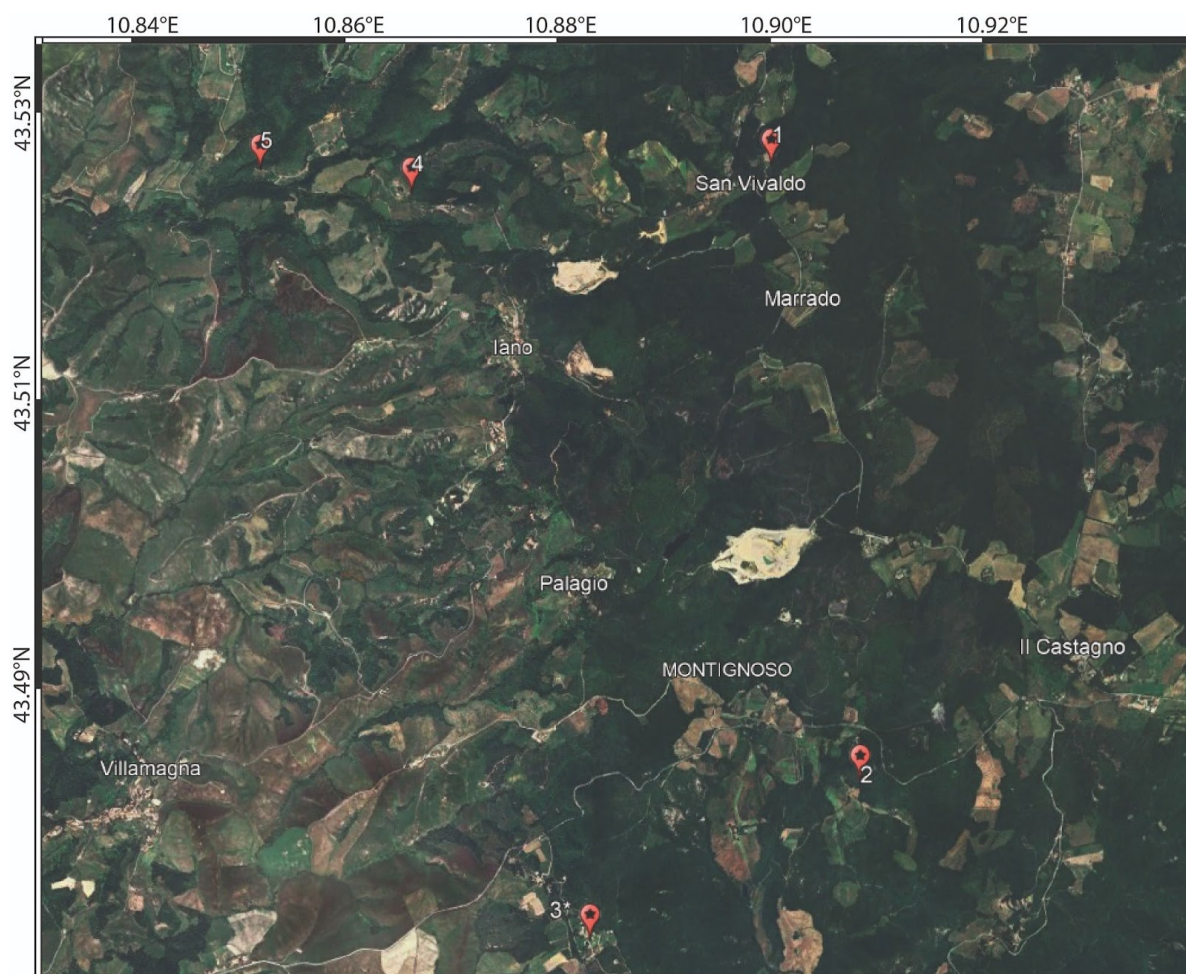


Figura 2.8. Immagini dei siti dove sono previste prove di rumore. a): nei pressi del cespuglio in primo piano il sito 3a, al tetto della formazione di Burano. Al centro della foto si nota sia l'area depressa, sede di antica estrazione di anidriti e calcari (sito 3b - foto b), che un testimone rialzato, composto dalla stessa formazione, luogo scelto come sito 3c (foto c). d): resti di un'antica chiesa costruita interamente in travertino estratto nell'area nella quale poggiava le sue fondamenta. Il sito 3d è previsto nei suoi dintorni.

Figura 2.9. Carta geologica del settore in località Montignoso Vaiano (Foglio 285 - Volterra - CARG - sezione 285110). Le stelle bianche indicano i siti dove sono previste prove di rumore.

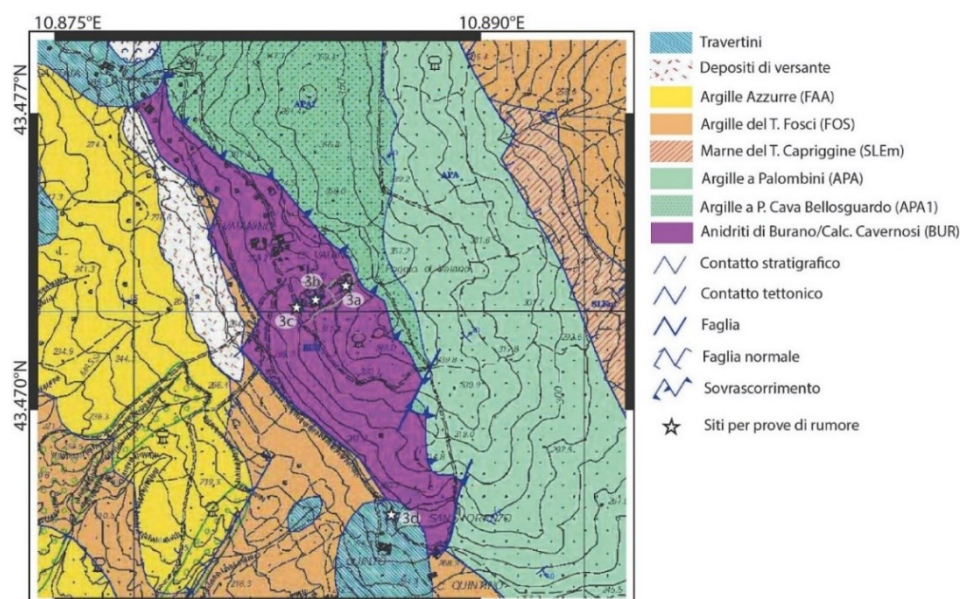




Figura 2.10. Immagini dei siti dove sono previste prove di rumore. a): nei pressi del cespuglio in primo piano il sito 3a, al tetto della formazione di Burano. Al centro della foto si nota sia l'area depressa, sede di antica estrazione di anidriti e calcari (sito 3b - foto b), che un testimone rialzato, composto dalla stessa formazione, luogo scelto come sito 3c (foto c). d): resti di un'antica chiesa costruita interamente in travertino estratto nell'area nella quale poggiava le sue fondamenta. Il sito 3d è previsto nei suoi dintorni.

2.2 Monte Amiata - Larderello Array (MALA)

Nell'ambito dell'ACS tra RT e INGV, la SPM ha installato un array sismico (codice rete IV) ai fini di completare la rete sismica "a metà strada" tra le due aree geotermiche di Mt. Amiata e Larderello-Travale. Considerando che non ci sono stati cambiamenti di configurazione dell'array MALA rispetto all'anno precedente, valgono sempre le informazioni riportate nel §2.2 della relazione tecnica annuale precedente (Braun et al., 2024a).

Per questo motivo di seguito vengono riportate solamente la necessaria manutenzione, sia applicate nel corso dell'ultimo anno, sia da realizzare prossimamente. Tali azioni di manutenzione, sono dovuti a problematiche di (i) trasmissione dati, (ii) alimentazione elettrica, (iii) installazione sensori.

(i) Problemi di trasmissione dati:

Lo schema della trasmissione dei dati sismici è rappresentato in Figura 3.1. Il CAD-BO riceve (e archivia) i dati del MALArray, passando da un server RemoNet ubicato a Roma, che da parte sua chiede i dati direttamente dai due Modem installati a MALA0 e MALA5 attraverso un tunnel VPN. Come evidente dal grafico dello "stato-di-salute" (SOH - *state of health*), in data 8 Giugno 2025 si è verificato un guasto al server RemoNet, che necessita l'installazione delle memorie locali (scheda SD) per facilitare il recupero dei dati localmente salvati sul *ring buffer*.

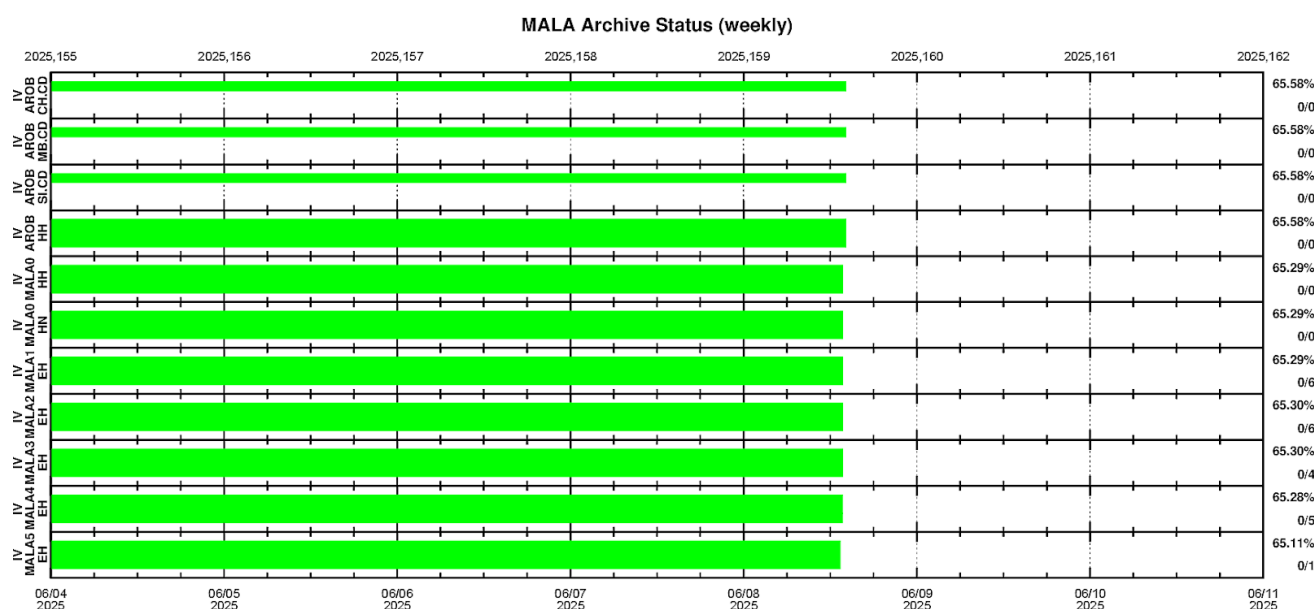


Figura 2.11. SOH-plot "Ricezione" delle stazioni AROB e MALA, ricevute da RemoNet.

(ii) Problemi di alimentazione elettrica:

La consultazione degli SOH-plot "Alimentazione", relativi ai parametri di voltaggio e temperatura, fornisce delle indicazioni sull'insolazione, la carica e sullo stato della batteria. La Figura 2.12 mostra il plot relativo alla stazione MALA2 per la settimana dal 29/11 al 05/12/2024. Le interruzioni dei grafici sono dovute alla mancata trasmissione dei parametri SOH durante periodi di bassa tensione. A partire da metà Dicembre 2024 è stata sostituita la batteria, effettuata la pulizia della vegetazione, installato il pannello solare su un'apposita struttura di ferro (Figura 2.13) e fissato il cavo di trasmissione dati.

Figura 2.12. SOH-plot "Alimentazione" della stazione MALA2, ricevute da RemoNet

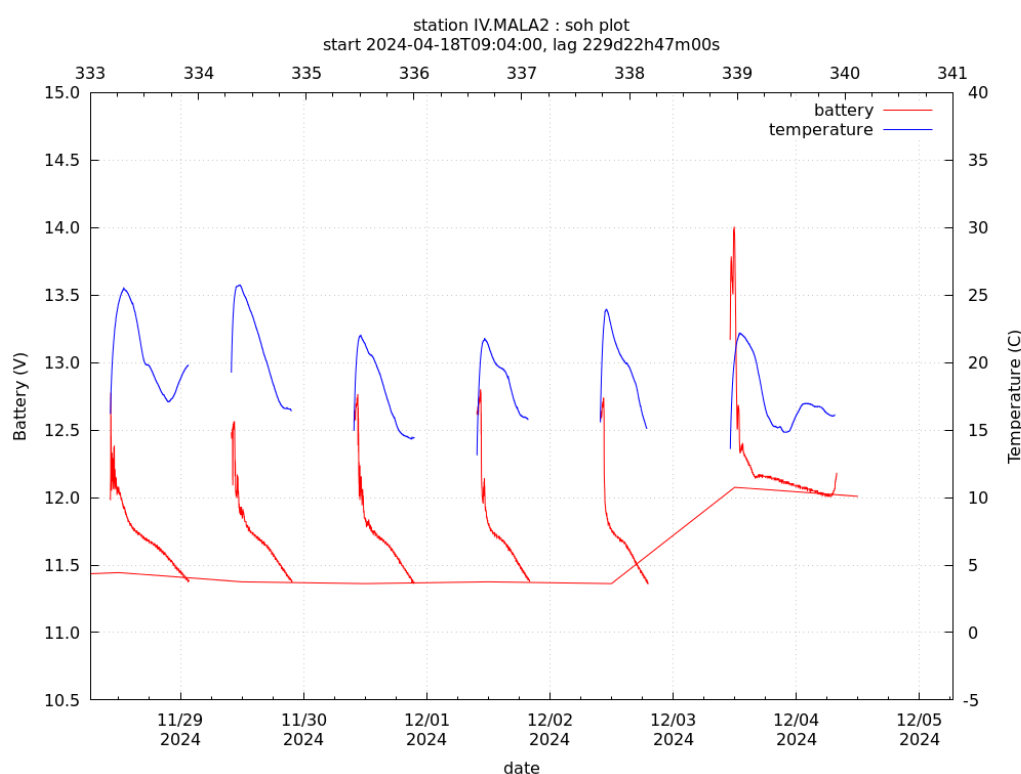


Figura 2.13. Manutenzione a MALA2: Pulizia della vegetazione e spostamento in alto del pannello solare su apposita struttura di ferro. Foto prima (sx) e dopo (dx) la manutenzione di Dicembre 2024.

Il SOH-plot “Ricezione” mostra il ripristino delle funzionalità di MALA2 a partire dal 27/02/2025 (Figura 2.14)

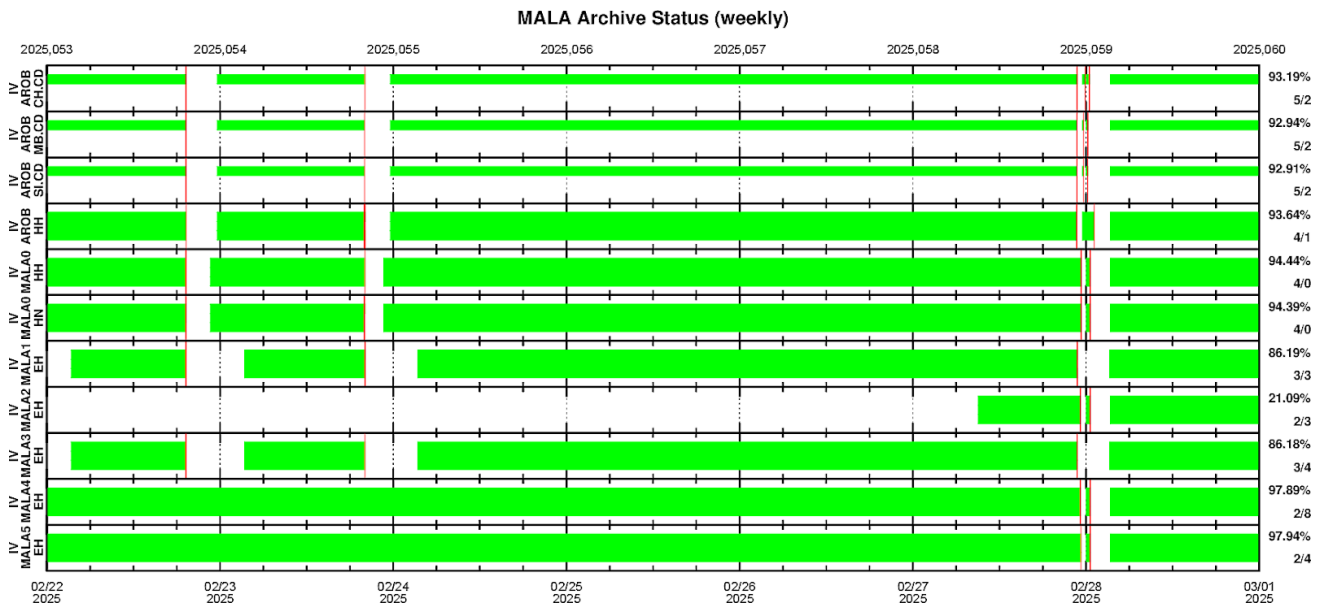


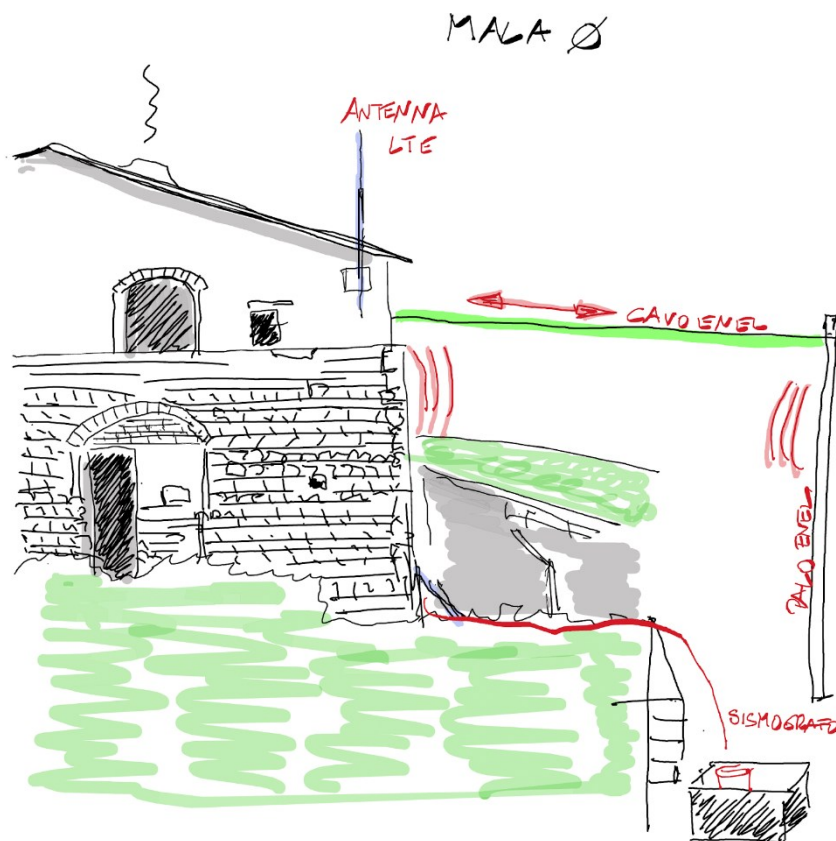
Figura 2.14. SOH-plot “Ricezione” delle stazioni AROB e MALA, ricevute da RemoNet.

(iii) Problemi di installazione sensore:

La stazione MALA0 è dotata di un sensore sismico a larga banda (vedi §2.2 del precedente report; Braun et al., 2024a). Come evidente dai rispettivi PSD-plot, pubblicati nella Figura 3.3 del report n°7 (Braun et al., 2024a), comparato con la componente verticale, le componenti orizzontali (HHN e HHE) sono caratterizzate da un livello di rumore molto elevato per lunghi periodi > 10 s. Dopo vari test, la causa più plausibile sembra essere l'ubicazione del sensore, installato all'interno dell'edificio in prossimità del muro esterno al quale è stato fissato un ancoraggio per l'entrata del cavo di fornitura rete elettrica ENEL, che arriva da un palo posizionato nel campo di fronte all'edificio ad una distanza di circa 30 m. Sembra che in caso di vento forte, piccole oscillazioni del traliccio di cemento provochino nel punto di ancoraggio del cavo alla facciata esterna dell'edificio, delle oscillazioni di tensione dello stesso cavo, che si trasmettono poi in lente inclinazioni periodiche del muro, registrate poi dal sensore sismico (vedi Figura 2.15).

Una delle soluzioni possibili è di costruire nel campo di fronte all'edificio un pozzo di cemento e spostare il sismometro di MALA0 all'interno di tale pozzetto, mentre il sistema di trasmissione rimarrebbe nella posizione attuale. La realizzazione di questa soluzione richiede il permesso del proprietario del terreno Az. Agricola Lisini, che gentilmente mette a disposizione i suoi terreni.

Figura 2.15. Schema su cause e proposta di soluzione relativo al problema delle oscillazioni trasmesse sulle componenti orizzontali del sensore a larga banda MALA0 attraverso il cavo di fornitura elettrica.



Come descritto nel §3.2.3 del precedente report, in data 20/06/2024 verso le 14:30 UTC (ore 16:30 ore italiane), nell'area tra il Grossetano, l'Elba e l'Arcipelago Toscano, è stato segnalato un forte boato, percepito fino alle Province di Arezzo, Livorno, Pisa, Siena, Prato e Firenze.

Considerando le positive esperienze recentemente ottenute con l'installazione dei primi sensori infrasonici (progetto ACU, vedi §2.1.2) e a seguito dell'evento straordinario acustico appena accennato, si propone l'utilizzo dell'infrastruttura esistente di MALA per l'installazione di un array di sensori infrasonici. Anche se originariamente non previsto nell'ACS, tale installazione a costo zero, significherebbe un'importante estensione delle capacità di monitoraggio in Toscana.

Concludendo, i prossimi task della manutenzione ordinaria e straordinaria sono:

- l'installazione delle schede di memoria SD, in attesa della sostituzione del server RemoNet;
- l'acquisto di batterie litio (compreso regolatori) e sostituzione delle batterie a piombo;
- spostamento del sensore a larga banda (MALA 0) in apposito pozzetto di cemento esterno;
- installazione di un array infrasonico (opzionale).

2.3 Rete sismica Enel Green Power (EGP):

Nell'ambito dell'ACS, l'ENEL mette a disposizione della SPM i *datastream* provenienti da 13 stazioni triassiali della rete EL (Tabella 2.2), oltre i canali delle 4 stazioni che l'INGV riceve dall'ENEL (Tabella 2.1 e Tabella 2.2, sigle in grassetto). Considerando che non ci sono stati cambiamenti di configurazione della rete rispetto all'anno precedente, valgono sempre le informazioni riportate nel §2.1 della relazione tecnica annuale precedente (Braun et al., 2024a). Le temporanee problematiche di trasmissione dei dati della rete EL verso l'INGV sono riportate in §3.1. I parametri relativi agli acquisitori, sensori e impostazioni sono elencate nell'Appendice B.

Sigla	Rete	Lat [°] N	Long [°] E	Alt [m]	Località	Provincia
CLS	EL	43.2324	10.9032	682	Casa la Serra	PI
CRD	EL	43.0995	10.9739	821	Massa Marittima	GR
CRR	EL	42.8119	11.7645	342	Podere Cerretale	PI
FAN	EL	42.8887	11.7814	643	Radicofani	SI
FROS	IV/EL	43.2097	11.1562	432	Frosini	SI
LAG	EL	43.1512	10.8056	305	Monterotondo Marittimo	GR
MAGO	IV/EL	43.2732	10.6579	280	Magona	LI
MAQ	EL	42.8553	11.4777	1099	Arcidosso	GR
MCIV	IV/EL	42.7786	11.6765	790	Monte Civitella	GR
MLB	EL	42.8188	11.5293	1084	Monte Labbro	GR
MLT	EL	42.8922	11.5084	735	Monte Laterone	GR
MNT	EL	43.1496	11.0211	668	Montieri	GR
MSL	EL	43.2230	10.9421	507	Monte Santa Lucia	SI
POM	EL	43.3350	10.9082	211	Pomarance	PI
RAD	EL	43.2535	11.0754	502	Radicondoli	SI
TRIF	IV/EL	43.1148	10.9026	596	Trifonti	GR
VALE	EL	43.2067	10.8775	803	Vado la Lepre	PI
CLS	EL	43.2324	10.9032	682	Casa la Serra	PI
CRD	EL	43.0995	10.9739	821	Massa Marittima	GR

Tabella 2.2. Stazioni della rete EGP (le stazioni elencate in grassetto indicano l'appartenenza alla rete EL, condivisa con IV).

2.4 Controllo degli station.xml

Il calcolo dei parametri PGV, PGA e Magnitudo si basa sui parametri e *settings* della strumentazione utilizzata. Il segnale sismico registrato viene archiviato in *counts* (*mseed*) e deve essere corretto per le costanti strumentali del sensore sismico [V/(m/s)] e dell'acquisitore [counts/V] (vedi Figura 2.16).

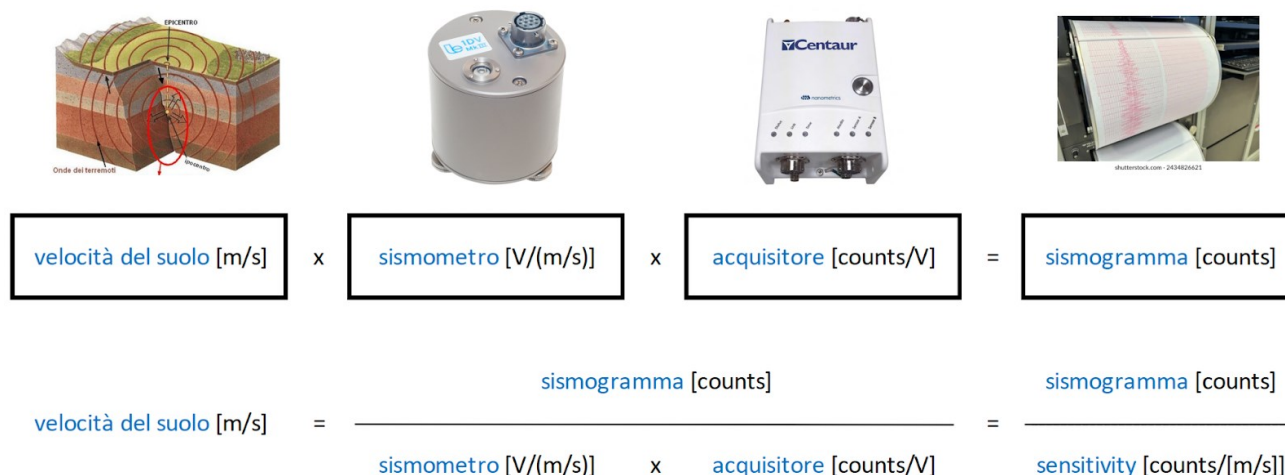


Figura 2.16. Schema generale della "catena strumentale" di registrazione del moto del suolo.

Il file StationXML è una rappresentazione di metadati sismologici in formato XML (Extensible Markup Language) che descrive i parametri della strumentazione e delle rispettive impostazioni di registrazione. Il formato StationXML è definito da uno schema che specifica lo standard consentito per i documenti StationXML ed è stato sviluppato dalla Federazione Internazionale delle Reti Sismografiche Digitali (FDSN) per garantire un formato standardizzato dei metadati geofisici. Si riporta di seguito un esempio delle prime righe di uno StationXML, che ne costituiscono il cosiddetto "schema":

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<FDSNStationXML xmlns="http://www.fdsn.org/xml/station/1"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.fdsn.org/xml/station/1
http://www.fdsn.org/xml/station/fdsn-station-1.2.xsd"
schemaVersion="1.2">
```

- La prima riga, il prologo XML, specifica la versione XML e la codifica dei caratteri;
- La seconda riga costituisce l'inizio del documento StationXML vero e proprio e specifica la posizione e la versione dello schema a cui il file deve conformarsi.

Lo scopo dello schema è definire una rappresentazione XML delle strutture di metadati più importanti e comunemente utilizzate per descrivere i dati sismologici digitali, ai fini dell'utilizzo degli stessi. Il formato precedente allo StationXML è il SEED 2.4, da cui sono state ereditate molte strutture e campi dello schema, che può essere esteso con campi aggiuntivi per rappresentare tipi di dati simili.

L'INGV adegua i dati StationXML agli standard FDSN utilizzando il tool di validazione java "IRIS StationXML Validator": si tratta di un tool open source che garantisce che i metadati siano completi e formattati secondo gli standard.

Se i dati non superano il controllo del validatore, occorre rivederli e correggerli, come si è verificato nell'ambito dell'ACC con i dati StationXML ricevuti da EGP: in questo caso i dati sono stati corretti mediante l'utilizzo di uno script elaborato ad hoc utilizzando il linguaggio di programmazione Obspy e di seguito riportato:

Figura 2.17. Funzioni utilizzate nello script elaborato ad hoc con Obspy per preparare i file StationXML al validatore Java.

```
1 import xml.etree.ElementTree as ET
2
3 def rimuovi_namespace(elemento):
4     """Rimuove il namespace dai tag XML per evitare che venga scritto nel file di output."""
5     for elem in elemento.iter():
6         if '}' in elem.tag: # Se il tag contiene un namespace
7             elem.tag = elem.tag.split('}', 1)[1] # Rimuove il namespace
8
9 def correggi_xml(file_input, file_output):
10     tree = ET.parse(file_input)
11     root = tree.getroot()
12
13     # Assicura che la radice abbia il namespace corretto e schemaVersion="1.1"
14     root.set("xmlns", "http://www.fdsn.org/xml/station/1")
15     root.set("schemaVersion", "1.1")
16
17     # Namespace usato nel file
18     ns = {'fdsn': 'http://www.fdsn.org/xml/station/1'}
19
20     # Trova la startDate della stazione
21     for station in root.findall(".//fdsn:Station", ns):
22         station_start = station.get("startDate")
23         if station_start:
24             # Aggiorna la startDate dei canali se è precedente a quella della stazione
25             for channel in station.findall(".//fdsn:Channel", ns):
26                 channel_start = channel.get("startDate")
27                 if channel_start and channel_start < station_start:
28                     channel.set("startDate", station_start)
29
30     # Correggi le unità di misura specifiche e rendile tutte in minuscolo
31     for unit in root.findall(".//fdsn:Units", ns):
32         if unit.text:
33             unit.text = unit.text.strip().lower()
34
35     # Correggi anche le unità di misura all'interno dei tag <Name> di <InputUnits> e <OutputUnits>
36     for input_units in root.findall(".//fdsn:InputUnits", ns):
37         name = input_units.find(".//fdsn:Name", ns)
38         if name is not None and name.text:
39             name.text = name.text.strip().lower()
40
41     for output_units in root.findall(".//fdsn:OutputUnits", ns):
42         name = output_units.find(".//fdsn:Name", ns)
43         if name is not None and name.text:
44             name.text = name.text.strip().lower()
45
46
```

Una volta effettuate la correzione ed il controllo mediante lo script, i file XML di ENEL hanno superato il controllo del validatore Java e quindi sono considerati conformi allo standard.

3 Trasmissione e archiviazione dati

3.1 Flusso dei dati

I dati della Rete Sismica Integrata, che sono a disposizione del monitoraggio sismico delle aree geotermiche toscane, provengono da due reti: (i) IV (Rete Sismica Nazionale e MALArray), (ii) EL (EnelGP: Larderello e M. Amiata).

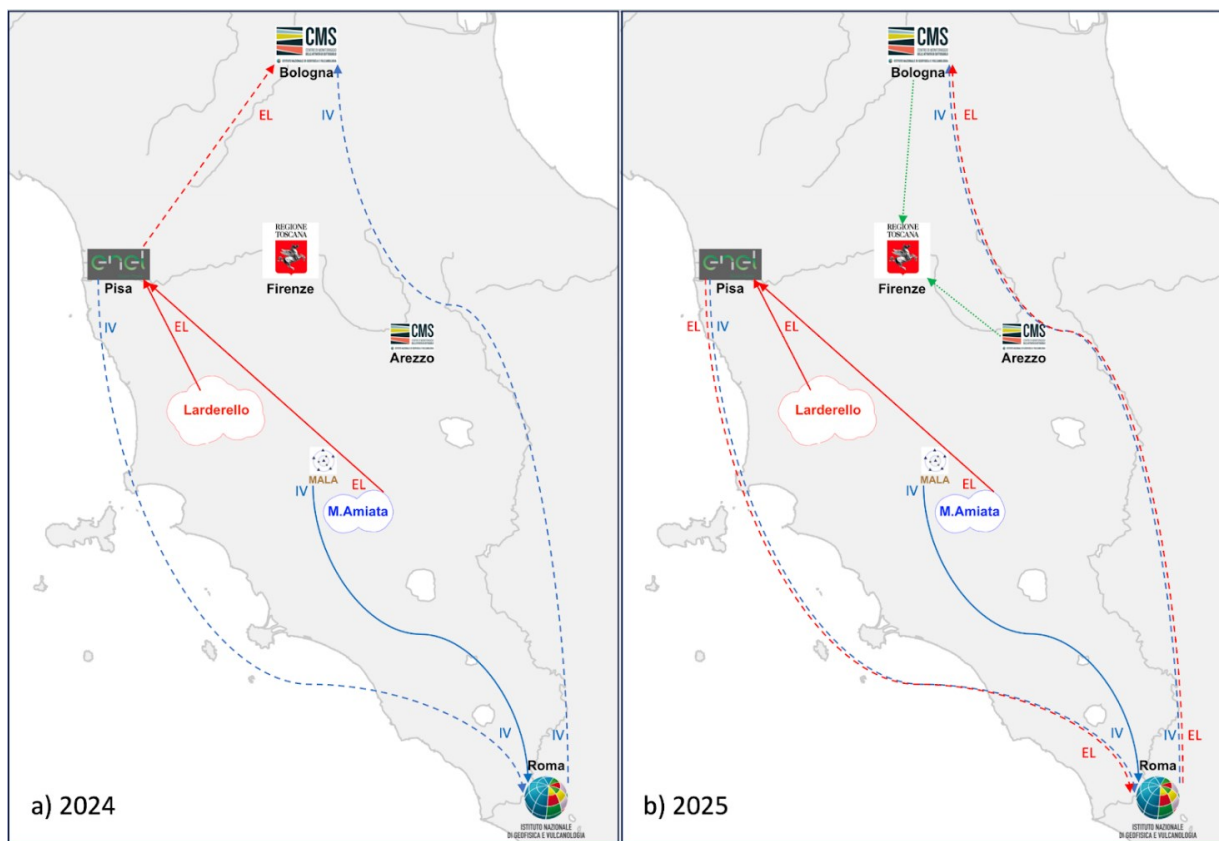


Figura 3.1. Flusso dei dati sismici (a) prima e (b) dopo il 01/01/2025: linea solida: *datastream* EL (rosso) verso EGP-Pisa e IV (blu) verso INGV-RM; linea tratteggiata: *datastream* EL (rosso) e IV (blu) verso INGV (RM, BO).

Di seguito si descrivono i percorsi dei flussi dei dati sismici verso il Centro di Acquisizione Dati del CMS con sede a Bologna (CAD-BO) prima e dopo il 1 Gennaio 2025 (vedi Figura 3.1):

Figura 3.1.a (fino al 31.12.2024):

La sala sismica di Roma, riceve e archivia su EIDA tutti i dati con codice rete IV (freccia blu, p.es. MALA-Roma). Sulla base di un precedente accordo tra EGP e INGV, l'ONT metteva a disposizione l'hardware per quattro stazioni della rete EGP (MAGO, TRIF, FROS, MCIV) e, in cambio, i dati sismici di tali stazioni venivano trasmessi in tempo reale da EGP-Pisa verso la sala sismica a Roma.

A causa della mancanza di un codice rete FDSN per i dati EGP, l'archiviazione di tali dati su EIDA avveniva con codice rete IV (linea tratteggiata blu PI-RM). Su suggerimento della SPM, nel 2023 EGP registra presso la FDSN il codice EL per i propri dati sismici (ENEL, 2023; <https://doi.org/10.7914/rnjt-cn65>)

I dati sismici provenienti dalle reti EGP di Larderello e M. Amiata vengono trasmessi a EGP-Pisa (linee rosse verso EGP-PI) e nell'ambito dell'ACS (2023-2026) tra RT e INGV, il CAD-BO riceve, attraverso un apposito tunnel IPsec tra EGP e CAD-BO (linea tratteggiata rossa PI-BO), i dati sismici provenienti da ulteriori 13 stazioni EGP (CLS, CRD, LAG, VAL, MNT, MSL, POM, RAD, CAV, FAN, CRR, MAQ, MLB, MLT, SAN, CCA, BEL). A partire dal 1 gennaio 2024, il CAD-BO archivia tali dati riservati come "NON-PUBLIC" con codice rete EL, mentre riceve i dati delle quattro stazioni EGP condivise con codice rete IV (MAGO, TRIF, FROS, MCIV) direttamente dalla sala sismica (freccia tratteggiata blu RM-BO) e li archivia con codice rete EL.

Figura 3.1.b (a partire dal 31.12.2024):

A fine Dicembre 2024 EGP interrompe la trasmissione dati delle quattro stazioni condivise (MAGO, TRIF, FROS, MCIV) verso la sala sismica dell'ONT, in quanto l'accordo EGP-INGV risulta scaduto da tempo. L'EGP esprime la preferenza di voler unificare i flussi dei dati in tempo reale in un'unica trasmissione, con archiviazione successiva di tutti i dati con codice EL ("Non-PUBLIC").

INGV e EGP si accordano sui seguenti punti:

- Creazione di un unico tunnel VPN tra EGP-PI e INGV-RM;
- Ricezione di tutti i dati EGP (codice EL) delle 13+4 stazioni in la sala sismica a Roma;
- Inoltro dei dati sismici provenienti dalle 13+4 stazioni EGP verso il CAD-BO, con successiva archiviazione (codice EL, "Non-PUBLIC");
- Utilizzo e archiviazione su EIDA codice EL, ("Non-PUBLIC") delle 4 stazioni MAGO, TRIF, FROS, MCIV.

A giugno 2025 vengono finalizzati i singoli passi per la nuova struttura di trasmissione dati:

- Creazione di un Tunnel VPN tra INGV sala sismica (*discovery*) e CAD-BO (*voyager*);
- Validazione degli station.xml;
- Apertura del server EGP-Pisa verso INGV-sala sismica;
- Ricezione in sala sismica a Roma(INGV) via tunnel IPsec dei dati delle 13+4 stazioni EL (Figura 3.1b: linee tratteggiate rosso/blu PI-RM);

- Inoltro dei dati sismici provenienti dalle 13+4 stazioni EGP verso il CAD-BO, con successiva archiviazione (codice EL, "Non-PUBLIC"), (Figura 3.1b: linee tratteggiate rosso/blu RM-BO);
- Utilizzo e archiviazione su EIDA codice EL, ("Non-PUBLIC") delle 4 stazioni MAGO, TRIF, FROS, MCIV.

Figura 3.2. Risposta del server CMS (al comando *slinktool*), ubicato presso il CAD-BO, che conferma la corretta ricezione dei *datastream* EL provenienti dalle aree geotermiche toscane, attraverso i percorsi tratteggiati (fig. 3.1b).

EL	CLS	00	DHE	D	2025/07/04	03:54:58.5520	-	2025/07/04	09:31:26.7880
EL	CLS	00	DHN	D	2025/07/04	03:54:57.8520	-	2025/07/04	09:31:26.7000
EL	CLS	00	DHZ	D	2025/07/04	03:54:57.0680	-	2025/07/04	09:31:26.5920
EL	CRD		DHE	D	2025/07/03	20:10:59.7480	-	2025/07/04	09:31:27.2280
EL	CRD		DHN	D	2025/07/03	20:11:00.3520	-	2025/07/04	09:31:26.5920
EL	CRD		DHZ	D	2025/07/03	20:10:58.8840	-	2025/07/04	09:31:26.4320
EL	CRR	00	DHE	D	2025/07/04	01:05:34.2400	-	2025/07/04	09:31:26.4520
EL	CRR	00	DHN	D	2025/07/04	01:05:33.5400	-	2025/07/04	09:31:26.0640
EL	CRR	00	DHZ	D	2025/07/04	01:05:32.2920	-	2025/07/04	09:31:25.8400
EL	FAN	00	DHE	D	2025/07/03	21:17:37.9920	-	2025/07/04	09:31:26.6600
EL	FAN	00	DHN	D	2025/07/03	21:17:38.2040	-	2025/07/04	09:31:26.3720
EL	FAN	00	DHZ	D	2025/07/03	21:17:37.5240	-	2025/07/04	09:31:27.3480
EL	FROS		CHE	D	2025/07/04	04:25:36.5440	-	2025/07/04	09:31:28.2520
EL	FROS		CHN	D	2025/07/04	04:25:36.4800	-	2025/07/04	09:31:29.1520
EL	FROS		CHZ	D	2025/07/04	04:25:36.5400	-	2025/07/04	09:31:28.5320
EL	LAG		DHE	D	2025/07/04	01:59:32.4800	-	2025/07/04	09:31:25.7200
EL	LAG		DHN	D	2025/07/04	01:59:33.1800	-	2025/07/04	09:31:25.8400
EL	LAG		DHZ	D	2025/07/04	01:59:31.7080	-	2025/07/04	09:31:25.0760
EL	MAGO		CHE	D	2025/07/04	02:28:31.4360	-	2025/07/04	09:31:28.3280
EL	MAGO		CHN	D	2025/07/04	02:28:32.7520	-	2025/07/04	09:31:28.6240
EL	MAGO		CHZ	D	2025/07/04	02:28:31.9200	-	2025/07/04	09:31:28.9000
EL	MAQ	00	DHE	D	2025/07/03	21:34:11.0760	-	2025/07/04	09:31:25.5920
EL	MAQ	00	DHN	D	2025/07/03	21:34:09.9280	-	2025/07/04	09:31:26.2000
EL	MAQ	00	DHZ	D	2025/07/03	21:34:09.3560	-	2025/07/04	09:31:25.1360
EL	MCIV		CHE	D	2025/07/04	03:20:49.3760	-	2025/07/04	09:31:29.3400
EL	MCIV		CHN	D	2025/07/04	03:20:47.8400	-	2025/07/04	09:31:28.5680
EL	MCIV		CHZ	D	2025/07/04	03:20:47.6520	-	2025/07/04	09:31:28.5920
EL	MLB	00	DHE	D	2025/07/03	22:18:00.8560	-	2025/07/04	09:31:27.1240
EL	MLB	00	DHN	D	2025/07/03	22:18:00.5520	-	2025/07/04	09:31:27.4840
EL	MLB	00	DHZ	D	2025/07/03	22:18:00.5000	-	2025/07/04	09:31:26.1040
EL	MLT	00	DHE	D	2025/07/03	20:20:16.1440	-	2025/07/04	09:31:27.7080
EL	MLT	00	DHN	D	2025/07/03	20:20:18.1440	-	2025/07/04	09:31:28.4400
EL	MLT	00	DHZ	D	2025/07/03	20:20:16.4120	-	2025/07/04	09:31:26.5880
EL	MNT		DHE	D	2025/07/03	23:06:07.2400	-	2025/07/04	09:31:26.2560
EL	MNT		DHN	D	2025/07/03	23:06:07.2360	-	2025/07/04	09:31:26.4960
EL	MNT		DHZ	D	2025/07/03	23:06:06.7000	-	2025/07/04	09:31:27.7400
EL	MSL		DHE	D	2025/07/04	00:12:00.5560	-	2025/07/04	09:31:26.2560
EL	MSL		DHN	D	2025/07/04	00:12:01.4480	-	2025/07/04	09:31:27.1920
EL	MSL		DHZ	D	2025/07/04	00:12:00.5880	-	2025/07/04	09:31:26.2640
EL	POM		DHE	D	2025/07/03	21:29:05.9880	-	2025/07/04	09:31:26.4200
EL	POM		DHN	D	2025/07/03	21:29:03.9280	-	2025/07/04	09:31:26.2360
EL	POM		DHZ	D	2025/07/03	21:29:03.2240	-	2025/07/04	09:31:26.4080
EL	RAD		DHE	D	2025/07/03	22:09:48.4520	-	2025/07/04	09:31:25.9320
EL	RAD		DHN	D	2025/07/03	22:09:46.0880	-	2025/07/04	09:31:25.3840
EL	RAD		DHZ	D	2025/07/03	22:09:45.1560	-	2025/07/04	09:31:26.0920
EL	TRIF		CHE	D	2025/07/04	00:17:14.8400	-	2025/07/04	09:31:28.7640
EL	TRIF		CHN	D	2025/07/04	00:17:11.7960	-	2025/07/04	09:31:28.2320
EL	TRIF		CHZ	D	2025/07/04	00:17:12.7760	-	2025/07/04	09:31:28.1600
EL	VAL		DHE	D	2025/07/03	23:46:43.2000	-	2025/07/04	09:31:25.5480
EL	VAL		DHN	D	2025/07/03	23:46:42.4560	-	2025/07/04	09:31:26.1920
EL	VAL		DHZ	D	2025/07/03	23:46:42.3040	-	2025/07/04	09:31:25.8680

3.2 Qualità dei dati sismici della rete IV (PPSD)

Sono stati calcolati gli spettri di potenza (PSD - *Power Spectral Density*) per le stazioni della rete IV (Figura 2.1), al fine di valutare il livello assoluto dell'energia sismica per periodo (s). I grafici in Figura 3.3 riportano gli spettri di potenza calcolati per 10 giorni di rumore sismico registrato alle tre componenti (Z-verticale, N-S, E-W).

Le curve in grigio rappresentano rispettivamente il massimo (NHNM - *New High Noise Model*) e minimo (NLNM - *New Low Noise Model*) livello di ampiezza di riferimento proposto da Peterson (1993). Si possono osservare delle fluttuazioni delle diverse curve al di sotto di 1s di periodo che dimostrano la variazione giornaliera del livello di energia del segnale, soprattutto ad alcune stazioni.

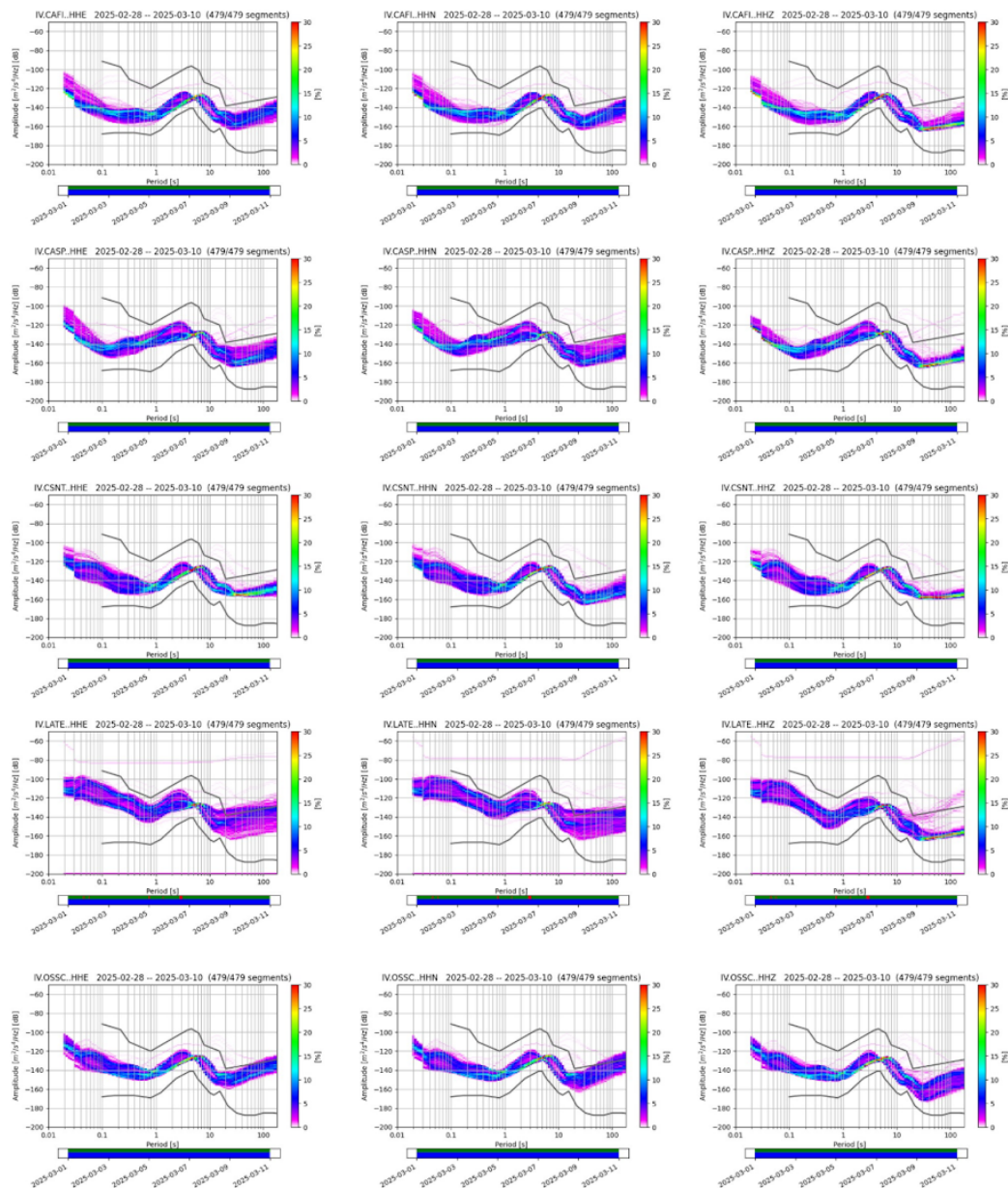


Figura 3.3. Esempi dei plot della PSD (canali E [sx], N, [centro] e Z [dx]) per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni della RSN.

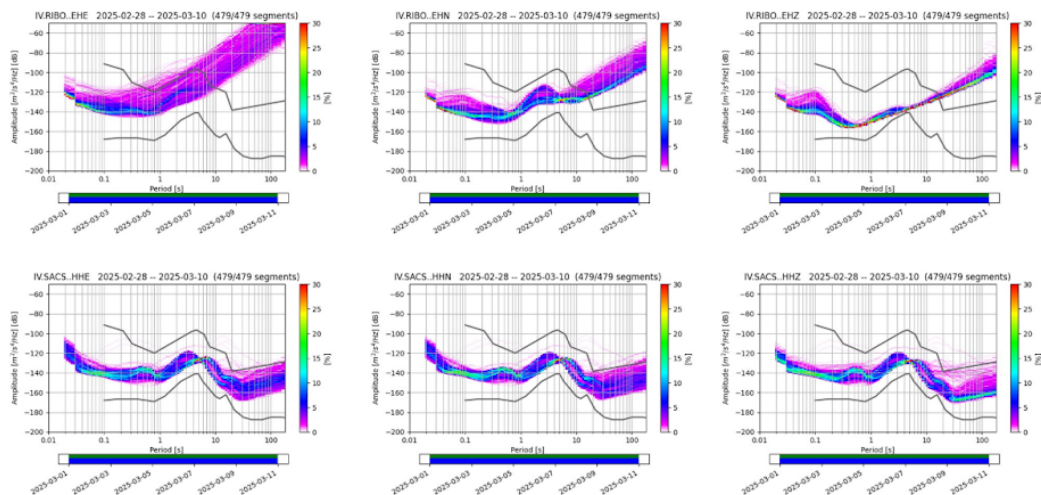


Figura 3.4. Esempi dei plot della PSD (canali E [sx], N, [centro] e Z dx) per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni della RSN.

3.3 Qualità dei dati sismici della rete MALA (PPSD)

Per lo stesso periodo sono stati calcolati gli spettri di potenza (PSD - *Power Spectral Density*) per le stazioni dell'array MALA (rete IV) (fig. 2.2 nel precedente Report; Braun et al., 2024a), al fine di valutare il livello assoluto dell'energia sismica per periodo (s). Le figure seguenti riportano i plot degli spettri di potenza determinati per 10 giorni di rumore sismico registrato dalle tre componenti (Z-verticale, N-S, E-W) delle stazioni dell'array MALA (Figura 3.5).

Le curve in grigio rappresentano rispettivamente il massimo (NHNM - *New High Noise Model*) e minimo (NLNM - *New Low Noise Model*) livello di ampiezza di riferimento proposto da Peterson (1993). Si possono osservare delle fluttuazioni delle diverse curve al di sotto di 1s di periodo che dimostrano la variazione giornaliera del livello di energia del segnale, soprattutto ad alcune stazioni.

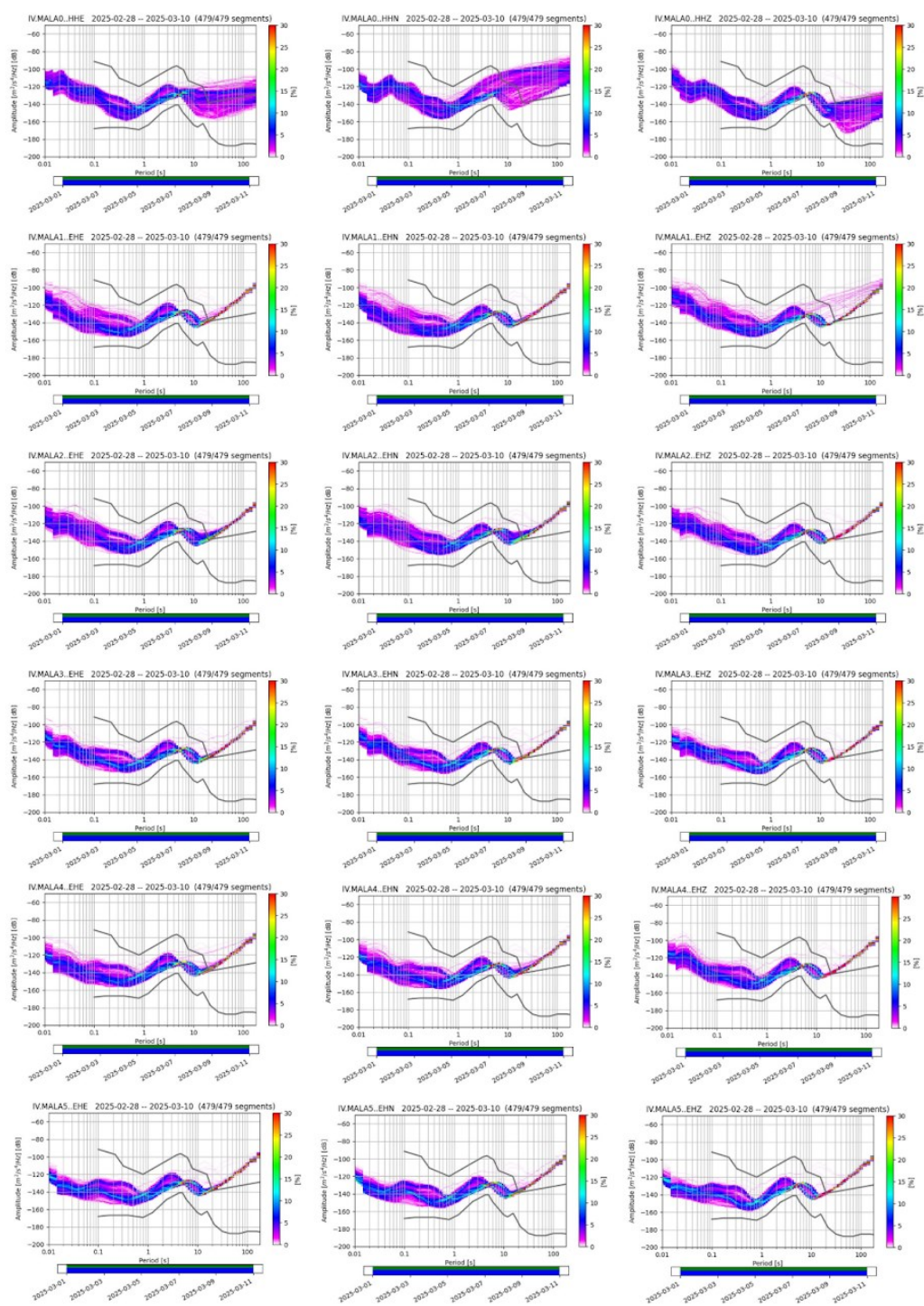


Figura 3.5. Esempio di plot della PSD (canali E [sx, N, [centro] e Z dx]) per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni dell'array MALA.

3.4 Qualità dei dati sismici della rete EL (PPSD)

Sono stati calcolati gli spettri di potenza (PSD - *Power Spectral Density*) per le stazioni di EGP (rete EL) (Figura 3.6), al fine di valutare il livello assoluto dell'energia sismica per periodo (s). Le figure seguenti riportano i plot degli spettri di potenza determinati per 8 giorni di rumore sismico registrato dalle tre componenti (Z-verticale, N-S, E-W) delle stazioni EGP (rete EL) (Figura 3.6), operative nelle aree geotermiche toscane.

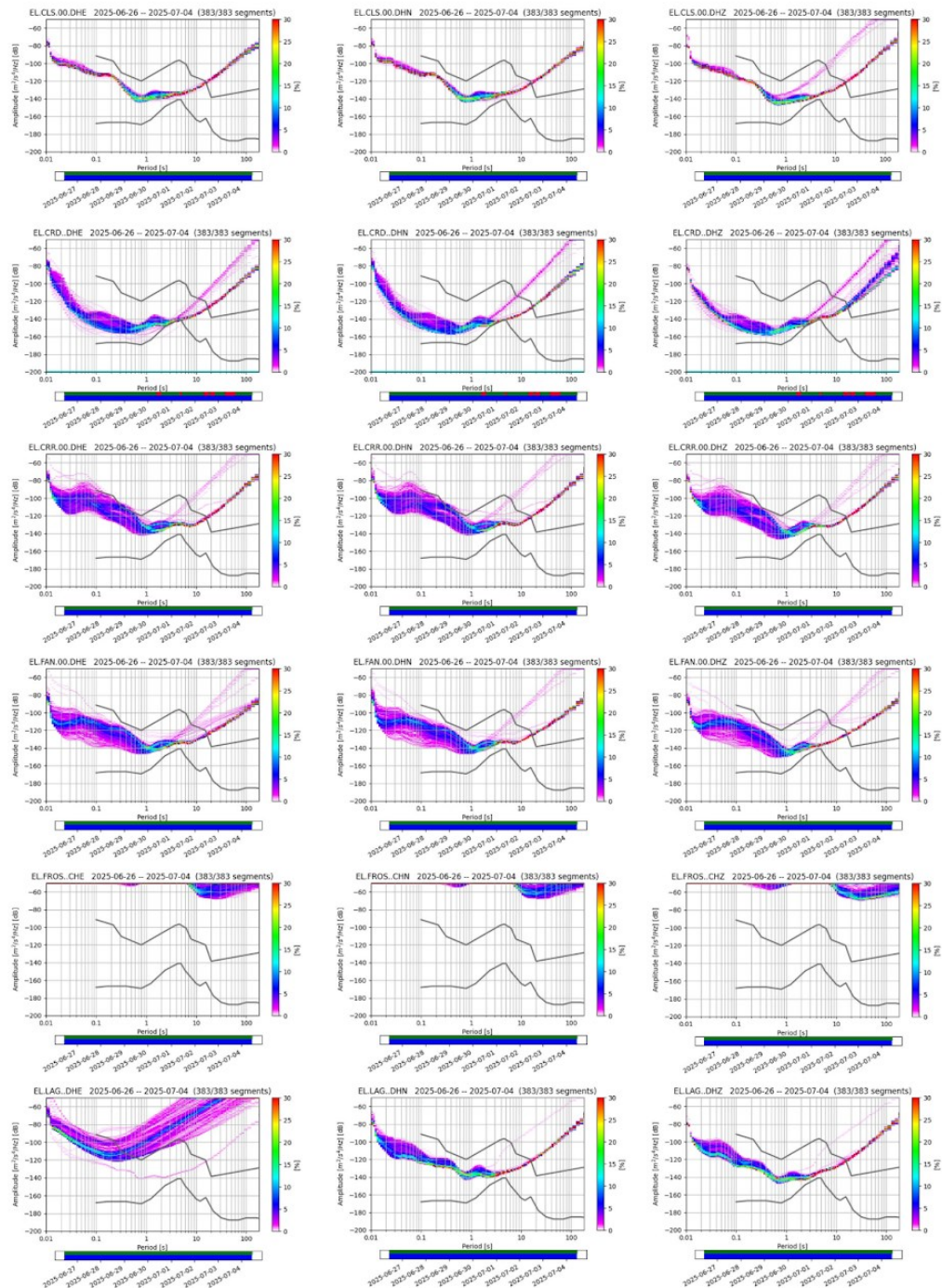


Figura 3.6. Esempio di plot della PSD (canali E [sx], N, [centro] e Z dx) per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni EGP (EL).

Le curve in grigio rappresentano rispettivamente il massimo (NHNM - *New High Noise Model*) e minimo (NLNM - *New Low Noise Model*) livello di ampiezza di riferimento proposto da Peterson (1993). Si possono osservare delle fluttuazioni delle diverse curve al di sotto di 1s di periodo che dimostrano la variazione giornaliera del livello di energia del segnale, soprattutto ad alcune stazioni.

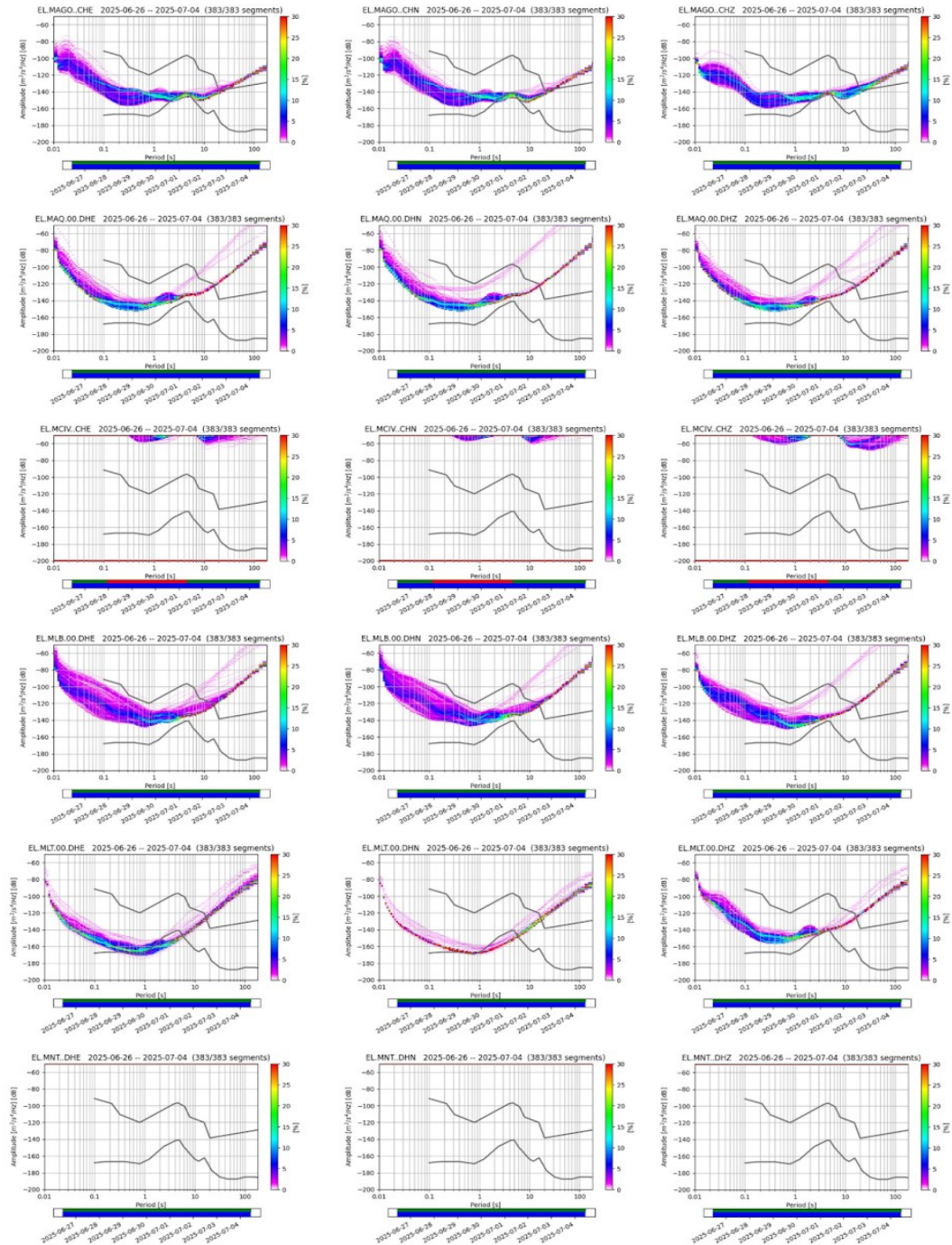


Figura 3.7. Esempio di plot della PSD (canali E [sx], N, [centro] e Z dx) per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni EGP (EL).

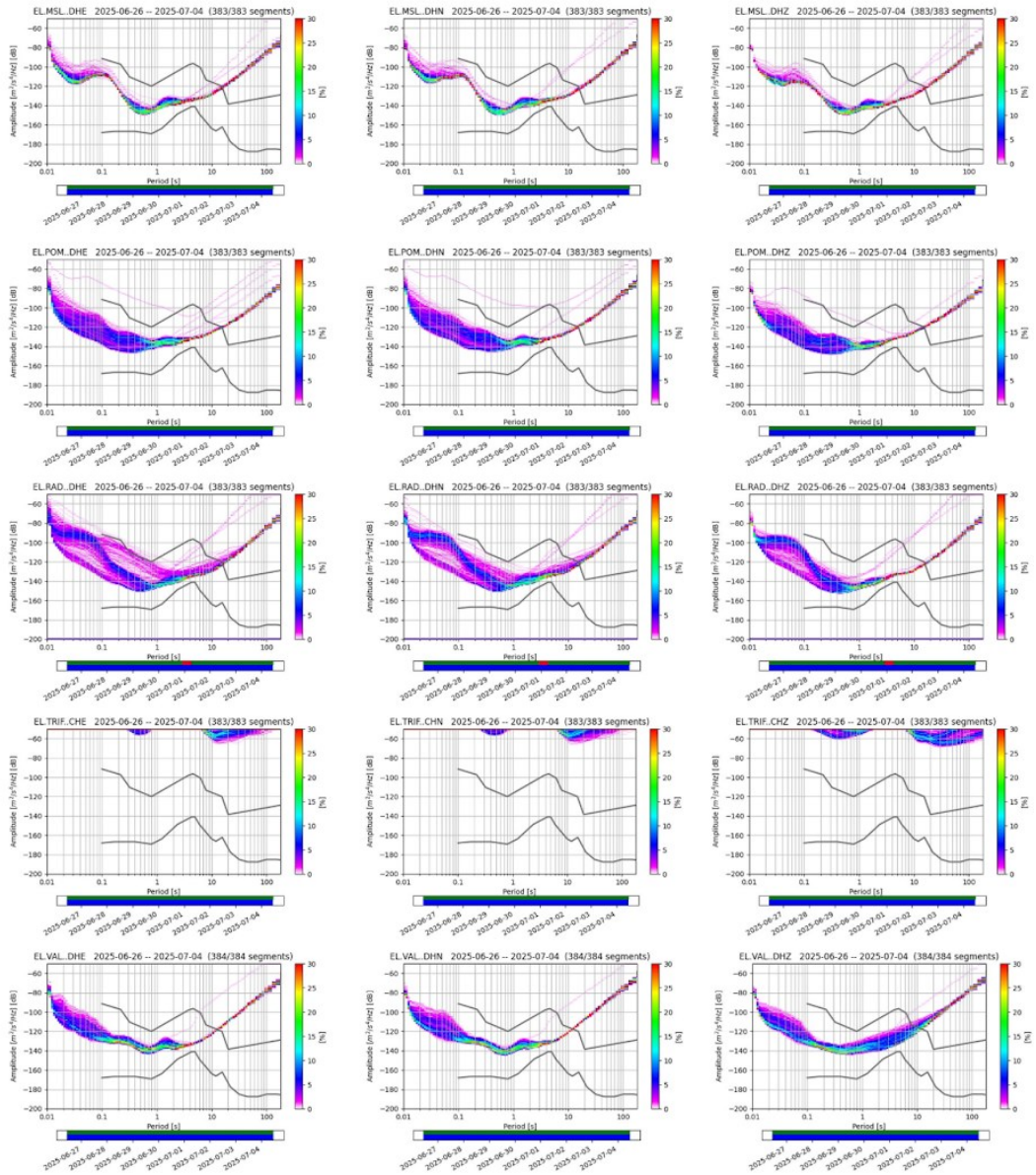


Figura 3.8. Esempio di plot della PSD (canali E [sx], N, [centro] e Z dx) per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni EGP (EL).

E' da sottolineare che per alcune stazioni (FROS, MCIV, MNT, TRIF) il livello energetico si posiziona ben oltre la curva del NHNM. La ridirezione del flusso dei *datastream* (§3.1), come anche l'aggiornamento degli *station.xml* necessita di ulteriori verifiche prima dell'utilizzo dei dati provenienti da queste stazioni nel monitoraggio.

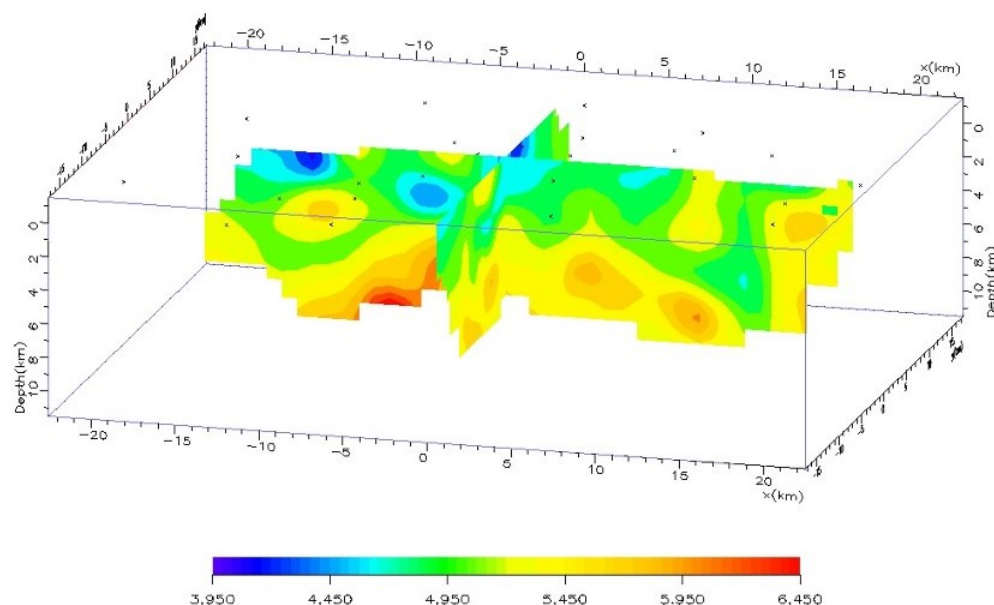
4 Modelli di velocità

Come descritto nel §4.2 del precedente report (Braun et al., 2024a), il sistema di monitoraggio del CMS, si avvale attualmente di modelli di velocità 1D che vengono predisposti per ogni area intorno alle concessioni da monitorare, per poi essere utilizzati anche all'interno di un localizzatore automatico.

Considerando che in ambito geotermico la struttura geologica del volume crostale è altamente disomogeneo, sviluppare dei modelli di velocità 3D (P e S), per entrambe le aree di Larderello/Travale e del Monte Amiata è diventato una delle maggiori priorità.

Nell'ambito di un precedente studio (Braun et al., 2004), è stato realizzato un test, basandosi per l'area di Larderello su un modello tomografico pubblicato da Vanorio et al. (2004). L'obiettivo di questo studio era la creazione dei look-up-tables, basato sulla definizione di un modello 3D (Figura 4.1), la sua suddivisione in un *grid* regolare e il successivo calcolo dei *travel time* teorici da ogni singolo *grid point* ad ogni stazione. La routine **NonLinLoc** (Lomax et al., 2000) utilizza tali modelli 3D per il calcolo ipocentrale definitivo degli eventi sismici locali.

Figura 4.1. Esempio di modello di velocità 3D per l'area di Larderello su proposta di Vanorio et al. (2004).



Per il calcolo ipocentrale SeisComP, il pacchetto di software utilizzato dal CMS per il monitoraggio sismico, si avvale dei seguenti codici:

- i. Hypo71 e LocSat, che si basano su modelli di velocità 1D e
- ii. **NonLinLoc** che offre l'opzione di implementare anche modelli di velocità 3D.

Come primo approccio sono stati definiti due modelli di velocità 1D, a sette strati ciascuno, predisposti per il monitoraggio delle concessioni Larderello e Monte Amiata (vedi Figura 4.7 del precedente report, Braun et al., 2024a). Tali modelli mono-dimensionali sono essenziali per implementare un localizzatore automatico con il compito di fornire parametri ipocentrali preliminari. Per il calcolo di una soluzione ipocentrale definitiva è necessario avvalersi di un modello di velocità più accurato possibile. I modelli di velocità 1D definiti da SPM sono riportati in Appendice C

Codici per il calcolo ipocentrale, come per esempio Hypoellipse, offrono la possibilità di utilizzare modelli di velocità 1D differenti per ogni singola stazione. In tale caso l'intero volume crostale interessato viene rappresentato da una combinazione di molteplici modelli 1D (pseudo 2D).

EGP, che per il calcolo ipocentrale si avvale storicamente di Hypoellipse, ha suddiviso le aree di Larderello/Travale e Monte Amiata in 10 differenti modelli di velocità (Figura 4.3). Tali dati sono stati condivisi con la RT (Figura 4.1), e nell'ambito degli obiettivi dell'ACS sono stati messi a disposizione della SPM. Per riassumere graficamente la valenza geografica dei singoli modelli 1D, sono state rappresentate con degli cerchi le aree con modelli di velocità identici (mappa in Figura 4.2).

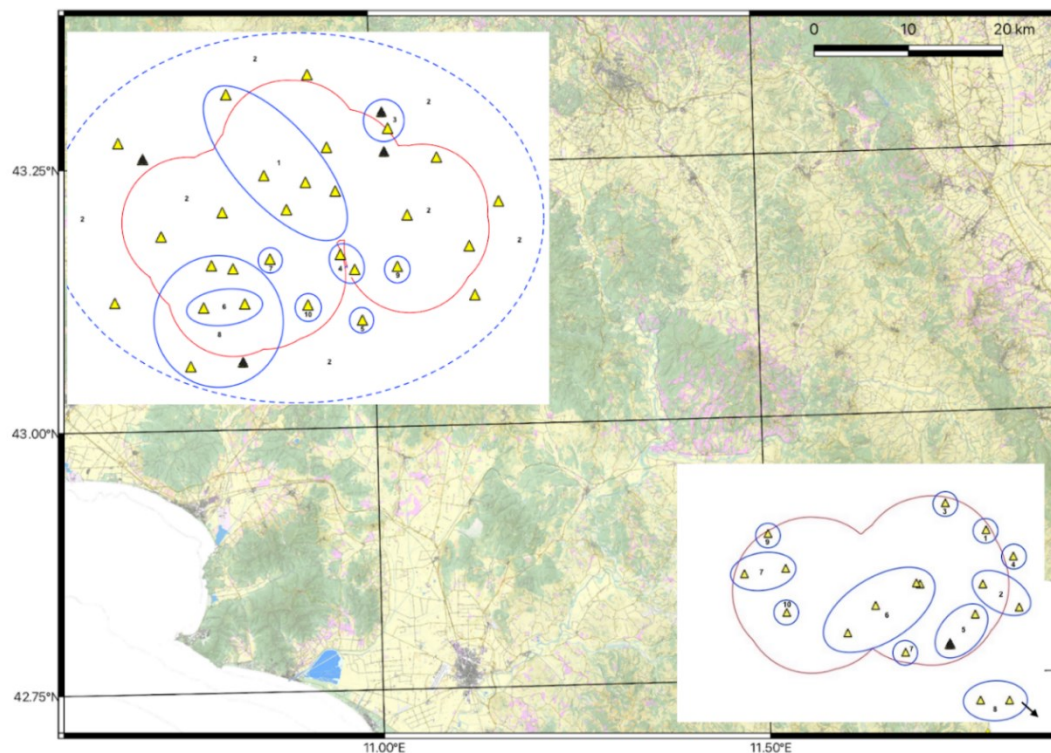


Figura 4.2. Rappresentazione in mappa delle aree geotermiche toscane Larderello e M. Amiata. La linea rossa indica i relativi domini di monitoraggio; le aree confinate con linee blu raggruppano le stazioni per cui valgono gli stessi modelli di velocità. I numeri fanno riferimento ai valori elencati Figura 4.3.

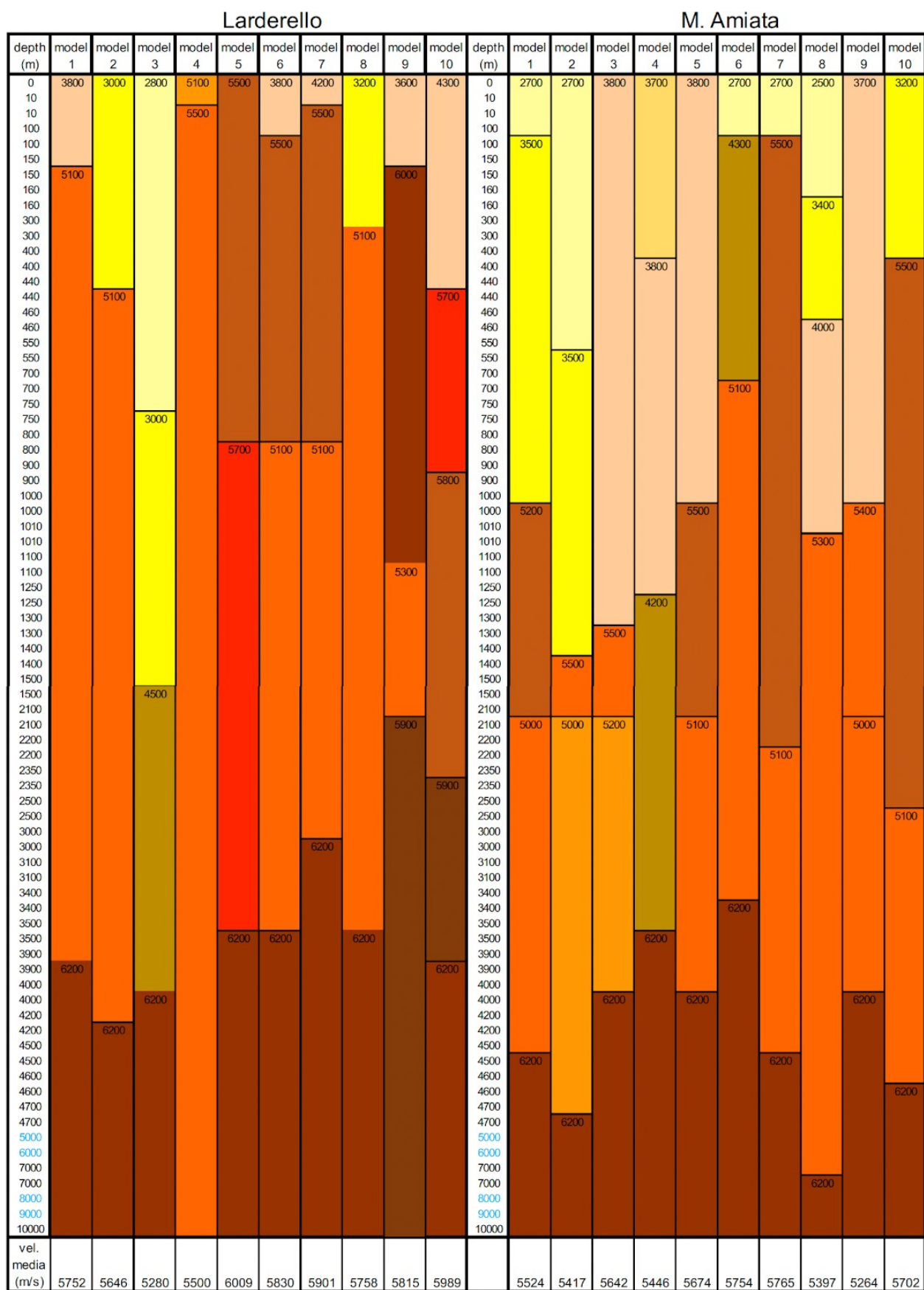
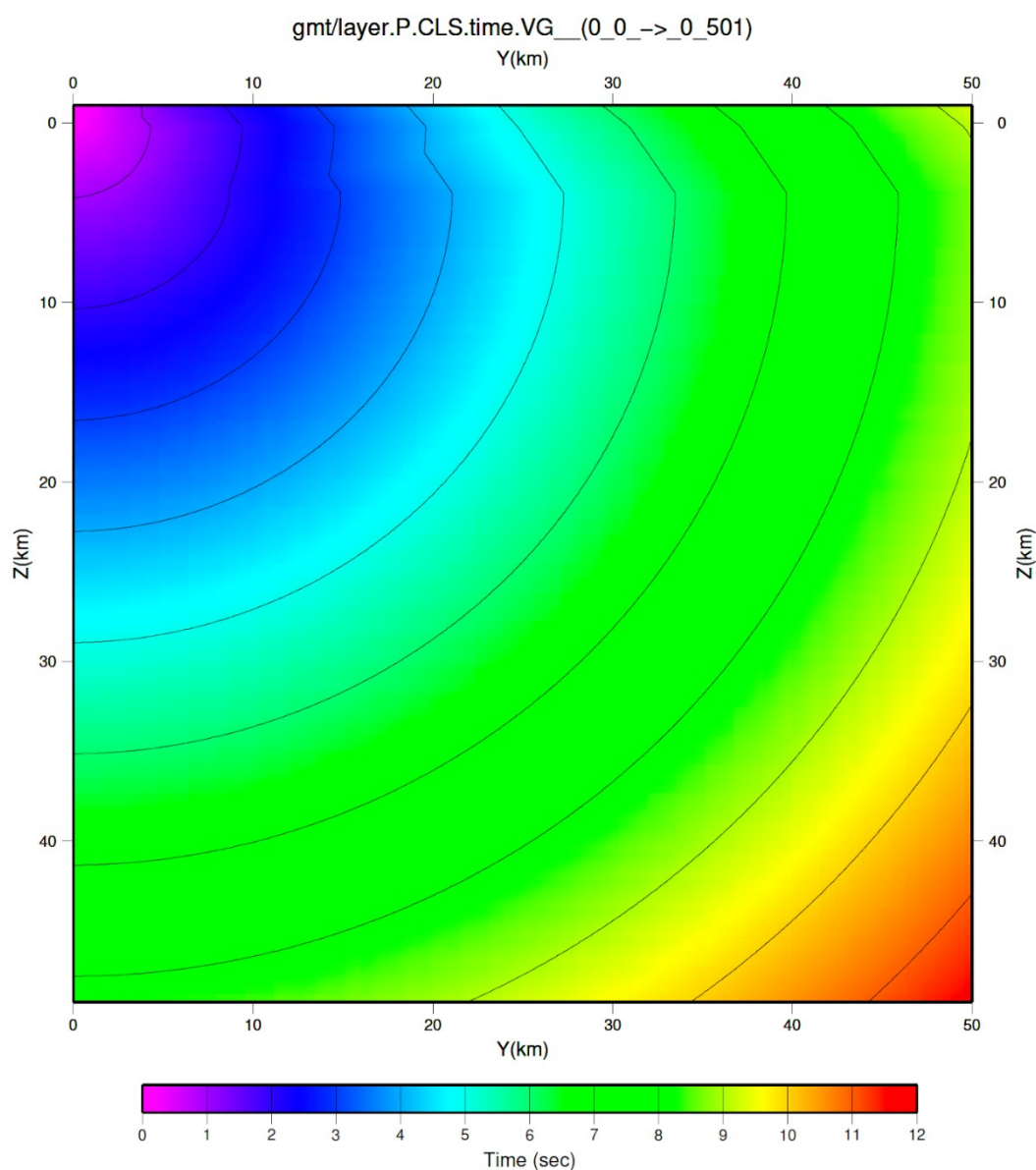


Figura 4.3. Modelli di velocità 1D (onda P) utilizzate da EGP per stazioni differenti: Larderello (sx) e M. Amiata (dx).

Dato che Hypoellipse non è tra i localizzatori implementati in SeisComP, i modelli forniti da EGP sono necessari per definire un modello di velocità 3D, utilizzabile per **NonLinLoc**. Recentemente l'EGP ha trasmesso i files relativi ai modelli di velocità (*model*) e di propagazione (*time/angle*) generati dai codici **vel2grid** e **grid2time** del pacchetto software **NonLinLoc**. Tali file devono essere ricalcolati, estendendo l'elenco delle stazioni alla rete integrata (rete EL, IV + IV.MALA).

Figura 4.4. Esempio del calcolo delle isocrone per la stazione CLS (modello Larderello_01 della Figura 4.3) tramite il codice **grid2time** (Lomax et al., 2000): Sezione distanza-profondità (km) dei tempi di percorrenza teorici (isocrone).



5 Monitoraggio sismico

Uno degli obiettivi dell'ACS RT-INGV è la redazione di un bollettino dell'attività sismica nelle aree geotermiche toscane a partire dal 01/07/2023. Dovuto a varie problematiche descritte nell'ultimo e nel presente report l'attività della turnazione di monitoraggio non è ancora cominciata (vedi §5.3).

Come descritto in dettaglio nel §7 del precedente report annuale (Braun et al., 2024a) Prima dell'inizio dei regolari turni di monitoraggio, devono essere soddisfatti e validati i seguenti prerequisiti:

- A. Acquisizione in tempo reale dei dati sismici della RSI
- B. Creazione degli station.xml
- C. Trasmissione dati da EGP e sala sismica INGV a CAD-BO
- D. Archiviazione dei dati al CAD-BO
- E. Definizione dei Domini di Monitoraggio
- F. Definizione del Modello di Velocità 1D
- G. Monitoraggio automatico
- H. Definizione del Modello di Velocità 3D
- I. Implementazione **NonLinLoc**
- J. Creazione bollettini sismico
- K. Definizione sistema decisionale
- L. Disseminazione e messaggistica
- M. Richiesta a EGP dei dati mancanti/arretrati EL e inserimento nel database CMS
- N. Playback dei dati arretrati
- O. Creazione del bollettino sismico basato su dati della RSI

Nel report precedente era già stata descritta la piena operatività dell'intera catena di comando (da A a J), utilizzando dei parametri stazione (B) e dei modelli di velocità (F) preliminari. Agevolato dal fatto che recentemente l'EGP ha trasferito il suo sistema di monitoraggio sismico (acquisizione, archiviazione, analisi) a SeisComP, le informazioni mancanti (station.xml e modelli di velocità per Larderello e M. Amiata) sono state recuperate, aggiornate e inserite nel sistema SeisComP in collaborazione con EGP, (⇒ §2.4, §4.2).

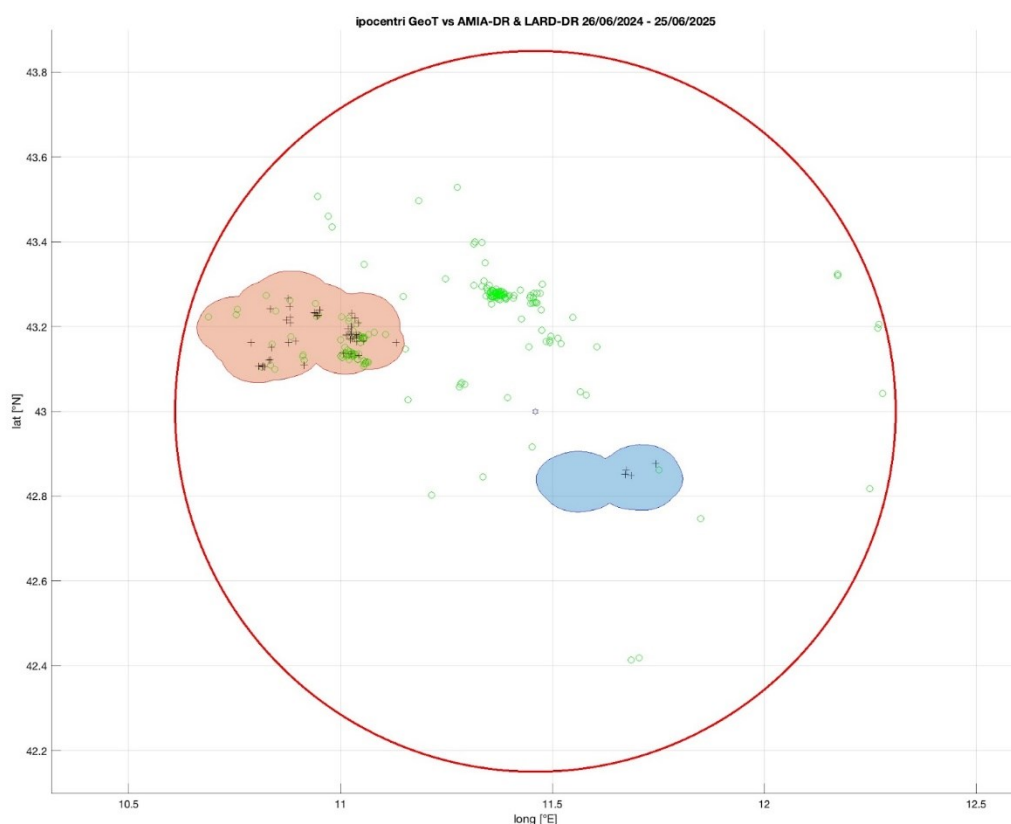
Come descritto nel §3.1 il problema fondamentale per l'inizio ritardato dell'attivazione dei turni di monitoraggio è stata la inaspettata necessità della ridefinizione e unificazione del flusso dei dati da EGP a CAD-BO che era stato interrotto a fine 2024 e ripristinato solamente a giugno 2025.

5.1 Bollettino sismico IV 2024/2025

Per la creazione a posteriori di un catalogo degli eventi sismici sulla base dei dati arretrati della rete sismica integrata (dal 01/07/2023 alla data dell'inizio dei turni) deve essere stata conclusa la fase dell'archiviazione dei dati.

Nel frattempo si presenta il bollettino degli eventi sismici localizzati dalla RSN dell'INGV all'interno dei domini di rilevazione definiti nel §4.1 della precedente relazione (Braun et al., 2024a) e gli eventi localizzati in automatico dal sistema e rivisti dall'analista in fase di test dal CMS.

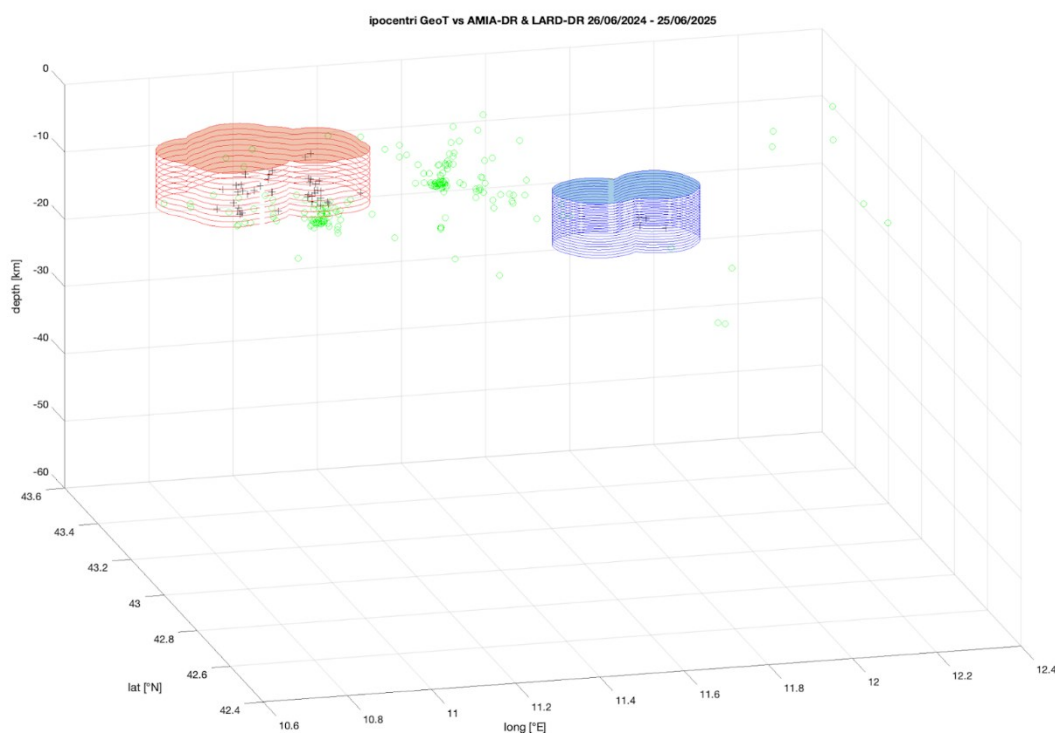
Figura 5.1. 239 eventi sismici localizzati dalla RSN nel raggio di 70 km intorno a MALA nell'arco dell'ultimo anno. I domini di rilevamento DR_LARD e DR_AMIA sono rispettivamente rappresentati come aree rosso e blu.



Per valutare la sismicità nel periodo 26/06/2024 - 25/06/2025 nelle aree geotermiche toscane, è stata effettuata un'estrazione dal bollettino INGV pubblicato sul sito <https://terremoti.ingv.it/>. Come primo approccio è stata definita un'area circolare con raggio $r=70$ km (cerchio rosso) intorno all'array MALA (coordinate $43.00^{\circ}\text{N}/11.46^{\circ}\text{E}$; centro (nero) del cerchio rosso in Figura 5.1) che comprende entrambi i Domini di Rilevazione di Larderello (DR_LARD) e del M. Amiata (DR_AMIA). All'interno di tale area e per il suddetto periodo sono stati estratti 239 eventi con magnitudo $M \geq 0$ Figura 5.1 (Appendice A).

Attraverso l'applicazione di un codice di discriminazione volumetrica, che tiene conto sia dei confini areali sia della profondità (§4), è stato possibile di individuare 44 eventi all'interno del DR_LARD e 4 eventi nel DR_AMIA (crocette nere in Figura 5.1 e Figura 5.2).

Figura 5.2. Rappresentazione 3D della mappa in Figura 4.1. Le crocette nere indicano i 44 + 4 eventi verificatisi negli ultimi 12 mesi all'interno dei domini di rilevamento DR_LARD (rosso) e DR_AMIA (blu).



La Figura 5.3 mostra il risultato dell'applicazione dell'algoritmo di discriminazione ed elenca, in ordine di magnitudo decrescente, gli eventi con ipocentro all'interno del DR_LARD (rosso) e del DR_AMIA (blu).

In attesa della definizione di uno schema di comunicazione, la SPM continua a proporre l'applicazione dello schema di comunicazione suggerito da Braun et al. (2023) e nel §7.3 del Report n°5 (CMS, 2023).

Compariamo per il periodo 01/07/2023 - 25/06/2024, la lista degli eventi elencati nella Figura 5.3 con lo schema TLS rappresentato in Figura 5.4 del precedente report: dei 44 + 4 eventi localizzati all'interno dei domini di monitoraggio, nessuno degli eventi nel DR_AMIA e 6 eventi del DR_LARD (nr. 101, 19, 60, 102, 185, 228) hanno superato la soglia "verde/gialla" di $M \geq 2.0$, entrando nel livello di attenzione

Nr	Data Orario (UTC)	Latitude	Longitude	Prof. (Km)	ML	Epicentro (Provincia)	LDR	ADR
101	2025-01-27T06:33:47.100000	43.20900	10.88130	7.2	2.6	2 km W Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
19	2024-08-23T09:12:13.080000	43.23970	10.95170	4.9	2.3	5 km NE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
60	2024-11-20T22:15:12.210000	43.22520	10.94470	7.6	2.3	4 km NE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
102	2025-01-27T23:07:45.380000	43.23170	11.02720	3	2.1	4 km SW Radicondoli (SI)	1	0
185	2025-03-22T18:31:43.920000	43.20870	11.04280	6.4	2.1	6 km S Radicondoli (SI)	1	0
228	2025-05-21T14:02:55.580000	43.16220	10.87820	5.4	2.1	2 km NE Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
61	2024-11-21T14:40:52.700000	43.24620	10.88120	6.8	1.9	5 km NW Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
87	2025-01-01T08:32:03.530000	43.16930	11.02370	6.3	1.9	4 km N Montieri (GR)	1	0
98	2025-01-20T00:07:45.530000	43.22080	11.03520	2.2	1.9	5 km S Radicondoli (SI)	1	0
161	2025-02-12T04:41:12.110000	43.22150	10.88130	4.6	1.9	3 km NW Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
201	2025-04-19T18:10:49.970000	43.10720	10.80770	5.5	1.9	6 km SW Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
211	2025-05-02T15:08:13.630000	43.21520	10.87250	6.9	1.9	3 km W Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
215	2025-05-10T21:30:04.920000	43.17550	11.03880	5.1	1.9	5 km W Chiusdino (SI)	1	0
93	2025-01-17T23:54:21.990000	43.23330	10.93920	5.9	1.8	4 km NE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
62	2024-11-23T01:29:52.330000	43.18280	11.02430	7.4	1.7	6 km N Montieri (GR)	1	0
158	2025-02-10T03:45:11.620000	43.12020	10.83180	7.5	1.7	4 km SW Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
171	2025-03-13T09:15:56.620000	43.22720	10.94730	7.7	1.7	4 km NE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
183	2025-03-22T05:19:54.800000	43.10550	10.81620	6.7	1.7	6 km SW Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
237	2025-06-04T02:25:15.860000	43.10520	10.82180	7.2	1.7	5 km SW Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
13	2024-08-06T01:56:01.210000	43.20000	11.02700	5.4	1.6	7 km S Radicondoli (SI)	1	0
209	2025-04-30T02:13:39.320000	43.19520	11.01800	7.9	1.6	7 km N Montieri (GR)	1	0
188	2025-03-31T00:13:44.790000	43.16280	10.79000	7.8	1.5	6 km W Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
236	2025-06-03T23:18:17.170000	43.26680	10.87700	7.4	1.5	4 km S Pomarance (PI)	1	0
53	2024-11-06T22:16:37.400000	43.15050	10.83730	7.5	1.4	2 km W Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
63	2024-11-28T09:35:32.630000	43.18080	11.01450	7.2	1.4	5 km N Montieri (GR)	1	0
91	2025-01-14T16:52:25.120000	43.12220	10.83500	7.5	1.4	3 km SW Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
227	2025-05-19T19:44:52.630000	43.24120	10.83480	7.2	1.4	7 km NW Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
182	2025-03-20T11:55:42.820000	43.17800	11.01380	4.6	1.3	5 km N Montieri (GR)	1	0
223	2025-05-15T22:21:31.300000	43.16630	10.89450	4.9	1.3	4 km NE Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
230	2025-05-27T01:23:05.160000	43.23220	10.94200	5.2	1.3	4 km NE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
4	2024-07-14T19:19:05.250000	43.17180	11.03320	7.9	1.2	5 km N Montieri (GR)	1	0
12	2024-07-29T05:05:08.170000	43.16270	11.13130	7	1.1	4 km E Chiusdino (SI)	1	0
44	2024-10-16T10:03:08.440000	43.16500	11.03850	6.3	1.1	4 km NE Montieri (GR)	1	0
82	2024-12-16T12:22:17.370000	43.10730	10.81770	3.9	1.1	5 km SW Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
90	2025-01-09T13:45:50.340000	43.17270	11.02780	6.8	1.1	5 km N Montieri (GR)	1	0
222	2025-05-15T02:15:04.710000	43.13220	11.04330	7.3	1.0	2 km E Montieri (GR)	1	0
66	2024-11-30T20:17:46.440000	43.18650	11.02570	7.6	0.9	6 km NW Chiusdino (SI)	1	0
184	2025-03-22T08:05:58.500000	43.18070	11.03670	6.6	0.9	5 km NW Chiusdino (SI)	1	0
197	2025-04-19T10:51:38.480000	43.10970	10.91520	7.3	0.9	6 km SE Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
35	2024-10-11T19:24:52.800000	43.16600	11.05420	8	0.8	3 km W Chiusdino (SI)	1	0
2	2024-07-02T23:35:51.700000	43.13520	11.02500	7.6	0.5	1 km NE Montieri (GR)	1	0
39	2024-10-11T20:59:12.970000	43.20000	11.02630	6	0.5	7 km S Radicondoli (SI)	1	0
239	2025-06-18T21:19:38.090000	43.13650	11.00630	7	0.5	1 km NW Montieri (GR)	1	0
38	2024-10-11T20:16:19.730000	43.18030	11.04380	7.8	0.4	5 km NW Chiusdino (SI)	1	0
11	2024-07-26T23:23:16.360000	42.87670	11.74430	7.5	1.2	3 km SW Radicofani (SI)	0	1
189	2025-04-03T10:46:31.600000	42.86150	11.67470	5.2	1.0	2 km NW Piancastagnaio (SI)	0	1
3	2024-07-06T06:30:21.810000	42.84870	11.68630	5	0.9	1 km W Piancastagnaio (SI)	0	1
195	2025-04-16T08:12:26.090000	42.85120	11.67220	6.1	0.7	2 km W Piancastagnaio (SI)	0	1

Figura 5.3. Eventi elencati in ordine di ML decrescente, verificatisi nel periodo 01/07/2023 - 25/06/2024 all'interno dei Domini di Riferimento DR_LARD (rosso) e DR_AMIA (blu).

5.2 Confronto della magnitudo calcolata da SPM e EGP

Il calcolo della magnitudo, trattato in dettaglio nel §4.3 del precedente Report (Braun et al., 2024a) richiede sia la conoscenza dei corretti parametri delle stazioni (station.xml, vedi §2.4), che un modello di velocità crostale dettagliato e realistico. Un modello di velocità non adatto influisce sulla correttezza della stima epicentrale e della relativa profondità dell'origine, che determinano la distanza ipocentrale di ogni stazione, parametro necessario per la correzione dell'ampiezza del segnale registrato, che è comunque fondamentale per il calcolo della magnitudo. Un modello di velocità troppo lento rispetto alla situazione reale, porta ad un ipocentro troppo superficiale. Questo ha come conseguenza un'errata correzione dell'ampiezza, causando una sottostima della magnitudo. Seguendo lo stesso ragionamento, un modello crostale troppo veloce tende a sovrastimare la magnitudo. Oltre al modello di velocità, anche la routine di localizzazione utilizzata influisce sul risultato finale. Alcuni localizzatori, infatti, riescono a gestire modelli di velocità 2D (es. Hypoellipse utilizzato da EGP) o 3D (es. **NonLinLoc** da Lomax et. al., 2000) per cui è possibile associare ad ogni stazione sismica un modello di velocità specifico del sito, mentre altri (es. Hypo71 utilizzato da SPM) gestiscono solo modelli 1D per cui il modello di velocità assegnato è uguale per tutte le stazioni sismiche che contribuiscono alla localizzazione.

Per ridurre al minimo le differenze legate alle diverse routine di localizzazione utilizzate da EGP e SPM, si è deciso di costruire, a partire dai modelli differenziati per le singole stazioni, un modello di velocità "mediato" rappresentativo delle aree di Larderello ed uno per l'area del Monte Amiata.

Con l'obiettivo di verificare i singoli passi delle procedure per il calcolo della magnitudo utilizzato da EGP e SPM, è stato richiesto all'EGP di condividere per un evento di test tutte i parametri e le osservabili utilizzate (station.xml, ampiezze massime delle singole tracce, modello di velocità, routine di localizzazione e magnitudo risultante). E' stato scelto l'evento sismico di ML 2.1 verificatosi in data 6 gennaio 2024, con epicentro a Montieri (<https://terremoti.ingv.it/event/37296881>).

Le informazioni che sono state fornite da EGP vengono riportate di seguito:

- A. Soluzione ipocentrale dell'evento oggetto di confronto, magnitudo media e magnitudo calcolate alle singole stazioni (esplicitando anche la componente della registrazione considerata);
- B. Modelli di velocità utilizzati per le aree di Larderello e Amiata (profili di velocità alle singole stazioni);
- C. File station.xml contenente i metadati relativi alle reti di Larderello e Amiata. Si fa notare che lo station.xml contiene, oltre allo stato attuale dei settaggi della

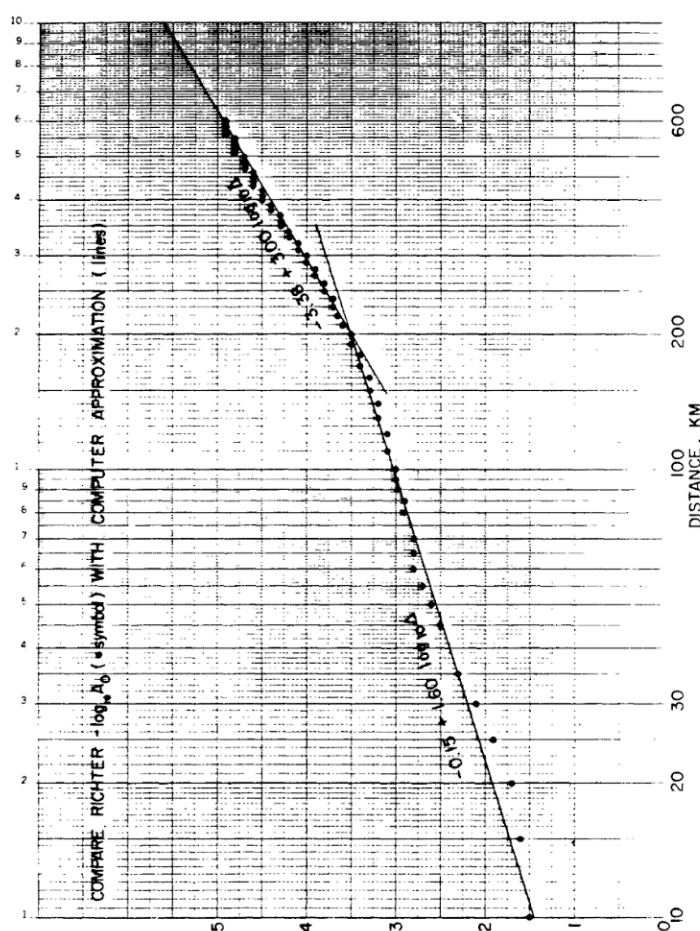
strumentazione installata, anche lo storico. Ci si basa principalmente su quest'ultimo per effettuare la verifica proposta.

In relazione alle informazioni appena riportate, si è proceduto come segue: per superare il problema del differente localizzatore e del modello di velocità utilizzato, si è deciso di considerare le coordinate ipocentrali fornite da EGP come punto di partenza, passando quindi direttamente al calcolo della magnitudo alle singole stazioni che hanno contribuito alla localizzazione. Per il calcolo delle magnitudo è stato utilizzato il modulo scmag di SeisComP (<https://www.seiscomp.de/doc/apps/scmag.html>) che dà la possibilità di calcolare diverse tipologie di magnitudo in base alla formula di calibrazione che le definisce.

Tenendo conto dei punti A) e C) discussi in precedenza nel capitolo, si sono individuate 2 stazioni sismiche utili per effettuare il confronto dei valori con quelli calcolati da SPM.

In questa applicazione SPM utilizza la MLv (magnitudo calcolata sulla componente verticale della registrazione sismica) e la ML (magnitudo Richter classica), mentre la magnitudo (M) calcolata da EGP è tratta da Lahr, (1989) il quale mostra un confronto tra le funzioni di calibrazione di M ed ML in funzione della distanza ipocentrale (Figura 5.4).

Figura 5.4. Confronto tra $\log A_0$ della magnitudo Richter ML (puntini neri) e l'approssimazione di tale grandezza utilizzata da Lahr (1989) per il calcolo della magnitudo M in Hypoellipse (tratto nero).



I valori di magnitudo sono quindi riportati di seguito:

Codice stazione	Magnitudo EGP (comp)	Magnitudo SPM (comp)
MSL	M 2.2 (E/N)	ML 2.98 (N)
RAD	M 1.5 (Z)	MLv 2.48 (Z)

Si aggiunge che anche il pre-processing (filtri, ecc...) possono influire sulla stima delle ampiezze del segnale e, quindi, sulla determinazione della magnitudo per ogni stazione.

5.3 Monitoraggio automatico

Ritornando alla tabella di marcia da seguire per un monitoraggio sismico introdotta all'inizio del paragrafo, sulla base dei compiti sbrigliati durante l'ultimo anno di attività:

- ✓ A. Acquisizione in tempo reale dei dati sismici della RSI (⇒ §2.2 - §2.3)
- ✓ B. Creazione degli station.xml (⇒ §2.4)
- ✓ C. Trasmissione dati da EGP e sala sismica INGV a CAD-BO (⇒ §3.1)
- ✓ D. Archiviazione dei dati al CAD-BO (⇒ §3.4 del precedente report annuale)
- ✓ E. Definizione dei Domini di Monitoraggio (⇒ §4 nel precedente report annuale)
- ✓ F. Definizione del Modello di Velocità 1D (⇒ §4 nel precedente report annuale)
- ✓ G. Monitoraggio automatico (in fase di partenza)
- H. Definizione del Modello di Velocità 3D (attività avviata ⇒ §4)
- I. Implementazione **NonLinLoc**
- J. Creazione bollettini sismico
- K. Definizione sistema decisionale (proposto ⇒ §7.3 del Report n°5, Braun et al., 2023)
- L. Disseminazione e messaggistica (pronto, inizierà a seguito dell'avvio di G.)
- M. Richiesta a EGP dei dati EL mancanti/arretrati e inserimento nel database CMS
- N. Playback dei dati arretrati
- O. Creazione del bollettino sismico basato su dati della RSI

Il recente compimento dei punti A. - F. permette finalmente l'avvio del Monitoraggio Automatico (G.) e la disseminazione dello stesso risultato preliminare, tramite il sistema di messaggistica (vedi §6). Per quanto riguarda l'implementazione di un modello 3D necessario per l'uso di **NonLinLoc**

, sono previsti seguenti passi (H. e I.), seguiti dalla creazione di un bollettino sismico (J.), basandosi sui dati della RSI (rete EL, IV + IV.MALA) e dell'avvio della messaggistica automatica (L):

Modello Pseudo 2D: sulla base dei 10 modelli di velocità 1D, definiti da EGP per ciascuna delle concessioni LARD e AMIA (Figura 4.3), calcolare per le stazioni della RSI i files di configurazione **NonLinLoc**, relativi ai modelli di velocità e di propagazione (generati dai i codici **vel2grid** e **grid2time**).

Modello 3D: sulla base di un modello di velocità 3D da sviluppare o di letteratura (p.es. Vanorio et al., 2004, Bagagli et al., 2020), calcolare per le stazioni della RSI i files di configurazione **NonLinLoc**.

Una volta collaudato il funzionamento dell'intera procedura di monitoraggio (A. - L.), verrà inviata la richiesta a EGP dei dati e dei metadati mancanti/arretrati delle stazioni della rete EL per successivo inserimento nel database CMS. A seguito del *playback* dei dati arretrati, si potrà passare alla creazione del bollettino sismico basato su dati della RSI (M. - O.)

6 Dati EGP relativi al consumo di vapore e reiniezione

Come previsto dal “Protocollo di Intesa tra Regione Toscana ed Enel Green Power Italia S.r.l. sulla condivisione e validazione del monitoraggio sismico delle aree geotermiche toscane”, EGP trasmette a RT con frequenza bimestrale i dati di produzione e i volumi di liquido estratto e reiniettato per i pozzi autorizzati e della quantità di vapore in ingresso ai gruppi di produzione. Tali dati sono a disposizione della SPM (Figura 6.1).

6.1 Consumo vapore giornaliero

Di seguito l'elenco delle centrali geotermiche e il consumo di vapore giornaliero per ogni centrale geotermica:

BAG4_1	EGP-BAGNORE 4-G1
BAG4_2	EGP-BAGNORE 4-G2
BAG3_1	EGP-BAGNORE3-G1
CAR1_1	EGP-CARBOLI1-G1
CAR2_1	EGP-CARBOLI2-G1
CHIU_1	EGP-CHIUSSINO-G1
COR2_1	EGP-CORNIA2-G1
FARI_1	EGP-FARINELLO-G
GABB_1	EGP-GABBRO-G1
LPRA_1	EGP-LE PRATA-G1
MON1_1	EGP-MONTEVERDI1-G1
MON2_2	EGP-MONTEVERDI2-G1
RADI_2	EGP-N. RADICONOLI-G2
CAST_1	EGP-N.CASTELNUOVO-G1
LAGO_1	EGP-N.LAGO-G1
LAR3_1	EGP-N.LARDERELLO3-G1
MOLI_1	EGP-N.MOLINETTO-G1
MONT_1	EGP-N.MONTEROTONDO-G1
RADI_1	EGP-N.RADICONOLI-G1
SMAR_1	EGP-N.S.MARTINO-G1
SASS_1	EGP-N.SASSO-G1
SERR_1	EGP-N.SERRAZZANO-G1
NLAG_1	EGP-NUOVA LAGONI -G1
PIAN_1	EGP-PIANACCE-G1
PIA3_1	EGP-PIANCASTAGNAIO3-G1
PIA4_1	EGP-PIANCASTAGNAIO4-G1
PIA5_1	EGP-PIANCASTAGNAIO5-G1
RANC_1	EGP-RANCIA-G1
RANC_2	EGP-RANCIA2-G1
SAS2_1	EGP-SASSO 2-G1
SELV_1	EGP-SELVA-G1
SEST_1	EGP-SESTA-G1
TRA3_1	EGP-TRAVALLE3-G1
TRA4_1	EGP-TRAVALLE4-G1
VALS_1	EGP-VALLESECOLO-G1
VALS_2	EGP-VALLESECOLO-G2

Consumo vapore giornaliero per centrale geotermica

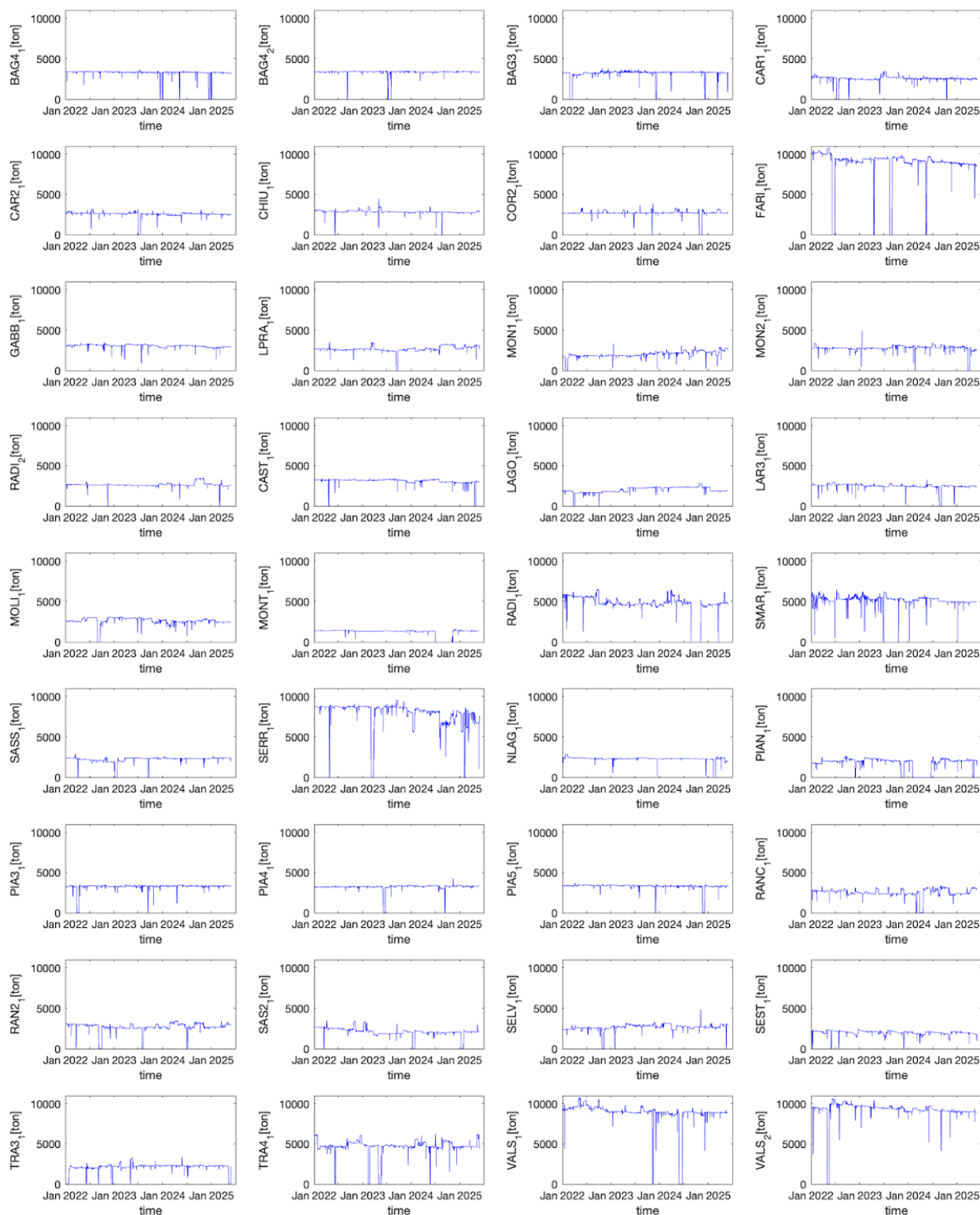


Figura 6.1. Variazioni del consumo vapore giornaliero per ogni centrale geotermica (fonte EGP)

6.2 Volume liquido estratto e reiniettato

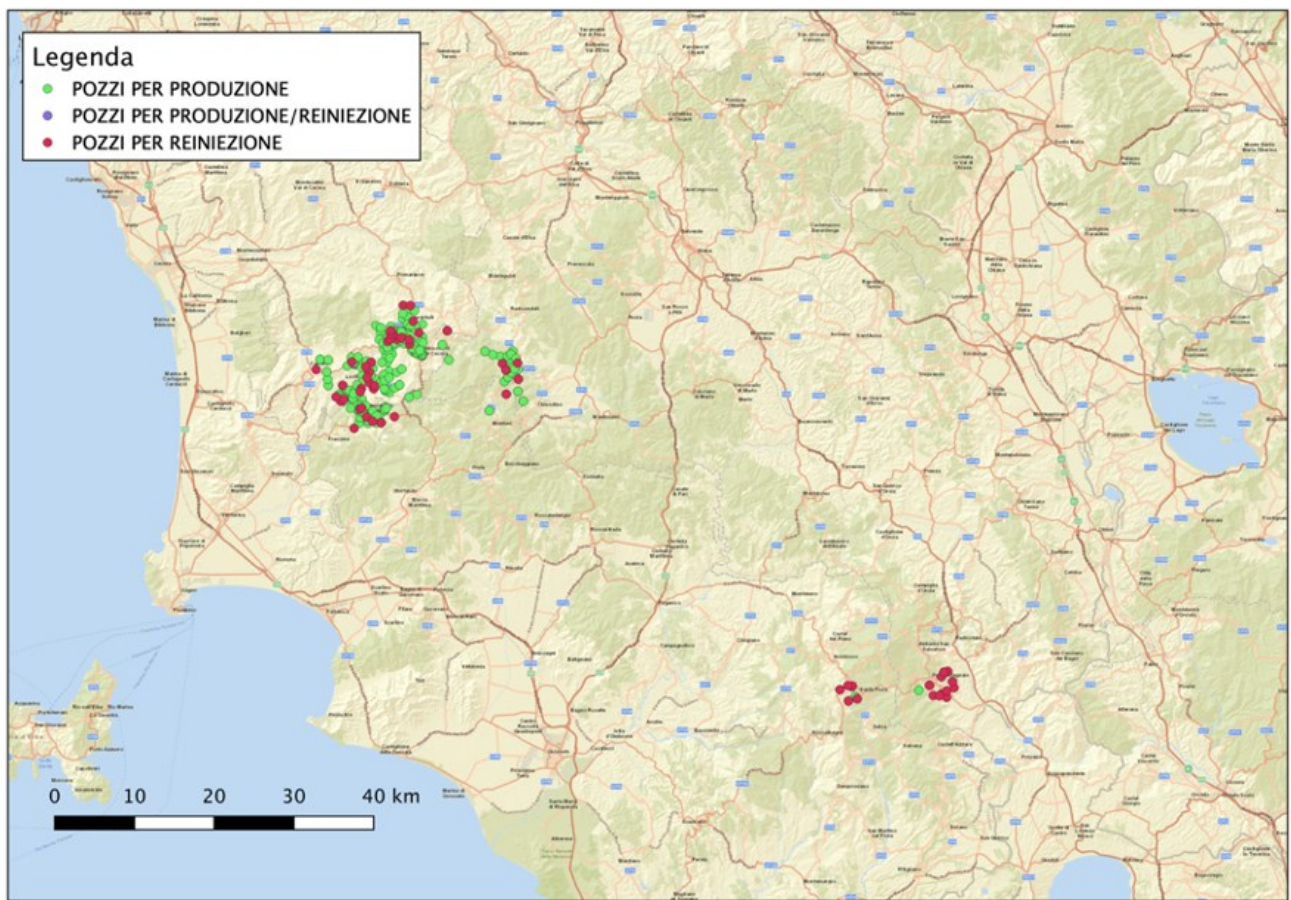
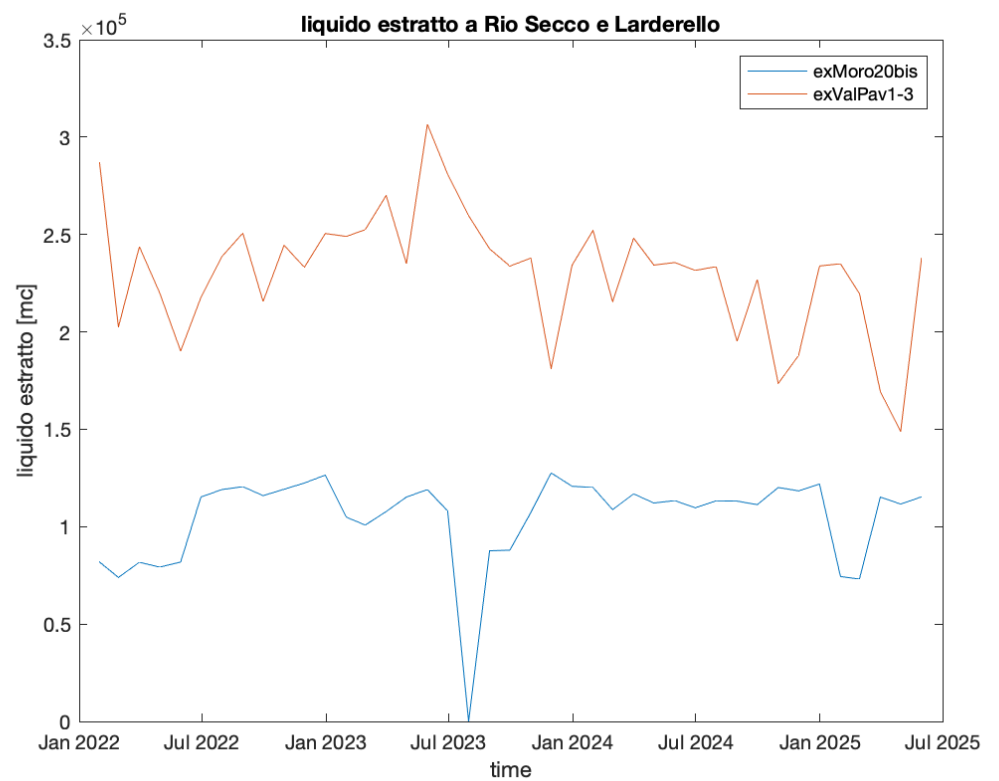


Figura 6.2. Mappa dei pozzi EGP presenti nelle aree geotermiche di Larderello – Travale e Amiata (Braun et al., 2024)

Figura 6.3. Variazioni del liquido estratto ai due pozzi EGP di Rio Secco e Larderello.



La Figura 6.2 mostra la mappa dei pozzi EGP di produzione e reiniezione per le aree di Larderello e M. Amiata. Le variazioni dell'estrazione dei liquidi a Rio Secco e Larderello sono illustrate in Figura 6.3, mentre la Figura 6.4 mostra i volumi dei liquidi reiniettati nei 39 degli 87 pozzi a disposizione nelle aree di Larderello, Travale, Lustignano, Riosecco, Piancastagnaio e Bagnore. Il periodo di riferimento è 01.01.2022 - 31.05.2025.

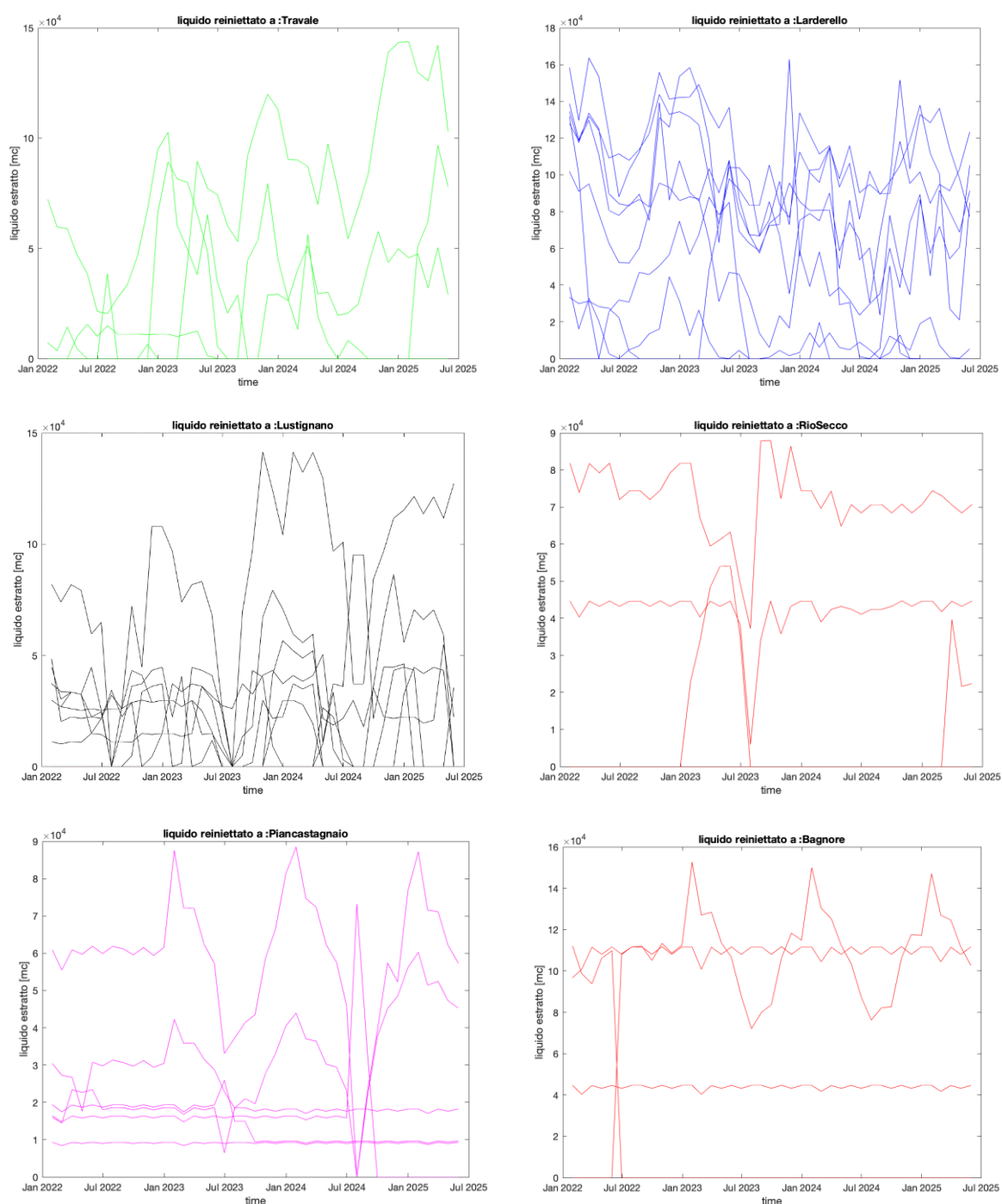


Figura 6.4. Variazioni dei volumi di liquido reiniettato da EGP nel periodo 01.01.2022 - 31.05.2025.

7 Divulgazione risultati

7.1 Pagina Web del CMS

Dovuto al fatto che il Monitoraggio di alcune concessioni è passato dalla fase di Sperimentazione all'Applicazione, il sito WEB del CMS è stato riorganizzato, trovandosi ora al nuovo indirizzo:

(<http://cms.bo.ingv.it/sperimentazioni/geotermia-toscana>)

Nella sezione "Geotermia Toscana" del sito web del CMS viene pubblicata tutta la documentazione ufficiale e i report relativi alle attività geotermiche della regione. Questa sezione rappresenta una risorsa fondamentale per accedere a informazioni aggiornate e dettagliate, offrendo trasparenza e facilità di consultazione a tutti gli interessati. I documenti disponibili includono studi tecnici, rapporti ambientali, dati di monitoraggio e analisi di performance, garantendo un quadro completo delle iniziative e degli sviluppi in ambito geotermico.

Figura 7.1. Sezione Geotermia Toscana del sito web del CMS



Geotermia Toscana

Documenti

Atti

Monitoraggio sismico

Relazioni

Archivio

Informazioni aggiuntive

Questa pagina raccoglie i riferimenti documentali relativi all'accordo con il titolo:

ACCORDO DI COLLABORAZIONE SCIENTIFICA TRA LA REGIONE TOSCANA E L'ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA PER "COSTITUZIONE DI UN SISTEMA DI MONITORAGGIO SISMICO INTEGRATO DELLE AREE GEOTERMICHE TOSCANE".

Il "Programma delle attività" è stato suddiviso nei seguenti obiettivi:

- Attività propedeutiche alla costituzione della rete sismica (definizione dei domini di monitoraggio, schema di scenari di rete sismica integrata, simulazione di capacità di detezione, ricerca siti nelle aree geotermiche toscane di Larderello e del Monte Amiata);
- Definizione di protocolli omogenei di definizione e condivisione dei dati sismici provenienti dai differenti concessionari e relativa valutazione della qualità del dato;
- Acquisizione in tempo reale dei segnali sismici presso i laboratori del Centro di Monitoraggio del Sottosuolo dell'INGV di Bologna e condivisione con la Regione Toscana dei dati sismici;
- Monitoraggio e analisi dati: analisi dati sismici di dettaglio, monitoraggio secondo le ILG (calcolo Localizzazione PGV, ML), reperibilità, compilazione report scientifico in caso di evento significativo nelle aree monitorate;
- Coordinamento delle attività di installazione delle stazioni sismiche finanziate dai Concessionari ed eventuale installazione di postazioni sismiche integrative;
- Supporto tecnico-scientifico alla Regione Toscana, nell'ambito dei processi decisionali connessi con le attività di monitoraggio sismico.

7.2 Sistema di Messaggistica

Come accennato in §5.3 l'avvio del sistema di messaggistica automatica andrà in parallelo con l'avvio imminente del Monitoraggio Automatico (AMSG). Per un breve riassunto del funzionamento della procedura di AMSG si richiama la descrizione riportata nel §6 del precedente report (Braun et al., 2024a): il sistema di messaggistica automatica (AMSG) è installato su un server di pubblicazione e diffusione modulare ed espandibile. Esso utilizza una tecnologia di plug-in per importazione di parametri sismici calcolati (ipocentro, Magnitudo, PGA, PGV) da diverse fonti, assegnazione delle informazioni relativa ad eventi sismici rilevati, disseminazione dei messaggi basati su templates attraverso vari canali di comunicazione.

L'AMSG completa la funzionalità del sistema di acquisizione e processing nel dominio della diffusione di notifiche e avvisi e mette a disposizione "un'interfaccia utente" basata sul Web con opzioni di filtro dettagliate, permettendo la creazione di bollettini personalizzabili che includono i canali di comunicazione, tra cui SMS, email, fax, social media e Web, e utilizza una tecnologia plug-in per importare soluzioni sismiche dal sistema di processing e acquisizione e dispone di una funzionalità di log dettagliata che include cambiamenti di configurazione, abbonati notificati e bollettini diffusi, nonché di un controllo di accesso granulare con diversi ruoli e privilegi. La diffusione delle informazioni può avvenire automaticamente o manualmente. Il sistema è modulare ed espandibile, consentendo l'accesso alle informazioni sugli eventi in tempo reale e dall'archivio.

L'adozione del sistema di messaggistica garantisce una diffusione tempestiva e affidabile delle informazioni sui terremoti attraverso molteplici canali di comunicazione, migliorando significativamente la capacità di risposta e allerta. La sua modularità ed espandibilità permettono un'integrazione fluida con il sistema di processing e acquisizione, offrendo una soluzione completa e personalizzabile per le esigenze di monitoraggio sismico e diffusione degli avvisi (Gempa, 2024)

8 Conclusioni e raccomandazioni

La presente "Relazione Tecnica Annuale n. 8" relativa alle attività previste nell'Accordo di Collaborazione Scientifica tra Regione Toscana e INGV presenta un aggiornamento dettagliato delle attività di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane, svolte tra luglio 2024 e giugno 2025.

Ecco un riassunto sintetico dei contenuti principali:

Gli obiettivi principali definiti nell'accordo si articolano in tre attività:

- (i) Il miglioramento della rete sismica presente nelle aree geotermiche di Larderello-Travale e Monte Amiata.
- (ii) La realizzazione del sistema di monitoraggio
- (iii) Il supporto tecnico-scientifico alla Regione Toscana.

(i) RETE SISMICA:

La rete sismica integrata coinvolge attualmente tre reti (§2): IV (nazionale), EL (EGP) e MALArray (array installato a Montalcino). Ha iniziato la fase dell'installazione di nuove stazioni destinata ad infittire l'attuale rete sismica regionale in Toscana, come ad Abbadia San Salvatore, Castagneto Carducci, Gavorrano e Ripa di Olmo (AR). Sono stati individuati nuovi siti per future stazioni (es. Serre di Rapolano, Montignoso, Campagnatico/Paganico). Inoltre sono stati fatti vari interventi di manutenzione relativi a problemi tecnici di trasmissione dati, alimentazione e installazione di sensori.

(ii) SISTEMA DI MONITORAGGIO:

Nonostante molteplici controlli dei parametri di stazione e delle loro impostazioni tecniche deve essere considerata ancora in corso la validazione finale degli station.xml (§2.4).

Il flusso di dati dalle stazioni registranti verso CAD-BO è stato modificato (§3.1):

- i due datastream precedenti della rete EL sono stati unificati e deviati passando dal server della sala sismica a Roma;
- tutti i dati provenienti della rete EL sono "non-public";
- per quanto riguarda il flusso dei dati provenienti da MALArray, attualmente il server RemoNet è interrotto e deve essere sostituito;
- per controllo di qualità sono stati calcolati i PSD delle reti EL e IV (RSN, MALA) (§3.2).

Per quanto riguarda il modello di velocità sono stati sviluppati e condivisi modelli di velocità 1D per Amiata e Larderello sono state raccolte le info necessarie per iniziare a definire un modello 3D, da utilizzare con il codice **NonLinLoc** per localizzazioni ipocentrali più accurate (§4).

Sono stati estratti dal bollettino sismico dell'INGV gli eventi sismici localizzati all'interno dei Domini di Rilevazione DR_LARD, DR_AMIA. Nessuno degli eventi nel DR_AMIA e 6 eventi del DR_LARD hanno superato la soglia "verde/gialla" di $M \geq 2.0$, entrando nel livello di attenzione (§5.1).

(iii) SUPPORTO TECNICO-SCIENTIFICO alla Regione Toscana:

Sulla base dei file di produzione e reiniezione, trasmessi da EGP sono state avviate le procedure per il controllo delle attività di estrazione/reiniezione dei liquidi nei singoli pozzi e del consumo di vapore alle 36 centrali (§6)

È stato aggiornato il piano di attività (§5.3). Tra le caselle da spuntare si evidenzia uno che non è di competenza della SPM, cioè, la definizione del sistema decisionale (proposto $\Rightarrow$ §7.3 del Report n°5, Braun et al., 2023).

Appendice A: sismicità locale rilevata nel periodo 06/24-06/25

Nr	Data Orario (UTC)	Latitude	Longitude	Prof.	ML	Epicentro (Provincia)	LDR	ADR
1	2024-06-26T21:25:06.720000	43.04630	11.56600	9.3	0.8	4 km W San Quirico d'Orcia (SI)	0	0
2	2024-07-02T23:35:51.700000	43.13520	11.02500	7.6	0.5	1 km NE Montieri (GR)	1	0
3	2024-07-06T06:30:21.810000	42.84870	11.68630	5	0.9	1 km W Piancastagnaio (SI)	0	1
4	2024-07-14T19:19:05.250000	43.17180	11.03320	7.9	1.2	5 km N Montieri (GR)	1	0
5	2024-07-17T17:55:40.000340	42.74683	11.85017	11	0.8	1 km W Acquapendente (VT)	0	0
6	2024-07-21T05:13:28.450000	43.27850	11.45600	2.2	1.8	6 km NE Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
7	2024-07-23T11:08:36.990000	43.13820	11.02670	8.2	1.1	1 km NE Montieri (GR)	0	0
8	2024-07-23T19:40:25.690000	43.26720	11.40850	9.5	2.2	4 km N Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
9	2024-07-23T19:45:26.990000	43.28580	11.42450	10	1.6	6 km N Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
10	2024-07-26T00:30:20.290000	43.03830	11.57950	9.2	1.2	3 km SW San Quirico d'Orcia (SI)	0	0
11	2024-07-26T23:23:16.360000	42.87670	11.74430	7.5	1.2	3 km SW Radicofani (SI)	0	1
12	2024-07-29T05:05:08.170000	43.16270	11.13130	7	1.1	4 km E Chiusdino (SI)	1	0
13	2024-08-06T01:56:01.210000	43.20000	11.02700	5.4	1.6	7 km S Radicondoli (SI)	1	0
14	2024-08-08T06:54:22.520000	42.41820	11.70500	9.4	3.0	6 km SW Canino (VT)	0	0
15	2024-08-09T13:15:05.780000	42.41350	11.68570	9	1.3	8 km SW Canino (VT)	0	0
16	2024-08-18T06:29:41.030000	43.23650	10.84750	11	1.0	6 km NW Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	0	0
17	2024-08-21T09:36:12.340000	43.19680	12.26730	5.3	1.0	8 km N Corciano (PG)	0	0
18	2024-08-23T09:07:31.510000	43.13530	11.02650	9.1	2.0	1 km E Montieri (GR)	0	0
19	2024-08-23T09:12:13.080000	43.23970	10.95170	4.9	2.3	5 km NE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
20	2024-08-30T13:15:31.960000	43.49620	11.18530	7.6	1.6	4 km NE Poggibonsi (SI)	0	0
21	2024-09-03T17:06:10.100000	43.03200	11.39430	5.8	1.6	9 km W Montalcino (SI)	0	0
22	2024-09-11T09:56:26.980000	43.12230	11.04030	11	1.2	2 km E Montieri (GR)	0	0
23	2024-09-15T02:48:28.330000	43.18130	11.10670	8.8	1.3	3 km NE Chiusdino (SI)	0	0
24	2024-09-19T08:55:45.000000	43.32050	12.17350	6.8	0.4	9 km N Lisciano Niccone (PG)	0	0
25	2024-09-19T09:36:50.990000	43.32330	12.17270	9.2	1.2	9 km N Lisciano Niccone (PG)	0	0
26	2024-10-05T00:38:44.770000	43.52770	11.27530	9	1.5	6 km N Castellina in Chianti (SI)	0	0
27	2024-10-08T01:59:02.970000	43.13050	11.03080	10	0.9	1 km E Montieri (GR)	0	0
28	2024-10-10T08:42:52.560000	43.13430	11.02130	10	1.6	Montieri (GR)	0	0
29	2024-10-11T18:59:29.250000	43.17050	11.05420	9.6	1.4	3 km W Chiusdino (SI)	0	0
30	2024-10-11T18:59:59.760000	43.17480	11.05720	9.2	1.0	3 km NW Chiusdino (SI)	0	0
31	2024-10-11T19:01:56.960000	43.17650	11.05320	9.2	1.4	4 km NW Chiusdino (SI)	0	0
32	2024-10-11T19:04:15.500000	43.17350	11.04320	9.5	1.6	4 km W Chiusdino (SI)	0	0
33	2024-10-11T19:13:28.430000	43.17350	11.05530	9.7	0.9	3 km NW Chiusdino (SI)	0	0
34	2024-10-11T19:16:56.380000	43.18050	11.04370	10	0.5	5 km NW Chiusdino (SI)	0	0
35	2024-10-11T19:24:52.800000	43.16600	11.05420	8	0.8	3 km W Chiusdino (SI)	1	0
36	2024-10-11T19:29:07.560000	43.16930	11.05450	9.9	1.2	3 km W Chiusdino (SI)	0	0
37	2024-10-11T20:00:02.920000	43.17570	11.04680	11	0.8	4 km NW Chiusdino (SI)	0	0
38	2024-10-11T20:16:19.730000	43.18030	11.04380	7.8	0.4	5 km NW Chiusdino (SI)	1	0
39	2024-10-11T20:59:12.970000	43.20000	11.02630	6	0.5	7 km S Radicondoli (SI)	1	0
40	2024-10-11T21:43:53.350000	43.17250	11.05520	10	1.0	3 km NW Chiusdino (SI)	0	0
41	2024-10-12T00:51:26.670000	43.17270	11.05380	10	1.4	3 km NW Chiusdino (SI)	0	0
42	2024-10-13T08:09:15.940000	43.17770	11.04580	10	1.2	4 km NW Chiusdino (SI)	0	0
43	2024-10-14T19:22:13.140000	43.21720	11.42720	11	1.0	2 km S Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
44	2024-10-16T10:03:08.440000	43.16500	11.03850	6.3	1.1	4 km NE Montieri (GR)	1	0
45	2024-10-18T07:27:03.030000	43.09920	10.84480	8.4	1.7	5 km S Monterotondo Marittimo (GR)	0	0
46	2024-10-23T02:56:54.540000	43.15820	10.83850	10	1.2	2 km NW Monterotondo Marittimo (GR)	0	0
47	2024-10-28T12:12:26.150000	43.35050	11.34130	8.7	1.2	4 km N Siena (SI)	0	0
48	2024-10-30T05:28:15.820000	43.43520	10.98080	7	1.8	6 km SW San Gimignano (SI)	0	0
49	2024-11-01T00:06:00.000000	43.27350	10.82500	8.8	1.1	5 km SW Pomarance (PI)	0	0
50	2024-11-03T07:51:11.880000	43.21320	11.01980	8.9	1.2	6 km SW Radicondoli (SI)	0	0
51	2024-11-04T12:39:38.590000	42.80220	11.21470	7.6	0.9	9 km E Grosseto (GR)	0	0
52	2024-11-06T11:28:52.490000	43.10450	10.81530	8.9	1.4	6 km SW Monterotondo Marittimo (GR)	0	0
53	2024-11-06T22:16:37.400000	43.15050	10.83730	7.5	1.4	2 km W Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
54	2024-11-06T22:36:58.530000	43.25430	10.94120	8.9	0.5	6 km NE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	0	0
55	2024-11-08T01:25:03.930000	43.45950	10.97130	10	1.4	6 km W San Gimignano (SI)	0	0
56	2024-11-11T06:35:32.670000	43.13020	11.00030	10	1.8	1 km W Montieri (GR)	0	0
57	2024-11-12T00:21:44.070000	43.13330	11.01450	10	2.0	Montieri (GR)	0	0
58	2024-11-14T17:15:20.950000	43.13220	11.02770	9.9	1.5	1 km E Montieri (GR)	0	0
59	2024-11-15T18:55:54.750000	43.13820	11.01200	11	1.3	1 km NW Montieri (GR)	0	0

Nr	Data Orario (UTC)	Latitude	Longitude	Prof.	ML	Epicentro (Provincia)	LDR	ADR
60	2024-11-20T22:15:12.210000	43.22520	10.94470	7.6	2.3	4 km NE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
61	2024-11-21T14:40:52.700000	43.24620	10.88120	6.8	1.9	5 km NW Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
62	2024-11-23T01:29:52.330000	43.18280	11.02430	7.4	1.7	6 km N Montieri (GR)	1	0
63	2024-11-28T09:35:32.630000	43.18080	11.01450	7.2	1.4	5 km N Montieri (GR)	1	0
64	2024-11-28T14:55:29.510000	43.50620	10.94650	10	1.4	4 km S Gambassi Terme (FI)	0	0
65	2024-11-30T16:16:21.230000	43.13230	11.02180	10	1.6	Montieri (GR)	0	0
66	2024-11-30T20:17:46.440000	43.18650	11.02570	7.6	0.9	6 km NW Chiusdino (SI)	1	0
67	2024-12-01T12:13:18.430000	43.10900	10.83580	8.6	1.6	5 km SW Monterotondo Marittimo (GR)	0	0
68	2024-12-05T04:13:41.060000	43.27020	11.14870	11	1.4	7 km W Sovicille (SI)	0	0
69	2024-12-06T00:58:37.030000	43.29780	11.35170	10	0.8	3 km SE Siena (SI)	0	0
70	2024-12-06T09:50:19.870000	43.18070	11.06620	8.4	1.0	3 km NW Chiusdino (SI)	0	0
71	2024-12-07T05:19:24.000000	43.30720	11.33830	8.9	1.0	1 km SE Siena (SI)	0	0
72	2024-12-08T02:03:56.260000	43.16420	11.48570	8.8	1.9	3 km N Buonconvento (SI)	0	0
73	2024-12-08T03:00:24.190000	43.16680	11.49450	10	1.3	3 km NE Buonconvento (SI)	0	0
74	2024-12-08T03:12:09.090000	43.16200	11.49420	9	2.0	3 km NE Buonconvento (SI)	0	0
75	2024-12-08T03:47:19.630000	43.17680	11.49680	10	1.3	4 km N Buonconvento (SI)	0	0
76	2024-12-09T03:42:44.460000	43.13320	11.03400	10	1.1	1 km E Montieri (GR)	0	0
77	2024-12-10T21:28:30.890000	43.15270	11.44470	10	1.4	3 km W Buonconvento (SI)	0	0
78	2024-12-10T22:12:38.280000	43.15950	11.52070	9	1.3	4 km NE Buonconvento (SI)	0	0
79	2024-12-11T03:37:35.180000	43.17270	11.51320	1.2	1.6	4 km NE Buonconvento (SI)	0	0
80	2024-12-11T12:55:01.520000	43.29980	11.47580	0.6	1.2	6 km SW Castelnuovo Berardenga (SI)	0	0
81	2024-12-15T07:57:02.070000	42.84530	11.33630	12	1.6	7 km SE Campagnatico (GR)	0	0
82	2024-12-16T12:22:17.370000	43.10730	10.81770	3.9	1.1	5 km SW Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
83	2024-12-18T17:47:02.730000	43.13630	11.04350	10	1.1	2 km E Montieri (GR)	0	0
84	2024-12-18T20:51:20.570000	43.04230	12.27920	11	1.4	10 km S Corciano (PG)	0	0
85	2024-12-29T03:52:04.130000	43.22280	11.00330	8.3	0.9	5 km SW Radicondoli (SI)	0	0
86	2024-12-29T11:35:17.510000	43.22370	10.94430	10	1.1	3 km NE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	0	0
87	2025-01-01T08:32:03.530000	43.16930	11.02370	6.3	1.9	4 km N Montieri (GR)	1	0
88	2025-01-02T08:40:25.850000	43.20470	12.26980	0.5	1.1	8 km N Corciano (PG)	0	0
89	2025-01-08T21:40:16.710000	43.19000	11.02980	12	1.7	6 km NW Chiusdino (SI)	0	0
90	2025-01-09T13:45:50.340000	43.17270	11.02780	6.8	1.1	5 km N Montieri (GR)	1	0
91	2025-01-14T16:52:25.120000	43.12220	10.83500	7.5	1.4	3 km SW Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
92	2025-01-17T21:15:24.270000	43.25550	11.45330	11	1.5	4 km NE Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
93	2025-01-17T23:54:21.990000	43.23330	10.93920	5.9	1.8	4 km NE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
94	2025-01-18T00:11:01.700000	43.22830	10.94930	8.9	2.1	4 km NE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	0	0
95	2025-01-19T15:35:05.400000	43.25380	11.44880	11	1.9	3 km NE Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
96	2025-01-19T15:37:01.110000	43.25670	11.45780	8.7	1.5	4 km NE Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
97	2025-01-19T17:12:47.580000	43.25670	11.46070	11	1.3	4 km NE Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
98	2025-01-20T00:57:45.530000	43.22080	11.03520	2.2	1.9	5 km S Radicondoli (SI)	1	0
99	2025-01-20T01:33:53.020000	43.25500	11.46370	9.5	2.1	4 km NE Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
100	2025-01-20T01:35:14.620000	43.26770	11.45550	11	1.6	5 km NE Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
101	2025-01-27T06:33:47.100000	43.20900	10.88130	7.2	2.6	2 km W Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
102	2025-01-27T23:07:45.380000	43.23170	11.02720	3	2.1	4 km SW Radicondoli (SI)	1	0
103	2025-02-02T03:36:17.730000	43.29780	11.31470	10	0.9	3 km SW Siena (SI)	0	0
104	2025-02-02T05:07:24.710000	43.28800	11.36750	9.8	1.3	4 km SE Siena (SI)	0	0
105	2025-02-02T05:19:31.300000	43.28270	11.37630	9.8	1.5	5 km SE Siena (SI)	0	0
106	2025-02-02T05:21:15.830000	43.28230	11.37430	9.6	1.1	5 km SE Siena (SI)	0	0
107	2025-02-02T05:23:02.300000	43.27120	11.36120	6.7	2.0	6 km SE Siena (SI)	0	0
108	2025-02-02T05:40:16.800000	43.27250	11.36770	10	1.0	6 km SE Siena (SI)	0	0
109	2025-02-02T07:08:50.930000	43.28000	11.35350	10	1.6	5 km SE Siena (SI)	0	0
110	2025-02-02T10:42:29.110000	43.27250	11.34450	9.8	2.0	5 km S Siena (SI)	0	0
111	2025-02-02T10:55:31.750000	43.28420	11.35870	10	1.5	4 km SE Siena (SI)	0	0
112	2025-02-02T12:01:49.280000	43.27370	11.39780	5.2	1.5	5 km NW Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
113	2025-02-02T18:11:54.010000	43.26880	11.38770	3.5	3.1	5 km NW Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
114	2025-02-02T18:13:28.530000	43.27530	11.37050	10	1.1	6 km SE Siena (SI)	0	0
115	2025-02-02T18:13:55.000000	43.27870	11.37170	9.4	1.5	5 km SE Siena (SI)	0	0
116	2025-02-02T18:14:24.080000	43.28250	11.35370	9.9	1.8	4 km SE Siena (SI)	0	0
117	2025-02-02T18:17:49.500000	43.26470	11.37230	6.7	2.3	5 km NW Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
118	2025-02-02T18:19:39.820000	43.27780	11.36730	9	1.3	5 km SE Siena (SI)	0	0
119	2025-02-02T18:20:30.890000	43.29420	11.33420	9.9	1.3	3 km S Siena (SI)	0	0
120	2025-02-02T18:20:59.600000	43.28080	11.38380	7.7	1.1	6 km SE Siena (SI)	0	0
121	2025-02-02T18:22:52.460000	43.28250	11.36430	9.7	1.8	5 km SE Siena (SI)	0	0
122	2025-02-02T18:23:59.820000	43.28350	11.37970	7	1.4	5 km SE Siena (SI)	0	0
123	2025-02-02T18:24:33.560000	43.27570	11.38580	6.8	1.4	6 km NW Monteroni d'Arbia (SI)	0	0

Nr	Data Orario (UTC)	Latitude	Longitude	Prof.	ML	Epicentro (Provincia)	LDR	ADR
124	2025-02-02T18:31:52.460000	43.27670	11.37880	9.3	1.2	6 km SE Siena (SI)	0	0
125	2025-02-02T18:34:28.410000	43.26370	11.37730	6.7	2.5	5 km NW Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
126	2025-02-02T18:58:30.700000	43.28500	11.36070	9.9	1.0	4 km SE Siena (SI)	0	0
127	2025-02-02T19:19:01.860000	43.27900	11.36520	10	1.8	5 km SE Siena (SI)	0	0
128	2025-02-02T19:24:14.120000	43.27280	11.37670	10	1.4	6 km NW Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
129	2025-02-02T19:29:15.910000	43.27320	11.40970	3.5	3.2	5 km N Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
130	2025-02-02T19:32:07.420000	43.28180	11.36430	9.9	1.2	5 km SE Siena (SI)	0	0
131	2025-02-02T19:47:23.200000	43.27320	11.37470	9.6	0.9	6 km NW Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
132	2025-02-02T19:51:41.210000	43.27820	11.37680	10	0.8	6 km SE Siena (SI)	0	0
133	2025-02-02T19:58:18.700000	43.28600	11.35700	9.8	1.6	4 km SE Siena (SI)	0	0
134	2025-02-02T20:09:32.060000	43.27630	11.37580	9.9	0.9	6 km SE Siena (SI)	0	0
135	2025-02-02T21:04:00.500000	43.29070	11.34470	8.5	1.1	3 km SE Siena (SI)	0	0
136	2025-02-02T21:23:18.740000	43.27450	11.37080	8.1	2.2	6 km SE Siena (SI)	0	0
137	2025-02-02T21:43:31.650000	43.27680	11.38770	5.4	1.3	6 km NW Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
138	2025-02-02T22:02:44.830000	43.27780	11.36580	9.9	0.9	5 km SE Siena (SI)	0	0
139	2025-02-02T22:04:41.17.850000	43.28380	11.34720	10	1.6	4 km S Siena (SI)	0	0
140	2025-02-03T03:20:41.210000	43.26930	11.36220	8.2	2.0	6 km SE Siena (SI)	0	0
141	2025-02-03T11:36:50.190000	43.27300	11.36180	9.6	1.8	6 km SE Siena (SI)	0	0
142	2025-02-03T14:28:50.930000	43.27620	11.38220	6.4	0.8	6 km NW Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
143	2025-02-03T21:05:31.460000	43.26850	11.36880	9.5	1.7	6 km NW Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
144	2025-02-03T23:03:49.420000	43.27370	11.35330	9.4	1.9	5 km SE Siena (SI)	0	0
145	2025-02-03T23:07:25.670000	43.27130	11.35520	10	2.1	6 km SE Siena (SI)	0	0
146	2025-02-03T23:07:32.090000	43.27030	11.35800	6.8	2.2	6 km SE Siena (SI)	0	0
147	2025-02-04T00:30:55.440000	43.28080	11.36930	10	1.5	5 km SE Siena (SI)	0	0
148	2025-02-04T10:28:38.090000	43.17270	11.03770	8.2	1.7	5 km W Chiusdino (SI)	0	0
149	2025-02-06T11:28:37.970000	43.26430	11.39080	6.6	3.0	4 km NW Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
150	2025-02-06T14:03:06.820000	43.14480	11.01670	9.9	1.5	1 km N Montieri (GR)	0	0
151	2025-02-06T15:10:58.420000	43.27030	11.39400	1.2	1.8	5 km NW Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
152	2025-02-06T17:43:00.960000	43.26530	11.35450	9.6	1.8	6 km S Siena (SI)	0	0
153	2025-02-07T00:30:01.270000	43.05780	11.28100	10	1.3	7 km N Civitella Paganico (GR)	0	0
154	2025-02-07T00:52:49.640000	43.06720	11.28570	10	0.7	8 km N Civitella Paganico (GR)	0	0
155	2025-02-07T01:21:14.330000	43.26680	11.39200	5.5	1.6	5 km NW Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
156	2025-02-07T17:45:31.100000	43.25280	11.35680	7.9	2.0	6 km W Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
157	2025-02-08T03:09:24.960000	43.27280	11.37950	10	1.1	6 km NW Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
158	2025-02-10T03:45:11.620000	43.12020	10.83180	7.5	1.7	4 km SW Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
159	2025-02-11T00:11:53.840000	42.86220	11.75100	10	0.9	4 km SW Radicofani (SI)	0	0
160	2025-02-11T03:39:42.120000	43.23970	11.47420	5.4	1.3	4 km E Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
161	2025-02-12T04:41:12.110000	43.22150	10.88130	4.6	1.9	3 km NW Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
162	2025-02-13T16:24:47.400000	43.14020	11.02370	9.9	1.6	1 km NE Montieri (GR)	0	0
163	2025-02-16T18:38:28.270000	43.13580	11.02680	10	1.0	1 km NE Montieri (GR)	0	0
164	2025-02-26T19:06:26.860000	43.15070	11.01030	11	1.3	2 km N Montieri (GR)	0	0
165	2025-02-27T07:01:36.450000	43.12370	11.04080	9.1	1.0	2 km E Montieri (GR)	0	0
166	2025-03-06T02:23:24.740000	43.20620	11.03880	9.5	0.9	6 km S Radicondoli (SI)	0	0
167	2025-03-08T20:18:56.120000	43.22280	10.68830	8.1	1.7	5 km NW Monteverdi Marittimo (PI)	0	0
168	2025-03-10T07:50:46.410000	43.27980	11.36830	9.4	0.8	5 km SE Siena (SI)	0	0
169	2025-03-10T11:47:38.010000	43.13680	11.01330	10	1.8	1 km NW Montieri (GR)	0	0
170	2025-03-12T04:54:05.800000	43.22170	11.54880	8.6	1.2	2 km SW Asciano (SI)	0	0
171	2025-03-13T09:15:56.620000	43.22720	10.94730	7.7	1.7	4 km NE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
172	2025-03-13T15:36:02.820000	42.81800	12.24870	7.5	1.5	6 km S San Venzano (TR)	0	0
173	2025-03-14T12:35:02.180000	43.13030	11.02670	10	2.1	1 km E Montieri (GR)	0	0
174	2025-03-18T23:51:49.500000	43.11720	11.06420	8.1	0.9	4 km E Montieri (GR)	0	0
175	2025-03-19T01:01:38.060000	43.11250	11.05930	8.5	2.1	4 km SE Montieri (GR)	0	0
176	2025-03-19T01:02:43.610000	43.10620	11.05420	11	1.5	4 km SE Montieri (GR)	0	0
177	2025-03-19T01:05:34.370000	43.11600	11.06580	9.4	1.4	4 km E Montieri (GR)	0	0
178	2025-03-19T01:15:04.450000	43.11280	11.05770	11	1.4	4 km SE Montieri (GR)	0	0
179	2025-03-19T02:21:07.320000	43.11620	11.05980	10	1.8	4 km E Montieri (GR)	0	0
180	2025-03-19T02:22:52.110000	43.11130	11.05580	11	1.8	4 km SE Montieri (GR)	0	0
181	2025-03-19T02:23:28.200000	43.11920	11.05530	8.2	1.6	3 km E Montieri (GR)	0	0
182	2025-03-20T11:55:42.820000	43.17800	11.01380	4.6	1.3	5 km N Montieri (GR)	1	0
183	2025-03-22T05:19:54.800000	43.10550	10.81620	6.7	1.7	6 km SW Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
184	2025-03-22T08:05:58.500000	43.18070	11.03670	6.6	0.9	5 km NW Chiusdino (SI)	1	0
185	2025-03-22T18:31:43.920000	43.20870	11.04280	6.4	2.1	6 km S Radicondoli (SI)	1	0
186	2025-03-24T08:14:16.560000	43.02680	11.15930	10	1.0	2 km NW Roccastrada (GR)	0	0
187	2025-03-27T13:09:56.970000	43.13480	11.02720	10	1.5	1 km E Montieri (GR)	0	0

Nr	Data Orario (UTC)	Latitude	Longitude	Prof.	ML	Epicentro (Provincia)	LDR	ADR
188	2025-03-31T00:13:44.790000	43.16280	10.79000	7.8	1.5	6 km W Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
189	2025-04-03T10:46:31.600000	42.86150	11.67470	5.2	1.0	2 km NW Piancastagnaio (SI)	0	1
190	2025-04-06T12:13:16.510000	43.13500	11.00450	9.6	0.8	1 km W Montieri (GR)	0	0
191	2025-04-09T01:48:24.350000	43.16170	11.04750	8.5	0.9	3 km W Chiusdino (SI)	0	0
192	2025-04-12T14:58:20.460000	43.12120	11.02030	10	2.3	1 km S Montieri (GR)	0	0
193	2025-04-13T03:59:17.210000	43.27430	11.37280	11	1.0	6 km SE Siena (SI)	0	0
194	2025-04-15T16:57:39.740000	43.17370	11.02450	9.2	1.4	5 km N Montieri (GR)	0	0
195	2025-04-16T08:12:26.090000	42.85120	11.67220	6.1	0.7	2 km W Piancastagnaio (SI)	0	1
196	2025-04-18T04:02:39.280000	43.13480	11.02720	10	1.4	1 km E Montieri (GR)	0	0
197	2025-04-19T10:51:38.480000	43.10970	10.91520	7.3	0.9	6 km SE Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
198	2025-04-19T10:52:26.990000	43.12980	10.91120	8.7	1.3	5 km E Monterotondo Marittimo (GR)	0	0
199	2025-04-19T10:53:00.260000	43.12070	10.91470	9	1.4	6 km SE Monterotondo Marittimo (GR)	0	0
200	2025-04-19T11:57:56.370000	43.13270	10.91270	8.4	1.3	5 km E Monterotondo Marittimo (GR)	0	0
201	2025-04-19T18:10:49.970000	43.10720	10.80770	5.5	1.9	6 km SW Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
202	2025-04-23T01:33:00.990000	43.27870	11.46330	9.2	1.1	6 km NE Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
203	2025-04-23T01:50:00.090000	43.27300	11.44820	11	0.8	5 km NE Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
204	2025-04-23T02:19:08.830000	43.27780	11.47120	6.8	1.4	6 km NE Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
205	2025-04-23T09:09:26.540000	43.26820	11.44770	11	1.5	4 km NE Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
206	2025-04-23T20:38:09.250000	43.13520	11.03330	10	1.1	1 km E Montieri (GR)	0	0
207	2025-04-27T09:20:26.180000	43.22030	11.02070	11	1.0	5 km SW Radicondoli (SI)	0	0
208	2025-04-28T20:01:36.250000	43.15200	11.60470	11	1.3	1 km E San Giovanni d'Asso (SI)	0	0
209	2025-04-30T02:13:39.320000	43.19520	11.01800	7.9	1.6	7 km N Montieri (GR)	1	0
210	2025-05-01T22:01:59.400000	43.13400	11.01430	10	2.0	Montieri (GR)	0	0
211	2025-05-02T15:08:13.630000	43.21520	10.87250	6.9	1.9	3 km W Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
212	2025-05-02T23:11:21.000000	42.91620	11.45280	5.8	1.2	5 km NE Cinigiano (GR)	0	0
213	2025-05-09T09:51:57.690000	43.39920	11.31680	7	1.2	8 km E Monteriggioni (SI)	0	0
214	2025-05-10T15:00:53.630000	43.18680	11.07970	9.7	1.9	4 km N Chiusdino (SI)	0	0
215	2025-05-10T21:30:04.920000	43.17550	11.03880	5.1	1.9	5 km W Chiusdino (SI)	1	0
216	2025-05-11T10:26:36.670000	43.06330	11.28270	10	1.2	8 km N Civitella Paganico (GR)	0	0
217	2025-05-12T04:39:48.920000	43.06350	11.29330	8.8	1.3	8 km N Civitella Paganico (GR)	0	0
218	2025-05-12T05:49:50.980000	43.39830	11.33370	8.5	1.0	9 km N Siena (SI)	0	0
219	2025-05-12T07:39:46.330000	43.12900	11.01480	10	1.6	Montieri (GR)	0	0
220	2025-05-13T05:12:07.080000	43.13620	11.03070	10	1.1	1 km E Montieri (GR)	0	0
221	2025-05-14T18:32:53.900000	43.19180	11.47530	9.6	0.8	6 km N Buonconvento (SI)	0	0
222	2025-05-15T02:15:04.710000	43.13220	11.04330	7.3	1.0	2 km E Montieri (GR)	1	0
223	2025-05-15T22:21:31.300000	43.16630	10.89450	4.9	1.3	4 km NE Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
224	2025-05-15T23:46:02.660000	43.39480	11.31470	8.6	1.1	8 km E Monteriggioni (SI)	0	0
225	2025-05-16T22:05:10.010000	43.17580	10.88270	8.6	1.8	4 km NE Monterotondo Marittimo (GR)	0	0
226	2025-05-17T08:04:40.940000	43.31250	11.24780	5	1.1	4 km NE Sovicille (SI)	0	0
227	2025-05-19T19:44:52.630000	43.24120	10.83480	7.2	1.4	7 km NW Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
228	2025-05-21T14:02:55.580000	43.16220	10.87820	5.4	2.1	2 km NE Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
229	2025-05-22T19:47:03.780000	43.12630	11.00420	9.5	1.3	1 km W Montieri (GR)	0	0
230	2025-05-27T01:23:05.160000	43.23220	10.94200	5.2	1.3	4 km NE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
231	2025-05-30T04:45:20.670000	43.22830	10.75380	9.1	2.0	6 km NE Monteverdi Marittimo (PI)	0	0
232	2025-05-30T06:09:40.700000	43.24080	10.75680	8.9	1.5	8 km NE Monteverdi Marittimo (PI)	0	0
233	2025-05-30T10:51:37.380000	43.34620	11.05580	21	0.6	1 km E Casole d'Elsa (SI)	0	0
234	2025-05-30T21:16:13.260000	43.16870	11.00020	10	1.1	4 km NW Montieri (GR)	0	0
235	2025-06-03T23:15:31.280000	43.26150	10.88030	9.2	1.7	4 km S Pomarance (PI)	0	0
236	2025-06-03T23:18:17.170000	43.26680	10.87700	7.4	1.5	4 km S Pomarance (PI)	1	0
237	2025-06-04T02:25:15.860000	43.10520	10.82180	7.2	1.7	5 km SW Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
238	2025-06-06T19:37:19.770000	43.14750	11.15280	9.8	1.0	2 km W Monticiano (SI)	0	0
239	2025-06-18T21:19:38.090000	43.13650	11.00630	7	0.5	1 km NW Montieri (GR)	1	0

Appendice B: parametri stazioni EGP

Denominazione	ID_Staz	area	Longitudine	Latitudine	quota (m)	tipo sensore	Ch	sens Vs/	tipo digitiz.	Vpp	smp (Hz)
Casa la Serra	CLS	LARD	10.903192	43.232406	690	Sara SS10 - 1Hz	3C	800	SL06	4.0	250
Croce di Prata	CRD	LARD	10.973903	43.099508	820	Sara SS10 - 1Hz	3C	800	SL06	4.0	250
Podere Cerretale	CRR	AMIA	11.764558	42.811936	352	Sara SS10 - 1Hz	3C	800	SL06	4.0	250
Radicofani	FAN	AMIA	11.781389	42.888685	654	Sara SS10 - 1Hz	3C	800	SL06	4.0	250
Frosini	FROS	LARD	11.156220	43.209720	432	NMX Trillium 40s	3C	1500	Gaia IV	16.0	250
Lago	LAG	LARD	10.805566	43.151175	300	Sara SS10 - 1Hz	3C	800	SL06	4.0	250
Magona	MAGO	LARD	10.657926	43.273245	292	Lennartz 3D-5s	3C	800	SL06	4.0	250
Monte Aquilaia	MAQ	AMIA	11.478455	42.855076	1095	Sara SS10 - 1Hz	3C	800	SL06	4.0	250
Monte Civitella	MCIV	AMIA	11.676500	42.778610	790	NMX Trillium 40s	3C	1500	Gaia IV	16.0	250
Monte Labbro	MLB	AMIA	11.529262	42.818809	1090	Sara SS10 - 1Hz	3C	800	SL06	4.0	250
Monte Laterone	MLT	AMIA	11.508436	42.892171	742	Sara SS10 - 1Hz	3C	800	SL06	4.0	250
Montieri	MNT	LARD	11.021112	43.149629	671	Sara SS10 - 1Hz	3C	800	Gaia IV	2.0	250
M. Santa Lucia	MSL	LARD	10.942079	43.223009	561	Sara SS10 - 1Hz	3C	800	SL06	4.0	250
Pomarance	POM	LARD	10.908233	43.335015	209	Sara SS10 - 1Hz	3C	800	SL06	4.0	250
Radicondoli	RAD	LARD	11.075415	43.253514	501	Sara SS10 - 1Hz	3C	800	SL06	4.0	250
Trifonti	TRIF	LARD	10.902650	43.114780	605	NMX Trillium 40s	3C	1500	Gaia IV	16.0	250
Vado la Lepre	VAL	LARD	10.877527	43.206690	806	Sara SS10 - 1Hz	3C	800	SL06	4.0	250

Appendice C: modelli di velocità 1D M. Amiata e Larderello

Amiata	
Depth (km)	Velocity (Vp in km/s)
-1,00	2.80
0.00	3.20
0.30	5.50
0.50	5.80
0.80	5.80
1.00	5.20
5.50	6.20
24.00	7.80

Larderello	
Depth (km)	Velocity (Vp in km/s)
-1,00	2.80
0.00	3.30
0.40	5.10
4.00	6.20
15.00	7.00
24.00	8.00

Glossario

ACS:	Accordo di Collaborazione Scientifica
CAD-BO:	Centro Acquisizione Dati - Bologna
CMS:	Centro di Monitoraggio per le attività di Sottosuolo
DR:	Dominio di Rilevamento
DR_AMIA:	Dominio di Rilevamento Amiata
DR_LARD:	Dominio di Rilevamento Larderello
EGP:	<i>Enel Green Power</i>
EIDA:	European Integrated Data Archive
EL:	Codice rete EGP (FDSN)
FDSN:	Federal Digital Seismic Network
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
IV:	Sigla rete RSN
LGEO:	Linee Guida per l'utilizzazione della risorsa geotermica a media ed alta entalpia
MASE:	Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica
M _L :	Magnitudo locale
ONT:	Osservatorio Nazionale Terremoti (INGV)
PGA:	Peak Ground Acceleration
PGV:	Peak Ground Velocity
PSD:	Power Spectral Density
RT:	Regione Toscana
RSI:	Rete Sismica Integrata
RSN:	Rete Sismica Nazionale (INGV)
SPM:	Struttura Preposta al Monitoraggio
TLS:	Traffic Light System - Sistema a semaforo

Bibliografia

- Bagagli M, Kissling E., Piccinini D. & Saccorotti G. (2020). Local earthquake tomography of the Larderello-Travale geothermal field. *Geothermics* 83, 10173. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.101731>
- Braun T, Piccinini D., Fiordelisi A., Donati C., Spinelli E., Ferri V., Ibs-von Seht M., Oye V., Roth M., Schweitzer J. (2004): Outline of a joint research project by {ENEL-INGV for the study of the microseismicity in the Larderello geothermal area} , Atti 23. Convegno G.N.G.T.S., 14.-16.Dec. 2004, Roma/Italy
- Braun T., Schmidt B., Wassermann J., (2023). Esempi nel mondo di sismicità indotta dalla produzione geotermica: considerazioni e proposte di monitoraggio sismico. *Quad. Geofis.*, 187: 1-42, <https://doi.org/10.13127/qdg/187>.
- Braun T., Famiani D., Errico M., Govoni A., Caciagli M. e Zerbinato G., (2024a): Prosecuzione del monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane. Report n° 7. Relazione tecnica annuale. 63pp.
- Braun T., Bidini C., Govoni A. (2024b): L'esplosione all'interno di uno stabilimento industriale a San Zeno (AR), 20/11/2024 <https://ingvterremoti.com/2024/12/10/lesplosione-allinterno-di-stabilimento-industriale-a-san-zeno-ar-20-novembre-2024/>
- CMS (2020a). Costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane. T. Braun & A. Morelli: "Relazione di Inizio Attività"; 24/07/2020; 14 pp. http://cms.ingv.it/documenti/20200724_Report_n1_Toscana_Inizio_attivita.pdf.
- CMS (2020b). Costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane. T. Braun, M. Errico, D. Famiani, A. Morelli: "Relazione Tecnica Intermedia"; 30/11/2020; 31 pp. http://cms.ingv.it/documenti/20201130_Report_n2_Toscana_RelazioneTecnica.pdf.
- CMS (2021). Costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane. Braun T., M. Caciagli, M. Errico, A. Morelli e G. Zerbinato G.: "1° relazione tecnica annuale" 30/06/2021; 40 pp. http://cms.ingv.it/documenti/Report_n3_Toscana_last.pdf.
- CMS (2022). Costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane. T. Braun, M. Caciagli, M. Errico, D. Famiani, A. Govoni e G. Zerbinato: "2° relazione tecnica intermedia"; 30/06/2022; 51 pp. http://cms.ingv.it/documenti/Report_n4_Toscana.pdf.
- CMS (2023). Costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane. T. Braun, M. Caciagli, M. Errico, D. Famiani, A. Govoni, R. Maffucci e G. Zerbinato: "relazione tecnica finale"; 23/06/2023; 90 pp. http://cms.ingv.it/documenti/Report_n5_finale.pdf.
- Dialuce G., Chiarabba C., Di Bucci D., Doglioni C., Gasparini P., Lanari R., Priolo E., and Zollo A., (2014). Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche. GdL MISE, Roma. unmig.mise.gov.it/unmig/agenda/upload/85_238.pdf
- Enel (Italy). (2023). Enel Networks monitoring microseismic of Italian geothermal areas [Data set]. International Federation of Digital Seismograph Networks. <https://doi.org/10.7914/rnjt-cn65>

Gempa, (2024). <https://www.gempa.de/products/gds/>

Lahr, J. C., (1989), HYPOELLIPSE/Version 2.0: A computer program for determining local earthquakes hypocentral parameters, magnitude, and first-motion pattern, U.S. Geological Survey Open-File Report 89-116, 92 p.

Lomax A., Virieux J., Volant P., Berge-Thierry C. (2000) Probabilistic Earthquake Location in 3D and Layered Models. In: Thurber C.H., Rabinowitz N. (eds) *Advances in Seismic Event Location. Modern Approaches in Geophysics*, vol 18. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9536-0_5

Peterson (1993): Peterson J. (1993). Observations and modelling of seismic background noise. U.S. Geological Survey, Open-File Report 93-322, 91 pp.

Terlizzese F., (2016). Linee guida per l'utilizzazione della risorsa geotermica a media e alta entalpia. GdL MISE, Roma. http://www.cngeologi.it/wp-content/uploads/2016/10/Linee_guida_geotermia.pdf.

Vanorio T., De Matteis R., Zollo A., Batini F., Fiordelisi A. and Ciulli B. (2004): The deep structure of the Larderello Travale geothermal field from 3D microearthquake traveltime tomography. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L07613.

Elenco delle figure

Figura 2.1. Stazioni della Rete Sismica Integrata: stazioni IV operative (cerchi gialli), stazioni IV in fase di attivazione (cerchi arancio-ri), MALArray (esagono giallo), future stazioni IV (simboli azzurri), stazioni EL (triangoli viola). Domini di monitoraggio (linee verdi).	7
Figura 2.2. Stazione sismica AROB, installata in località Ripa di Olmo, Arezzo (AR).	9
Figura 2.3. Esempio di plot della PSD per monitorare la qualità dei dati registrati dalla stazione AROB.	10
Figura 2.4. Sismogramma della stazione multiparametrica AROB, situata a Ripa di Olmo, in linea d'aria 1680 metri di distanza dall'evento. Il tracciato in basso mostra la registrazione del sensore di pressione, proveniente dall'onda acustica dell'esplosione, che si propaga in atmosfera ad una velocità di 340 m/s (Braun et al., 2024b).	11
Figura 2.5. Carta geologica del settore in località Serre di Rapolano (Foglio 297 - Asciano - CARG - sezione 297120). Il cerchio giallo indica dove sono state effettuate le prove di rumore.	12
Figura 2.6. Foto del locale sotterraneo all'interno dell'edificio della "Grancia" dove sono state effettuate le prove di rumore sismico della stazione temporanea SDR9.	12
Figura 2.7. PSD calcolata per le tre componenti della stazione SDR9 (periodo disponibilità dati 23 h).	13
Figura 2.8. Immagini dei siti dove sono previste prove di rumore. a): nei pressi del cespuglio in primo piano il sito 3a, al tetto della formazione di Burano. Al centro della foto si nota sia l'area depressa, sede di antica estrazione di anidriti e calcari (sito 3b - foto b), che un testimone rialzato, composto dalla stessa formazione, luogo scelto come sito 3c (foto c). d): resti di un'antica chiesa costruita interamente in travertino estratto nell'area nella quale poggiava le sue fondamenta. Il sito 3d è previsto nei suoi dintorni.	14
Figura 2.9. Carta geologica del settore in località Montignoso Vaiano (Foglio 285 - Volterra - CARG - sezione 285110). Le stelle bianche indicano i siti dove sono previste prove di rumore.	14
Figura 2.10. Immagini dei siti dove sono previste prove di rumore. a): nei pressi del cespuglio in primo piano il sito 3a, al tetto della formazione di Burano. Al centro della foto si nota sia l'area depressa, sede di antica estrazione di anidriti e calcari (sito 3b - foto b), che un testimone rialzato, composto dalla stessa formazione, luogo scelto come sito 3c (foto c). d): resti di un'antica chiesa costruita interamente in travertino estratto nell'area nella quale poggiava le sue fondamenta. Il sito 3d è previsto nei suoi dintorni.	15
Figura 2.11. SOH-plot "Ricezione" delle stazioni AROB e MALA, ricevute da RemoNet.	16
Figura 2.12. SOH-plot "Alimentazione" della stazione MALA2, ricevute da RemoNet	17
Figura 2.13. Manutenzione a MALA2: Pulizia della vegetazione e spostamento in alto del pannello solare su apposita struttura di ferro. Foto prima (sx) e dopo (dx) la manutenzione di Dicembre 2024.	17
Figura 2.14. SOH-plot "Ricezione" delle stazioni AROB e MALA, ricevute da RemoNet.	18
Figura 2.15. Schema su cause e proposta di soluzione relativo al problema delle oscillazioni trasmesse sulle componenti orizzontali del sensore a larga banda MALA0 attraverso il cavo di fornitura elettrica.	19
Figura 2.16. Schema generale della "catena strumentale" di registrazione del moto del suolo.	21
Figura 2.17. Funzioni utilizzate nello script elaborato ad hoc con Obspy per preparare i file StationXML al validatore Java.	22

Figura 3.1. Flusso dei dati sismici (a) prima e (b) dopo il 01/01/2025: linea solida: <i>datastream</i> EL (rosso) verso EGP-Pisa e IV (blu) verso INGV-RM; linea tratteggiata: <i>datastream</i> EL (rosso) e IV (blu) verso INGV (RM, BO).	23
Figura 3.2. Risposta del server CMS (al comando <i>slinktool</i>), ubicato presso il CAD-BO, che conferma la corretta ricezione dei <i>datastream</i> EL provenienti dalle aree geotermiche toscane, attraverso i percorsi tratteggiati (fig. 3.1b).	25
Figura 3.3. Esempi dei plot della PSD (canali E [sx], N, [centro] e Z dx) per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni della RSN.	26
Figura 3.4. Esempi dei plot della PSD (canali E [sx], N, [centro] e Z dx) per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni della RSN.	27
Figura 3.5. Esempio di plot della PSD (canali E [sx], N, [centro] e Z dx) per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni dell'array MALA.	28
Figura 3.6. Esempio di plot della PSD (canali E [sx], N, [centro] e Z dx) per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni EGP (EL).	29
Figura 3.7. Esempio di plot della PSD (canali E [sx], N, [centro] e Z dx) per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni EGP (EL).	30
Figura 3.8. Esempio di plot della PSD (canali E [sx], N, [centro] e Z dx) per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni EGP (EL).	31
Figura 4.1. Esempio di modello di velocità 3D per l'area di Larderello su proposta di Vanorio et al. (2004).	32
Figura 4.2. Rappresentazione in mappa delle aree geotermiche toscane Larderello e M. Amiata. La linea rossa indica i relativi domini di monitoraggio; le aree confinate con linee blu raggruppano le stazioni per cui valgono gli stessi modelli di velocità. I numeri fanno riferimento ai valori elencati Figura 4.3.	33
Figura 4.3. Modelli di velocità 1D (onda P) utilizzate da EGP per stazioni differenti: Larderello (sx) e M. Amiata (dx).	34
Figura 4.4. Esempio del calcolo delle isocrone per la stazione CLS (modello Larderello_01 della Figura 4.3) tramite il codice grid2time (Lomax et al., 2000): Sezione distanza-profondità (km) dei tempi di percorrenza teorici (isocrone).	35
Figura 5.1. 239 eventi sismici localizzati dalla RSN nel raggio di 70 km intorno a MALA nell'arco dell'ultimo anno. I domini di rilevamento DR_LARD e DR_AMIA sono rispettivamente rappresentati come aree rosso e blu.	37
Figura 5.2. Rappresentazione 3D della mappa in Figura 4.1. Le crocette nere indicano i 44 + 4 eventi verificatisi negli ultimi 12 mesi all'interno dei domini di rilevamento DR_LARD (rosso) e DR_AMIA (blu).	38
Figura 5.3. Eventi elencati in ordine di ML decrescente, verificatisi nel periodo 01/07/2023 - 25/06/2024 all'interno dei Domini di Riferimento DR_LARD (rosso) e DR_AMIA (blu).	39
Figura 5.4. Confronto tra log AO della magnitudo Richter ML (puntini neri) e l'approssimazione di tale grandezza utilizzata da Lahr (1989) per il calcolo della magnitudo M in Hypoellipse (tratto nero).	41
Figura 6.1. Variazioni del consumo vapore giornaliero per ogni centrale geotermica (fonte EGP)	45
Figura 6.2. Mappa dei pozzi EGP presenti nelle aree geotermiche di Larderello – Travale e Amiata (Braun et al., 2024)	46
Figura 6.3. Variazioni del liquido estratto ai due pozzi EGP di Rio Secco e Larderello.	46
Figura 6.4. Variazioni dei volumi di liquido reiniettato da EGP nel periodo 01.01.2022 - 31.05.2025.	47
Figura 7.1. Sezione Geotermia Toscana del sito web del CMS	48

Elenco delle tabelle

Tabella 2.1. Stazioni della RSN; le stazioni elencate in grassetto indicano l'appartenenza alla rete EL, condivisa con IV; le sigle in corsivo indicano le componenti del MALArray. 8

Tabella 2.2. Stazioni della rete EGP (le stazioni elencate in grassetto indicano l'appartenenza alla rete EL, condivisa con IV). 20