

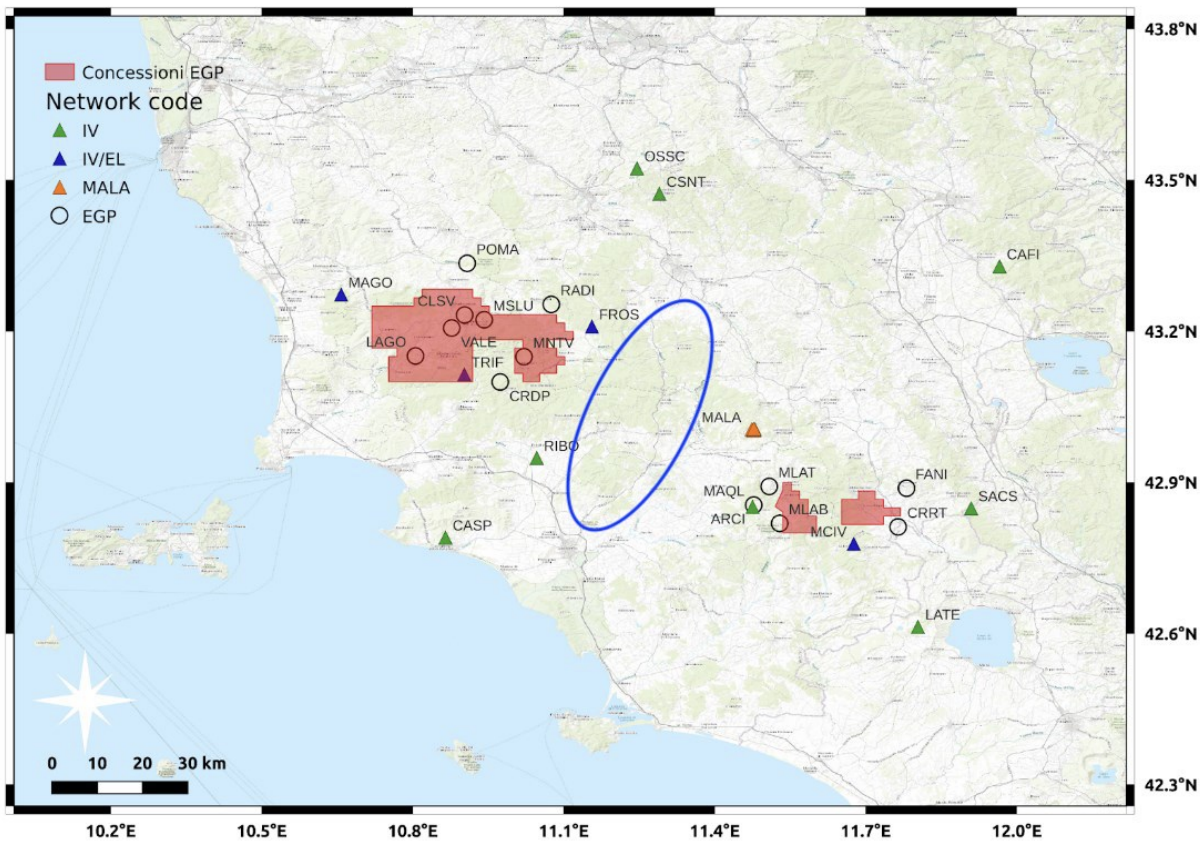
Accordo di Collaborazione Scientifica  
Regione Toscana, INGV

Prosecuzione del monitoraggio sismico integrato delle aree  
geotermiche toscane

Responsabile di Progetto: Thomas Braun

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

Redazione: M. Errico



2024/1



In copertina: Foto mappa rete sismica integrata operativa nelle aree geotermiche toscane.

<b>1</b>	<b>CRONISTORIA ATTIVITÀ</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>STATO DELLA RETE DI SISMICA INTEGRATA NELLE AREE GEOTERMICHE TOSCANE</b>	<b>7</b>
2.1	RETI SISMICHE IV E EGP	8
2.2	MALA - MONTE AMIATA LARDERELLO ARRAY	9
2.3	<i>STATION.XML</i>	11
<b>3</b>	<b>TRASMISSIONE E ARCHIVIAZIONE DATI</b>	<b>13</b>
3.1	DATI IV (RSN - DA SALA SISMICA)	14
3.1.1	Connettività alla rete IV	14
3.1.2	Qualità dei dati sismici della rete IV (PSD)	14
3.2	DATI MALA	17
3.2.1	Connettività alla rete MALA	17
3.2.2	Qualità dei dati sismici della rete MALA (PSD)	18
3.2.3	Esempi di eventi sismici registrati	20
3.3	DATI EGP (RETE EL/IV)	25
3.3.1	Connettività alla rete EGP	25
3.3.2	Qualità dei dati sismici della rete EL (PSD)	28
3.3.3	Cronistoria ricezione flusso dati	30
3.4	ARCHIVIAZIONE DEI DATI A CAD-BO	31
<b>4</b>	<b>PARAMETRI PER MONITORAGGIO SISMICO IN TEMPO REALE</b>	<b>32</b>
4.1	DEFINIZIONE DOMINI DI MONITORAGGIO	34
4.2	MODELLI DI VELOCITÀ	38
4.3	CALCOLO DELLA MAGNITUDO LOCALE $M_L$	39
4.4	<i>PLAYBACK</i> DATI PREGRESSI	41
<b>5</b>	<b>BOLLETTINO SISMICO 2023/2024</b>	<b>43</b>
5.1	BOLLETTINO IV	43
5.2	ESEMPIO BOLLETTINO CMS	46
<b>6</b>	<b>DIVULGAZIONE RISULTATI</b>	<b>48</b>
6.1	SISTEMA DI MESSAGGISTICA	48
6.2	PAGINA WEB	49
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI</b>	<b>50</b>
	APPENDICE A	52
	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.7)

Thomas Braun<sup>1,2</sup>, Daniela Famiani<sup>2</sup>, Maddalena Errico<sup>3</sup>, Aladino Govoni<sup>4</sup>, Marco Caciagli<sup>1,3</sup>, Giampaolo Zerbinato<sup>3</sup>

<sup>1</sup> INGV, Osservatorio Sismologico Arezzo Italia;

<sup>2</sup> INGV, Sezione di Roma 1, Italia;

<sup>3</sup> INGV, Sezione di Bologna, Italia;

<sup>4</sup> INGV, Osservatorio Nazionale Terremoti, Roma, Italia.

30/06/2024

Redazione: M. Errico

Responsabile di Progetto: T. Braun

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 del Sottosuolo dell'INGV di Bologna e condivisione con la Regione Toscana dei dati sismici;
- monitoraggio e analisi dati sismici di dettaglio, monitoraggio secondo le ILG (calcolo Localizzazione PGV,  $M_L$ ), 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.

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.

Nell'ambito di un "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" l'EGP trasmette i Dati di produzione dei volumi di liquido estratto e reiniettato per i pozzi autorizzati e della quantità di vapore in ingresso ai gruppi di produzione.

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.

Il presente rapporto è denominato "Relazione tecnica annuale, n.7", proseguendo cronologicamente la numerazione, ai fini di sottolineare la continuità delle attività di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane, riassume le attività svolte durante il primo anno di attività.

## 2 Stato della rete di sismica integrata nelle aree geotermiche toscane

L'INGV, incaricato come Struttura Preposta al Monitoraggio (SPM) per il monitoraggio sismico delle aree geotermiche toscane, basa le proprie attività sulle seguenti reti sismiche:

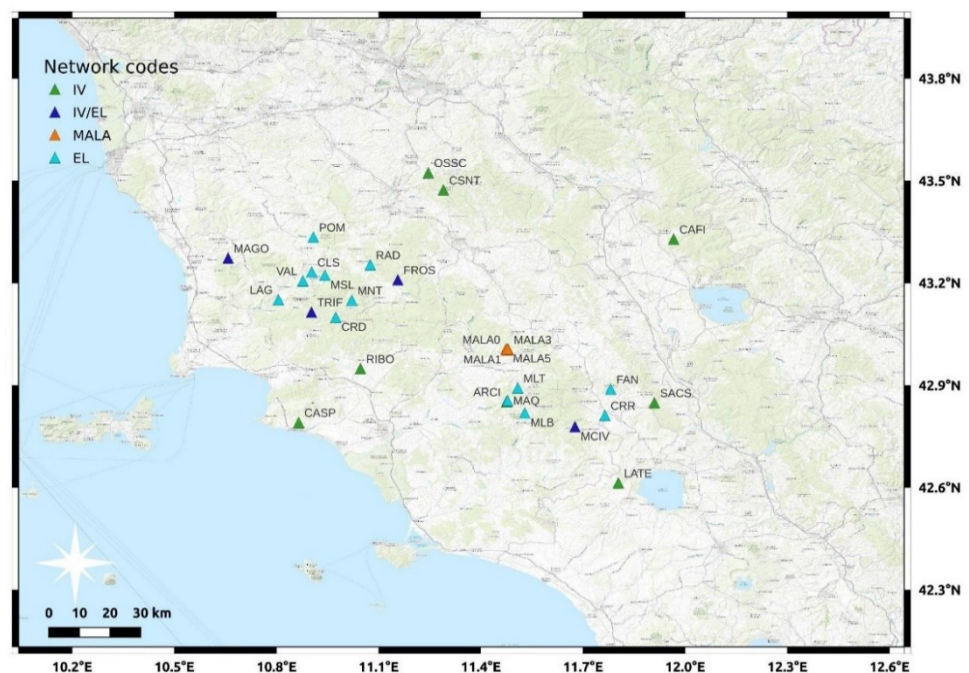
**Rete Sismica Nazionale (RSN):** L'INGV gestisce una rete di monitoraggio sismica a livello nazionale (codice rete IV in Tabella 2.1), i dati provenienti dalle stazioni ubicate in un'area con raggio massimo di 100 km, confluiscono nelle analisi della SPM.

**Monte Amiata - Larderello Array (MALA):** Nell'ambito di un Accordo di Collaborazione Scientifica (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.

**Rete sismica Enel Green Power (EGP):** EGP, come in futuro anche ogni nuovo operatore geotermico, condivide i propri dati confidenziali con la SPM, consentendo l'accesso ai *data-stream* provenienti dalle stazioni EGP (codice rete EL in Tabella 2.1) che soddisfano i parametri tecnici definiti negli ILG (Dialuce et al. 2014; Braun et al., 2020) e le Linee Guida per l'utilizzo della risorsa geotermica a media ed alta entalpia (LGEO, Terlizzese, 2016; Braun et al., 2020).

La Figura 2.1 mostra in mappa le stazioni dell'*array* MALA e delle reti sismiche dell'INGV (IV) e EGP (EL).

Figura 2.1. Mappa della rete integrata di monitoraggio sismico delle aree geotermiche toscane.



## 2.1 Reti sismiche IV e EGP

Come descritto nelle relazioni del precedente ACS (CMS, 2022, 2023) la rete sismica per il monitoraggio sismico delle aree geotermiche toscane è costituita dalle reti dell'EGP (EL/IV), della RSN e di MALA (IV). La Tabella 2.1 e la Figura 2.1 riportano le stazioni IV (blu), stazioni EL/IV (blu grassetto), stazioni EL (nero grassetto).

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
CLS	EL	43.2324	10.9032	682	Castelnuovo di Val di Cecina	PI
CRD	EL	43.0995	10.9739	821	Massa Marittima	GR
CRR	EL	42.8119	11.7645	342	Piancastagnaio	PI
CSNT	IV	43.4731	11.2902	636	Castellina in Chianti	SI
FANI	EL	42.8887	11.7814	643	Radicofani	SI
<b>FROS</b>	<b>IV/EL</b>	<b>43.2097</b>	<b>11.1562</b>	<b>432</b>	<b>Frosini</b>	<b>SI</b>
LAG	EL	43.1512	10.8056	305	Monterotondo Marittimo	GR
LATE	IV	42.6137	11.8040	610	Latera	VT
<b>MAGO</b>	<b>IV/EL</b>	<b>43.2732</b>	<b>10.6579</b>	<b>280</b>	<b>Magona</b>	<b>LI</b>
MAQ	EL	42.8553	11.4777	1099	Arcidosso	GR
<b>MCIV</b>	<b>IV/EL</b>	<b>42.7786</b>	<b>11.6765</b>	<b>790</b>	<b>Monte Civitella</b>	<b>GR</b>
MLB	EL	42.8188	11.5293	1084	Arcidosso	GR
MLT	EL	42.8922	11.5084	735	Arcidosso	GR
MNT	EL	43.1496	11.0211	668	Montieri	GR
MSL	EL	43.2230	10.9421	507	Radicondoli	SI
OSSC	IV	43.5236	11.2458	452	Osservatorio del Chianti	FI
POM	EL	43.3350	10.9082	211	Volterra	PI
RAD	EL	43.2535	11.0754	502	Radicondoli	SI
RIBO	IV	42.9490	11.0465	50	Ribolla	GR
SACS	IV	42.8491	11.9097	845	San Casciano dei Bagni	SI
<b>TRIF</b>	<b>IV/EL</b>	<b>43.1148</b>	<b>10.9026</b>	<b>596</b>	<b>Trifonti</b>	<b>GR</b>
VAL	EL	43.2067	10.8775	803	Castelnuovo Val di Cecina	PI

Tabella 2.1. Stazioni della rete sismica integrata.



## 2.2 MALA - Monte Amiata Larderello Array

Come descritto nei report precedenti (CMS 2022, 2023) il sistema di monitoraggio MALA è composto da 6 elementi distribuiti all'interno di un'area di 400 m \* 600 m.

Stazione1	Stazione2	Distanza (km)
MALA1	MALA2	0.11
MALA4	MALA5	0.16
MALA3	MALA4	0.19
MALA1	MALA4	0.2
MALA2	MALA4	0.23
MALA2	MALA3	0.23
MALA3	MALA5	0.25
MALA1	MALA3	0.29
MALA0	MALA4	0.32
MALA0	MALA1	0.33
MALA1	MALA5	0.36
MALA0	MALA5	0.37
MALA2	MALA5	0.38
MALA0	MALA2	0.43
MALA0	MALA3	0.51

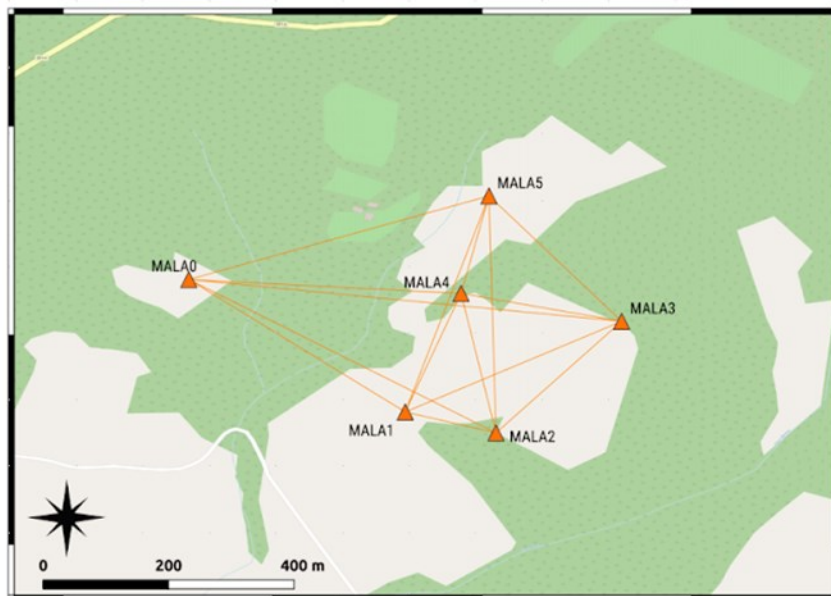


Figura 2.2. Configurazione dell'array MALA (da CMS, 2022)

Dal 16-18 aprile 2024 è stata rinnovata la dotazione strumentale del sistema sismico MALA, operativo dal 2022 nei pressi di Montalcino. Mentre l'installazione originaria era composta da strumentazione resa disponibile dall'Osservatorio di Arezzo (OSCAR), i nuovi acquisitori (Nanometrics Centaur), il sismometro a larga banda e l'accelerometro (Tabella 2.3) sono stati acquistati con i fondi messi a disposizione da RT nell'ambito dell'ACS precedente (CMS, 2023). I sismometri Le3D-5s installati a MALA1-5 (Tabella 2.3) sono stati messi a disposizione dall'OSCAR.

La configurazione geometrica dell'array, le coordinate geografiche dei singoli siti (Tabella 2.2) le modalità di trasmissione sono rimaste invariate rispetto all'installazione originale (vedere §2 di CMS, 2022). La ristrutturazione di MALA, realizzata ad Aprile del 2024 consiste nella sostituzione degli acquisitori e dei sensori sismici (Tabella 2.3).

Come previsto negli obiettivi dell'Accordo di Collaborazione Scientifica tra RT - INGV, i digitalizzatori GAIA-2 sono stati rimpiazzati con il modello Nanometrics Centaur a 6 canali. Alle stazioni MALA1 - MALA5, i sismografi Mark L4-3D sono stati sostituiti con il modello Lennartz Le3D-5s, mentre alla stazione MALA0 è stato installato un sismografo a larga banda (Nanometrics Trillium Horizon 120s), e un accelerometro (Nanometrics Titan) come raccomandato dagli ILG (Dialuce et al., 2014).

Sigla	Rete	Lat [°] N	Long [°] E	Alt [m]	Località	Provincia
MALA0	IV	43.0058	11.4738	441	Montalcino S. Angelo Colle	SI
MALA1	IV	43.0039	11.4769	403	Montalcino S. Angelo Colle	SI
MALA2	IV	43.0036	11.4782	414	Montalcino S. Angelo Colle	SI
MALA3	IV	43.0052	11.4800	445	Montalcino S. Angelo Colle	SI
MALA4	IV	43.0056	11.4777	430	Montalcino S. Angelo Colle	SI
MALA5	IV	43.0070	11.4781	444	Montalcino S. Angelo Colle	SI

Tabella 2.2. Stazioni dell'array MALA.

Sigla	Digitalizzatore al 15/04/2024	Digitalizzatore dal 15/04/2024	Sismografo al 15/04/2024	Sismografo dal 15/04/2024
MALA0	GAIA-2	Centaur 6ch	Mark L4c	Nano Trillium Horizon 120s Nanometrics Titan
MALA1	GAIA-2	Centaur 6ch	Mark L4c	Lennartz Le3D-5s
MALA2	GAIA-2	Centaur 6ch	Mark L4c	Lennartz Le3D-5s
MALA3	GAIA-2	Centaur 6ch	Mark L4c	Lennartz Le3D-5s
MALA4	GAIA-2	Centaur 6ch	Mark L4c	Lennartz Le3D-5s
MALA5	GAIA-2	Centaur 6ch	Mark L4c	Lennartz Le3D-5s

Tabella 2.3. Tipologia di strumentazione dell'array MALA sostituita in data 15 Aprile 2024.



Figura 2.3. Nuova strumentazione alla stazione MALA0 installata in data 15 aprile 2024.



Figura 2.4. Nuova strumentazione alle stazioni MALA1 e MALA3, installate in data 15 aprile 2024.

### 2.3 *station.xml*

Le informazioni sulle stazioni sismiche, come le coordinate geografiche, le caratteristiche tecniche della strumentazione (digitalizzatore, sensore) e dell'acquisizione (*gain*, passo di campionamento), il codice di rete e il periodo di funzionamento vengono archiviate in una specie di *log book*, chiamato *station.xml* che contiene la cronistoria dei metadati (vedere §4). La creazione di tale file è indispensabile per la calibrazione e la corretta interpretazione delle ampiezze dei dati sismici registrati (velocità del moto del suolo in m/s), necessaria per esempio per la stima della magnitudo, il calcolo della PGV o delle PSD (*Power spectral density*).

Per le stazioni gestite dalla RSN (rete IV) gli *station.xml* sono consultabili dal sito <https://terremoti.ingv.it/instruments>. Per quanto concerne l'array MALA, la sensoristica e la scelta dei parametri sono note, in quanto l'installazione della strumentazione nuova è stata realizzata dagli autori del presente report. Per quanto riguarda invece l'integrazione dei dati EGP (rete EL) nel sistema di acquisizione, archiviazione e analisi dati operativa presso il CMS, gli *station.xml* sono stati creati sulla base della strumentazione e dei parametri riportati nella Figura 2.5 e Figura 2.6

	Denominazione	Rete	ID_Staz	Stream	Longitudine	Latitudine	Alt [m]	modello sensore	Ch	sensore [Vs/m]	modello digitalizzatore	smp (Hz)
IV/LARD	Magona	IV	MAGO	HH*	10.65793	43.27325	280	Lennartz 5S	3C	280	SL06	250
IV/LARD	Trifonti	IV	TRIF	HH*	10.90265	43.11478	596	Nanometrics Trillium 40s	3C	596	Gaia-2 16Vpp	250
IV/LARD	Frosini	IV	FROS	HH*	11.15622	43.20972	432	Nanometrics Trillium 40s	3C	432	Gaia-2 16Vpp	250
LARD	Casa la Serra	EL	CLS	DH*	10.90319	43.23241	690	Sara SS10	3C	800	SL06	250
LARD	Croce di Prata	EL	CRD	DH*	10.97390	43.09951	820	Sara SS10	3C	800	SL06	250
LARD	Lago	EL	LAG	DH*	10.80557	43.15118	300	Teledyne Geotech S13	3C	629	Gaia-2	250
LARD	Vado la Lepre	EI	VAL	DH*	10.87753	43.20669	806	Sara SS10	3C	800	SL06	250
LARD	Montieri	EL	MNT	DH*	11.02111	43.14963	671	Sara SS10	3C	800	SL06	250
LARD	M. Santa Lucia	EL	MSL	DH*	10.94208	43.22301	561	Sara SS10	3C	800	SL06	250
LARD	Pomarance	EL	POM	DH*	10.90823	43.33502	209	Teledyne Geotech S13	1C	629	SL06	250
LARD	Radicondoli	EL	RAD	DH*	11.07542	43.25351	501	Teledyne Geotech S13	1C	629	SL06	250
LARD	Cappella dell'Avveduta	EL	CAV(\$)	DH*	10.96045	43.14884	816	Sara SS10	3C	800	SL06	250
IV/AMIA	Monte Civitella	IV	MCIV	HH*	11.67650	42.77861	790	Nanometrics Trillium 40s	3C	790	Gaia-2 16Vpp	250
AMIA	Radicondoli	EL	FAN	DH*	11.78139	42.88869	654	Sara SS10	3C	800	SL06	250
AMIA	Podere Cerretale	EL	CRR	DH*	11.76456	42.81194	352	Sara SS10	3C	800	SL06	250
AMIA	Monte Aquilaia	EL	MAQ	DH*	11.47846	42.85508	1095	Sara SS10	3C	800	SL06	250
AMIA	Monte Labbro	EL	MLB	DH*	11.52926	42.81881	1090	Teledyne Geotech S13	3C	629	SL06	250
AMIA	Monte Laterone	EL	MLT	DH*	11.50844	42.89217	742	Sara SS10	3C	800	SL06	250
AMIA	Saragiolo Nuovo	EL	SAN(\$)	DH*	11.63368	42.82339	903	Sara SS10	3C	800	SL06	250
AMIA	Campo Cane	EL	CCA(\$)	DH*	11.81958	42.81683	358	Teledyne Geotech S13	1C	629	SL06	250
AMIA	Poggio Bellavista	EL	BEL(\$)	DH*	11.71407	42.90434	709	Sara SS10	3C	800	SL06	250

(\$) attualmente ancora non attivo

Figura 2.5. Coordinate, denominazioni, modelli e caratteristiche tecniche dei strumenti della rete sismica di EGP.

SENSITIVITY [counts/(m/s)] = 10 <sup>6</sup> * Seismometer [Vs/m] * Digitizer [counts/ $\mu$ V]				NANOMETRICS TRILLIUM-40S	NANOMETRICS TRILLIUM-120C	LENNARTZ 1E3D-1S	LENNARTZ 1E3D-5S	LENNARTZ 1E3D-20S	GEOTECH S13	GEOTECH S13	GEOTECH S13	GEOTECH S13	SARA SS10 - 1Hz
Amax	Digitizer - LSB	Sensitivity		[V/(m/s)]			[V/(m/s)]			[V/(m/s)]			
[V]pp	[ $\mu$ V/counts]	[counts/V]	[counts/ $\mu$ V]	1500	750	400	400	1000	629	690.75	692	694.1	800
40	2.5000	4.0000E+05	0.4	6.0000E+08	3.0000E+08	1.6000E+08	1.6000E+08	4.0000E+08	2.5160E+08	2.7630E+08	2.7680E+08	2.7764E+08	3.2000E+08
20	1.2500	8.0000E+05	0.8	1.2000E+09	6.0000E+08	3.2000E+08	3.2000E+08	8.0000E+08	5.0320E+08	5.5260E+08	5.5360E+08	5.5528E+08	6.4000E+08
16	1.0000	1.0000E+06	1.0	1.5000E+09	7.5000E+08	4.0000E+08	4.0000E+08	1.0000E+09	6.2900E+08	6.9075E+08	6.9200E+08	6.9410E+08	8.0000E+08
8	0.5000	2.0000E+06	2.0	3.0000E+09	1.5000E+09	8.0000E+08	8.0000E+08	2.0000E+09	1.2580E+09	1.3815E+09	1.3840E+09	1.3882E+09	1.6000E+09
4	0.2500	4.0000E+06	4.0	6.0000E+09	3.0000E+09	1.6000E+09	1.6000E+09	4.0000E+09	2.5160E+09	2.7630E+09	2.7680E+09	2.7764E+09	3.2000E+09
2	0.1250	8.0000E+06	8.0	1.2000E+10	6.0000E+09	3.2000E+09	3.2000E+09	8.0000E+09	5.0320E+09	5.5260E+09	5.5360E+09	5.5528E+09	6.4000E+09
1	0.0625	1.6000E+07	16.0	2.4000E+10	1.2000E+10	6.4000E+09	6.4000E+09	1.6000E+10	1.0064E+10	1.1052E+10	1.1072E+10	1.1106E+10	1.2800E+10
16	NANOMETRICS CENTAUR	1.0000E+06	1.0										
40	2.5000	4.0000E+05	0.4	6.0000E+08	3.0000E+08	1.6000E+08	1.6000E+08	4.0000E+08	2.5160E+08	2.7630E+08	2.7680E+08	2.7764E+08	3.2000E+08
16	1.0000	1.0000E+06	1.0	1.5000E+09	7.5000E+08	4.0000E+08	4.0000E+08	1.0000E+09	6.2900E+08	6.9075E+08	6.9200E+08	6.9410E+08	8.0000E+08
8	0.5000	2.0000E+06	2.0	3.0000E+09	1.5000E+09	8.0000E+08	8.0000E+08	2.0000E+09	1.2580E+09	1.3815E+09	1.3840E+09	1.3882E+09	1.6000E+09
4	0.2500	4.0000E+06	4.0	6.0000E+09	3.0000E+09	1.6000E+09	1.6000E+09	4.0000E+09	2.5160E+09	2.7630E+09	2.7680E+09	2.7764E+09	3.2000E+09
2	0.1250	8.0000E+06	8.0	1.2000E+10	6.0000E+09	3.2000E+09	3.2000E+09	8.0000E+09	5.0320E+09	5.5260E+09	5.5360E+09	5.5528E+09	6.4000E+09
16	NANOMETRICS TRIDENT	1.0000E+06	1.0										
40	3.178922473	3.1457E+05	0.31457	4.7186E+08	2.3593E+08	1.2583E+08	1.2583E+08	3.1457E+08	1.9787E+08	2.1729E+08	2.1768E+08	2.1834E+08	2.5166E+08
20	1.589461236	6.2914E+05	0.62914	9.4372E+08	4.7186E+08	2.5166E+08	2.5166E+08	6.2914E+08	3.9573E+08	4.3458E+08	4.3537E+08	4.3669E+08	5.0332E+08
16	1.271568989	7.8643E+05	0.78643	1.1796E+09	5.8982E+08	3.1457E+08	3.1457E+08	7.8643E+08	4.9466E+08	5.4323E+08	5.4421E+08	5.4586E+08	6.2914E+08
10	0.794730618	1.2583E+06	1.25829	1.8874E+09	9.4372E+08	5.0332E+08	5.0332E+08	1.2583E+09	7.9146E+08	8.6916E+08	8.7074E+08	8.7338E+08	1.0066E+09
8	0.635784495	1.5729E+06	1.57286	2.3593E+09	1.1796E+09	6.2914E+08	6.2914E+08	1.5729E+09	9.8933E+08	1.0865E+09	1.0884E+09	1.0917E+09	1.2583E+09
5	0.397365309	2.5166E+06	2.51658	3.7749E+09	1.8874E+09	1.0066E+09	1.0066E+09	2.5166E+09	1.5829E+09	1.7383E+09	1.7415E+09	1.7468E+09	2.0133E+09
4	0.317892247	3.1457E+06	3.14572	4.7186E+09	2.3593E+09	1.2583E+09	1.2583E+09	3.1457E+09	1.9787E+09	2.1729E+09	2.1768E+09	2.1834E+09	2.5166E+09
2.5	0.198682655	5.0332E+06	5.03315	7.5497E+09	3.7749E+09	2.0133E+09	2.0133E+09	5.0332E+09	3.1659E+09	3.4766E+09	3.4829E+09	3.4935E+09	4.0265E+09
2	0.158946124	6.2914E+06	6.29144	9.4372E+09	4.7186E+09	2.5166E+09	2.5166E+09	6.2914E+09	3.9573E+09	4.3458E+09	4.3537E+09	4.3669E+09	5.0332E+09
0.5	0.039736531	2.51658E+07	25.16576	3.7749E+10	1.8874E+10	1.0066E+10	1.0066E+10	2.5166E+10	1.5829E+10	1.7383E+10	1.7415E+10	1.7468E+10	2.0133E+10
12.58288	INGV GAIA2	1.0000E+06	1.0										
20	1.192092896	8.3886E+05	0.83886	1.0000E+00		3.3554E+08	3.3554E+08	8.3886E+08					6.7109E+08
16	0.953674316	1.0486E+06	1.04858			4.1943E+08	4.1943E+08	1.0486E+09					8.3886E+08
10	0.596046448	1.6777E+06	1.67772			6.7109E+08	6.7109E+08	1.6777E+09					1.3422E+09
16.77722	SARA SL06	1.0000E+06	1.0										

Figura 2.6. Calcolo della SENSITIVITY [counts/ $\mu$ V] per varie combinazioni di acquisitori e sensori sismici.

### 3 Trasmissione e archiviazione dati

Come riportato nel §3 della relazione n.4 del precedente ACS (CMS 2022) *“il dato sismologico viene acquisito mediante uno schema ridondante di due macchine, presso il data center TIER1 (<https://www.cnaf.infn.it/wlwg-tier-1-data-center/>) dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), e mediante un sistema di disaster recovery sito presso il CED della Sezione INGV di Roma, per un totale di 5 macchine, così distribuite: presso TIER1 il CMS ha predisposto 4 macchine virtuali, divise in 2 coppie. Entrambe le coppie sono identiche e sono costituite da una macchina che si occupa di acquisire il dato sismologico. Mentre il compito della seconda macchina è il processamento dei dati in tempo reale. Mediante questa macchina, il CMS effettuerà la revisione delle localizzazioni per mezzo dell'operatore umano. La seconda coppia di macchine serve come riserva nel caso di malfunzionamento o blocco programmato per la manutenzione alla prima coppia. A queste si aggiunge la macchina di disaster recovery situata presso la sede INGV di Roma, la quale unisce in un unico apparato i compiti di acquisizione e processamento del dato sismologico. Questa macchina viene usata nel caso si verifichi l'impossibilità a connettersi alle macchine situate presso TIER1, o per un malfunzionamento congiunto delle stesse. La macchina di disaster recovery viene tenuta pronta e regolarmente mantenuta dal personale del CMS.*

*Quanto sopra descritto viene implementato mediante i seguenti componenti hardware e software:*

*La parte hardware consta di due server fisici con cpu Intel Xeon a 80 core con hyperthreading, e 4 TB di RAM ciascuno. Le 4 macchine sopra elencate sono equipaggiate con 8 core, 20 GB di ram e acquisiscono e processano i dati mediante il software SeisComP con gestore del dato sismologico Caps. L'intero sistema è caratterizzato da:*

- n° 2 Server multiblade Supermicro;
- n° 1 storage array Dell costituito da:
  - n° 2 controller;
  - n° 2 power supplies;
  - n° 2 10GBASE-T con connettività RJ45 per controller;
  - n° 16 hdd da 8TB ciascuno;
  - compatibilità Free/Libre e Open Source Software; Storage Array SCv3000 Dell; continuità Operativa assicurata da assistenza 5dx8h;
  - ridondanza;

- *sostenibilità ambientale, efficienza energetica, costo di smaltimento e riciclaggio garantiti da un approccio Green Computing.*

*La parte software è composta dal pacchetto SeisComP, che svolge le funzioni di:*

- *acquisizione dei datastream dei segnali sismici in tempo reale;*
- *analisi automatica di dati (parametri ipocentrali, Magnitudo) in tempo quasi reale;*
- *rielaborazione manuale: revisione parametri, calcolo meccanismo focale, PGV, PGA;*
- *reportistica.*

*Questo software è distribuito su licenza e supportato da contratto di assistenza casa costruttrice."*

### 3.1 Dati IV (RSN - da sala sismica)

#### 3.1.1 Connettività alla rete IV

Il dato sismografico delle stazioni MALA viene trasmesso dal *server Seedlink* della Sala Sismica al *data center* del CMS attraverso internet. La comunicazione tra i due *data center* è garantita permettendo soltanto all'indirizzo IP del *data center* del CMS di interrogare il *server Seedlink* della Sala Sismica. Questa impostazione è implementata sul *firewall* della Sala Sismica INGV, assicurando che solo le connessioni autorizzate possano accedere ai dati sismici, garantendo così la sicurezza e l'integrità della trasmissione delle informazioni.

#### 3.1.2 Qualità dei dati sismici della rete IV (PSD)

Sono stati calcolati gli spettri di potenza (PSD - *Power Spectral Density*) per le stazioni della rete IV (Figura 3.1), 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) di ciascuna stazione.

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.

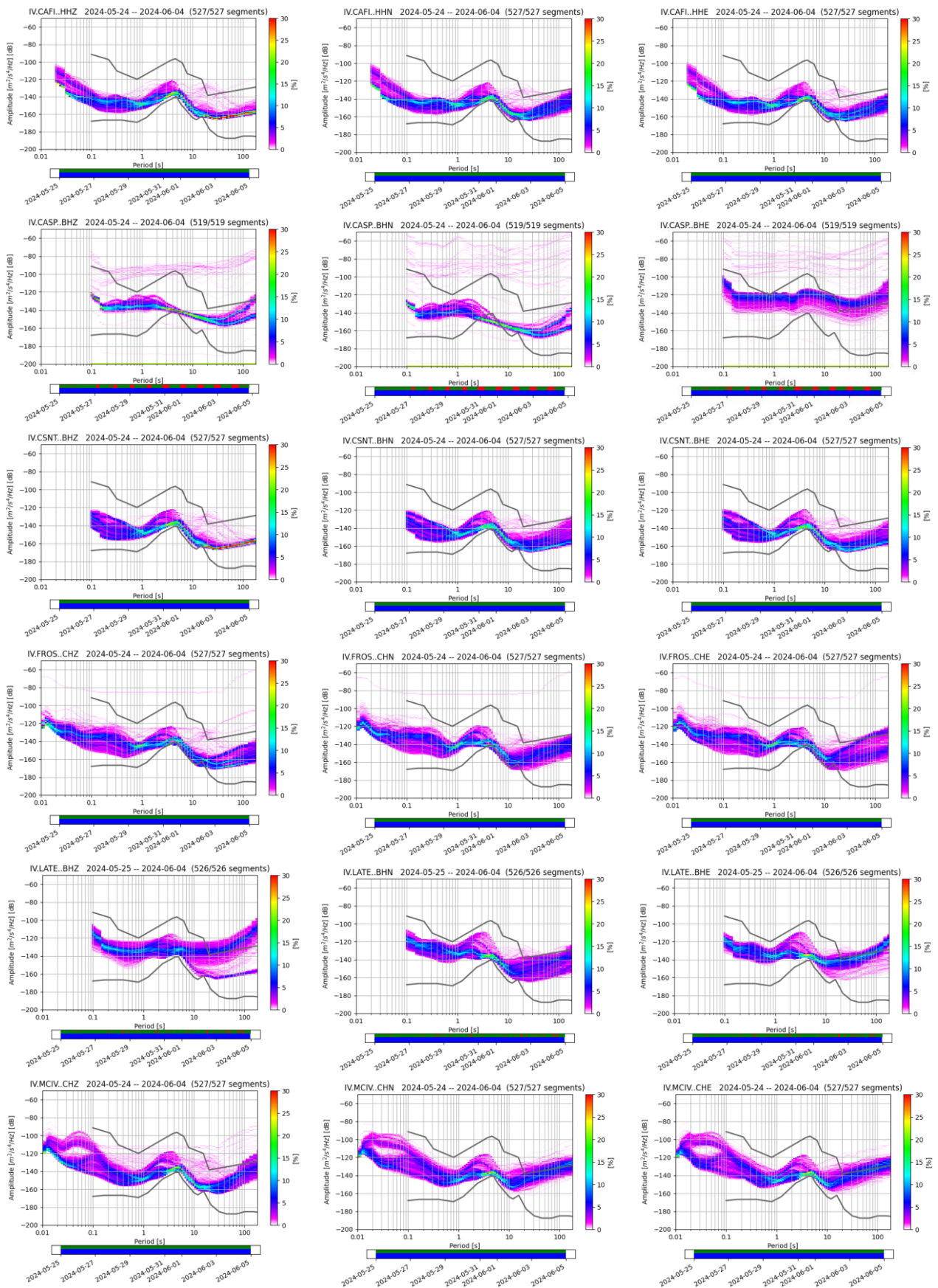


Figura 3.1. Esempi dei plot della PSD per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni della rete IV.

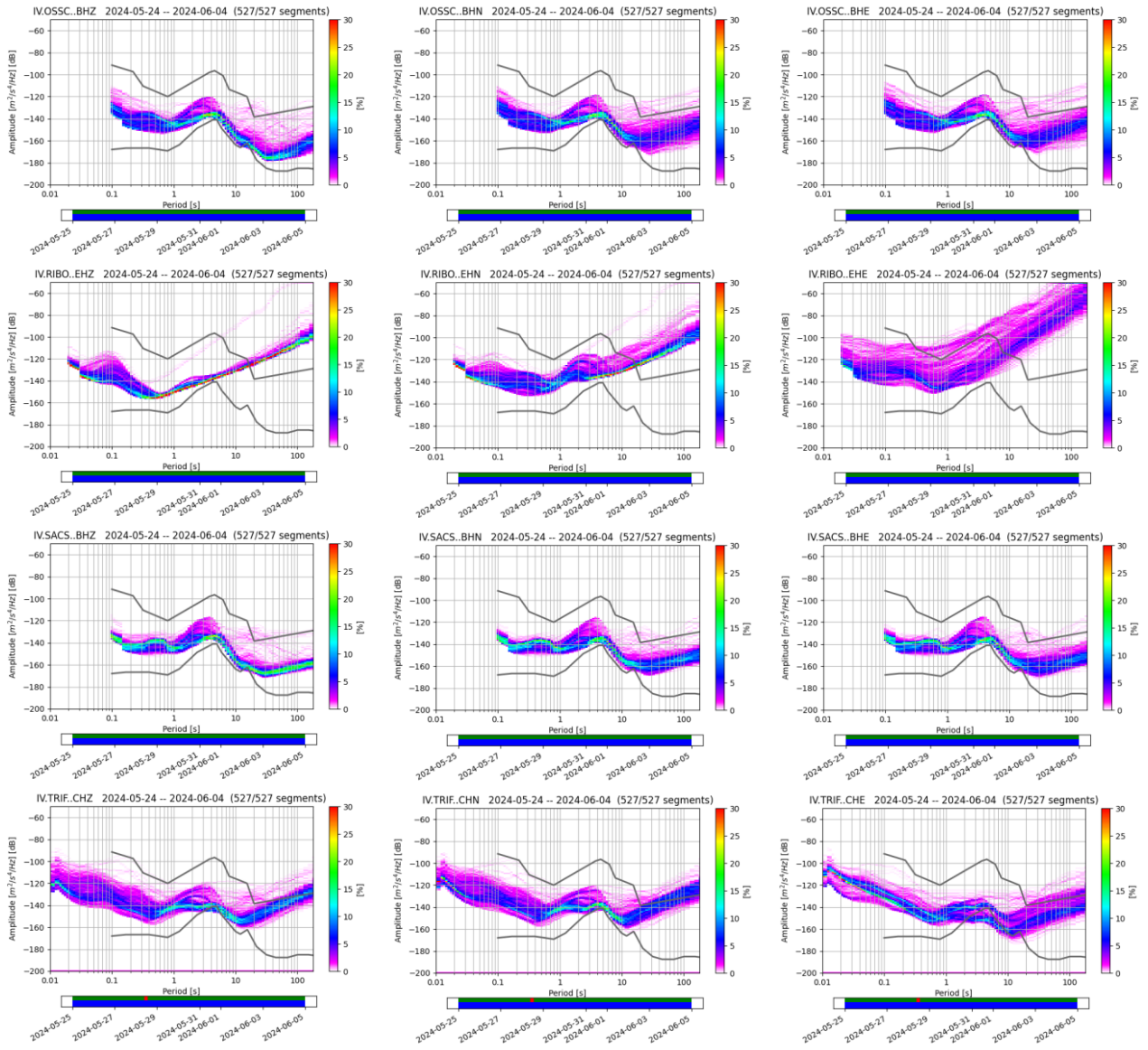


Figura 3.2. Esempi dei plot della PSD per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni della rete IV.



## 3.2 Dati MALA

### 3.2.1 Connettività alla rete MALA

Come riportato nel Report 4 relativo al precedente ACS (CMS, 2022), per la trasmissione dei dati sismici in tempo reale è stata creata un'apposita rete WIFI (vedi schema in Figura 3.2). Ogni stazione sismica è equipaggiata con un modem WIFI 5 GHz che trasmette i dati (formato *mseed*) in tempo reale ad un router 4G ubicato presso la stazione MALA0 (Figura 2.3, Figura 2.4), che invia i dati alle sale di monitoraggio sismico della sede centrale a Roma e del CMS a Bologna.

La Figura 3.3 mostra lo schema del funzionamento di un generico array sismico composto da 5 stazioni. Ognuno dei 5 elementi (A, B, C, D, E) è composto da un acquirente (*datalogger* - rettangolo giallo), a cui sono connessi via cavo un sismografo (seismo), un'antenna GPS e un router WIFI; tutto alimentato da pannello solare/batteria. Le singole stazioni (A-E) trasmettono i segnali sismici in tempo reale ad un router che inserisce i *datastream* in internet (protocollo *seedlink*).

Attualmente l'array MALA è composto da sei elementi (MALA0 - MALA5). I singoli router sono collegati in configurazione MESH, che significa che ogni radio funziona anche come ripetitore. Quindi, la trasmissione dati non deve necessariamente avvenire in via diretta dalla stazione al router centrale (MALA0); basta che l'antenna di un elemento veda l'antenna di un elemento vicino e che lo utilizzi come ponte radio per raggiungere il router centrale per poi trasmettere i dati alle sale di monitoraggio.

Il flusso di dati da trasmettere in tempo reale al CAD-BO si calcola sulla base dei seguenti parametri:

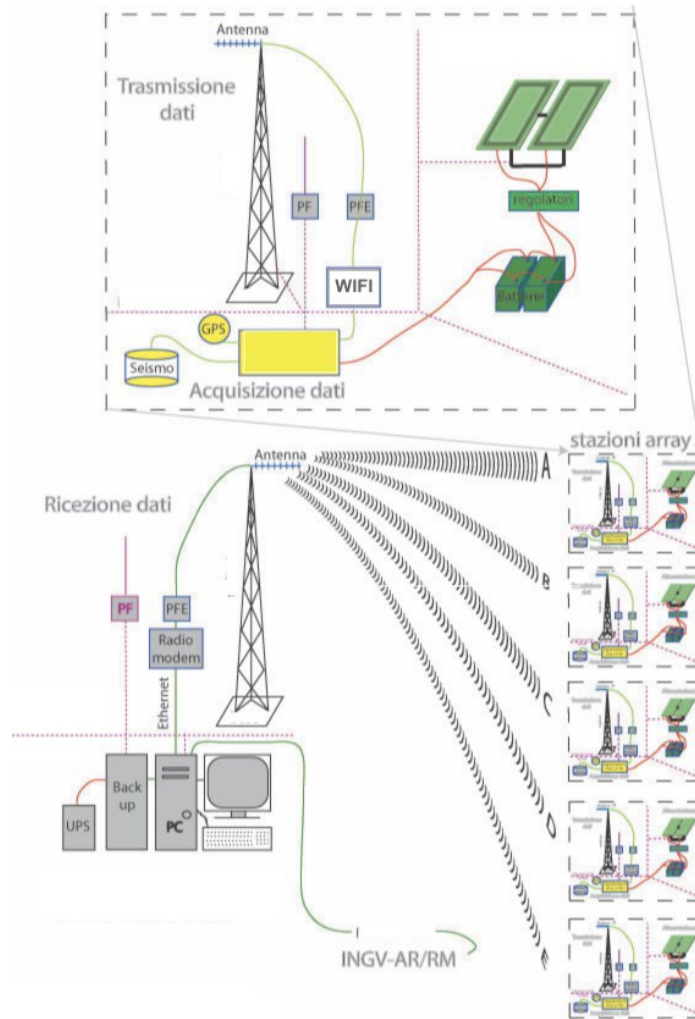
- passo di campionamento: 200 Hz (campioni al secondo);
- dinamica acquirente: 24 bit (3 byte);
- numero canali registranti: 3;
- compressione dati (Steim): 1.4.

Il volume di dati registrati su base giornaliera per ogni canale risulta quindi:

- flusso teorico dati:  $\sim 24 \text{ Mb/giorno} = 200 \text{ Hz} * 1.4 * 86400$ ;
- flusso dati reale:  $\sim 20 - 22 \text{ Mb/giorno}$ .

Considerando n° 6 stazioni a 3 canali, il flusso totale dei dati trasmessi ammonta a 350 - 430 Mb/giorno.

Figura 3.3. Schema di trasmissione dati in tempo reale dell'array MALA (Report 4 (CMS, 2022)).



### 3.2.2 Qualità dei dati sismici della rete MALA (PSD)

La ristrutturazione di MALA, in termini di sostituzione degli acquisitori e dei sensori (§2.2) (da GAIA, Mark L4-3D  $\Rightarrow$  Nanometrics Le3D-5s) ha comportato un notevole guadagno in termini di rapporto segnale/rumore e capacità di detezione (vedere §5.2).

Sono stati calcolati gli spettri di potenza (PSD - *Power Spectral Density*) per le stazioni dell'array MALA (rete IV) (Figura 3.4), 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 7 giorni di rumore sismico registrato dalle tre componenti (Z-verticale, N-S, E-W) delle stazioni dell'array MALA (Figura 3.4).

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 per periodi inferiori a 1s di periodo che dimostrano la variazione giornaliera del livello di energia del segnale, soprattutto per alcune stazioni.

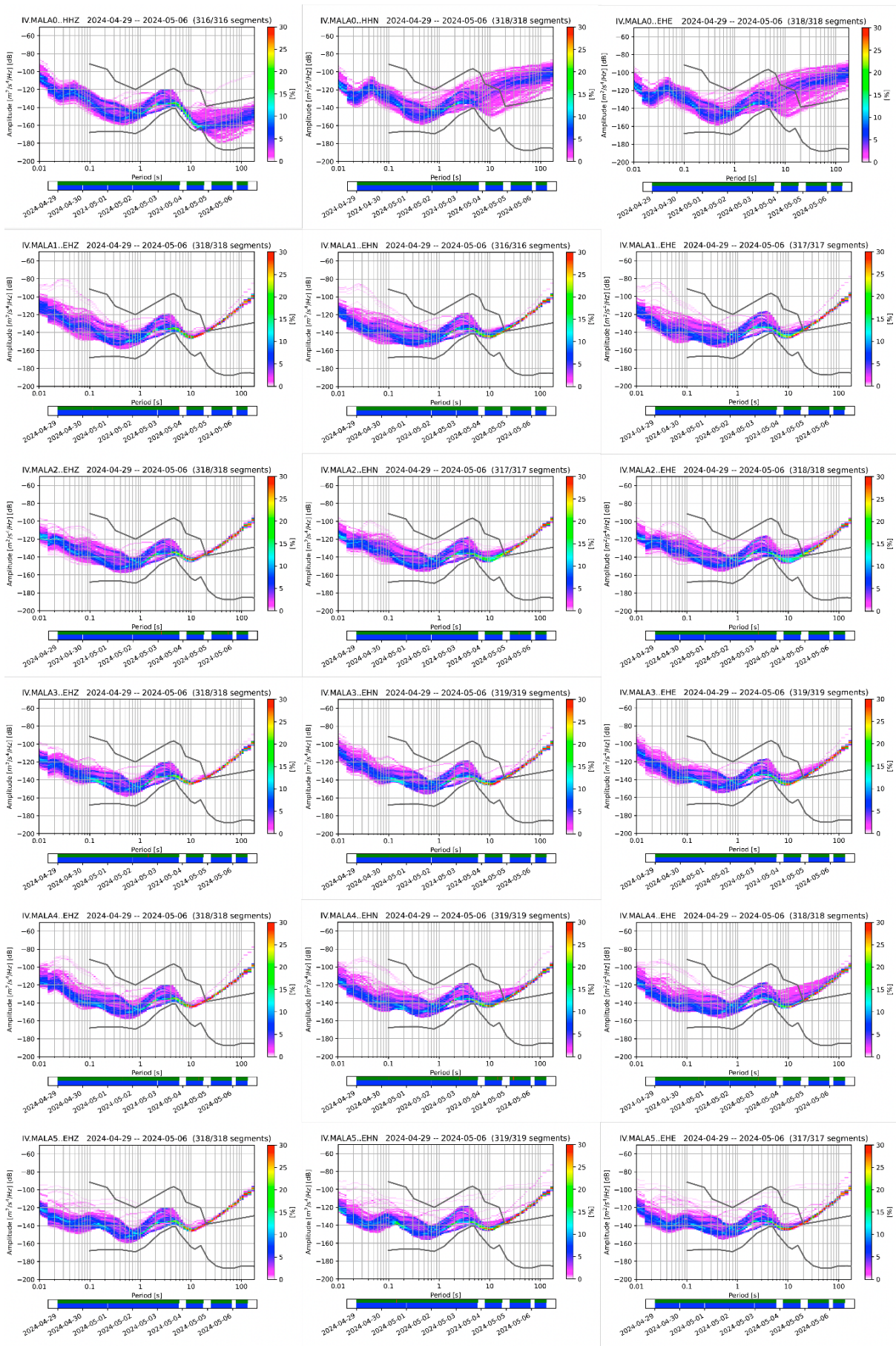


Figura 3.4. Esempio di plot della PSD per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni dell'array MALA.

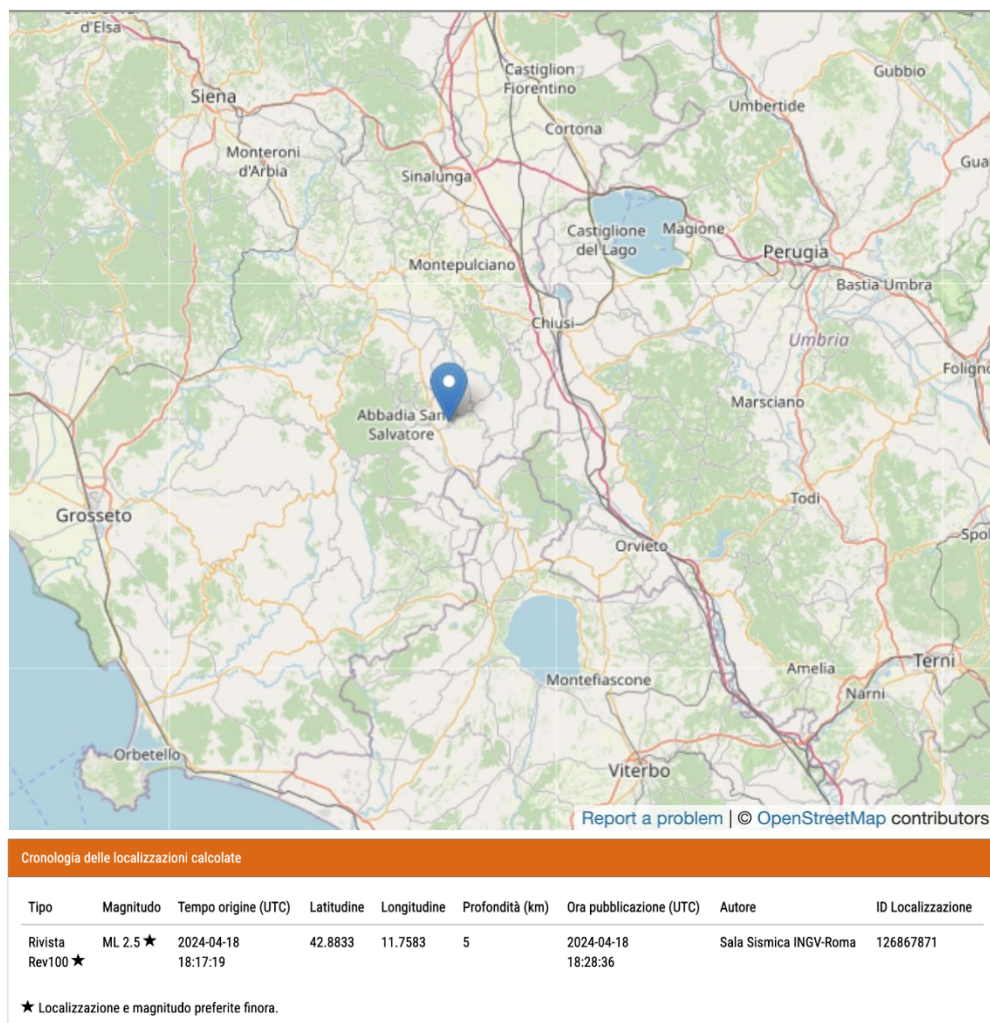
### 3.2.3 Esempi di eventi sismici registrati

#### Evento sismico del 18/04/2024

A distanza di poche ore dalla sostituzione della strumentazione dell'array MALA, si è verificato un evento sismico di  $M_L$  2.5 a circa 12 km SE da MALA tra Abbadia San Salvatore e Radicofani (Figura 3.5).

Come evidente dalla Tabella 2.3, la stazione principale dell'array (MALA0) è dotata di due sensori triassiali, un accelerometro e un velocimetro a larga banda (Nanometrics Trillium Horizon 120s). Il sensore a larga banda ha generalmente bisogno di un tempo di "ambientazione" prima di essere in grado di registrare il movimento del suolo correttamente su tutte e tre le componenti, un processo che può durare diverse ore. Dalla traccia "piatta" del canale HHE (viola in Figura 3.6), si può desumere che l'evento sismico in oggetto è stato registrato prima della conclusione del "processo di ambientazione".

Figura 3.5. Scheda informativa dell'INGV relativa all'evento sismico di  $M_L$  2.5 verificatosi in data 18/04/24 alle ore 18:17:19 UTC. <https://terremoti.ingv.it/event/38273011>.



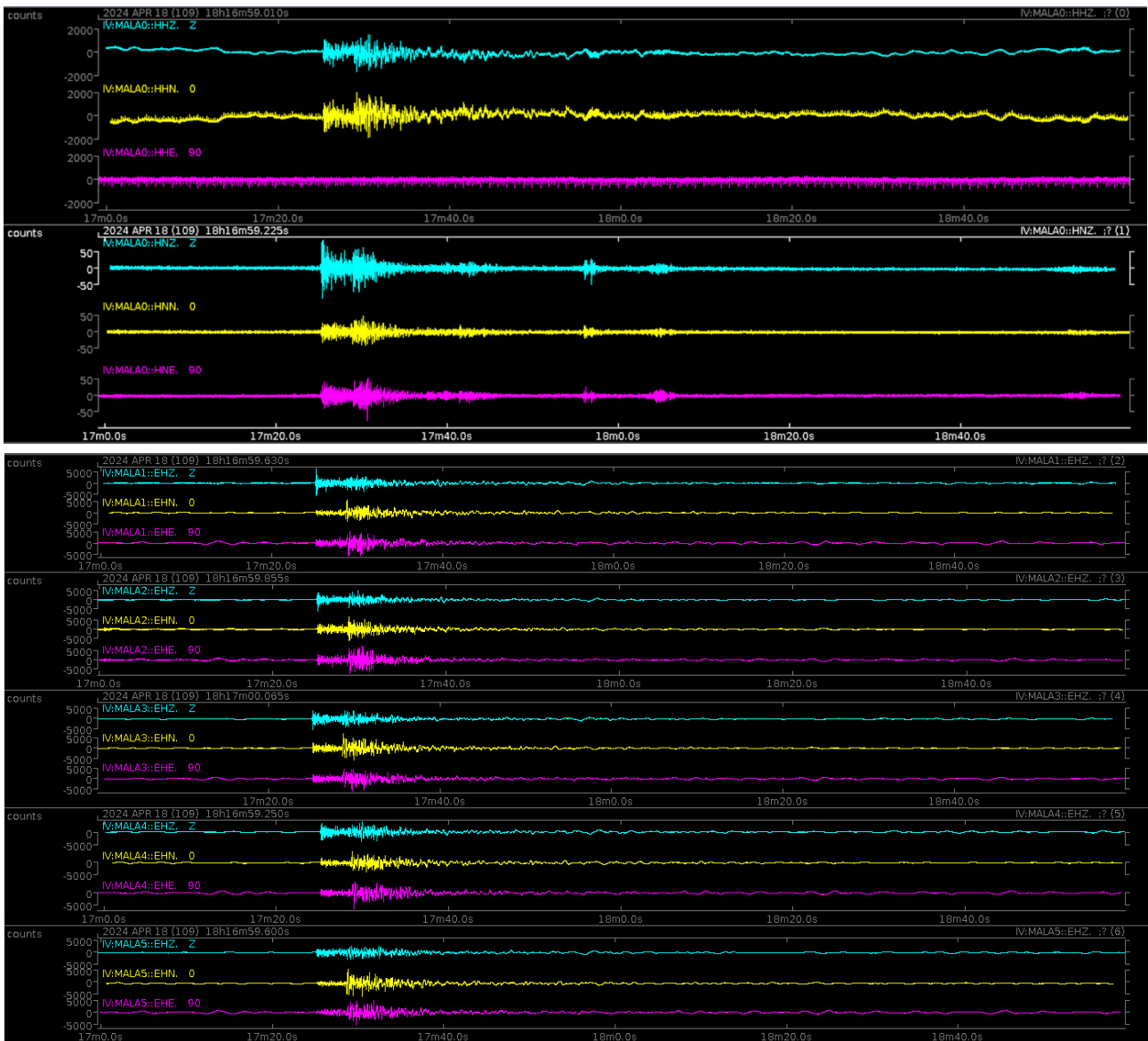


Figura 3.6. Forme d'onda dell'evento citato in Fig. 3.5, registrate dall'array MALA: dall'alto in basso le tre componenti della stazione MALA0 con sensori triassiali a larga banda (HHZ, HHN, HHE) e Accelerometro (HNZ, HNN, HNE), seguito dalle tre componenti delle 5 stazioni (MALA1 - MALA5) dotate di un sensore velocimetrico (Le3D-5s).

L'evento sismico in questione è stato quindi registrato dall'array MALA e localizzato con tecniche f-k, consentendo di ricavare i parametri *backazimuth* e *slowness* associati all'evento stesso.

Una volta ottimizzato un modello di velocità per l'area di monitoraggio si potranno inoltre ricavare le coordinate ipocentrali degli eventi sismici registrati attraverso l'applicazione del metodo della *back-projection*.

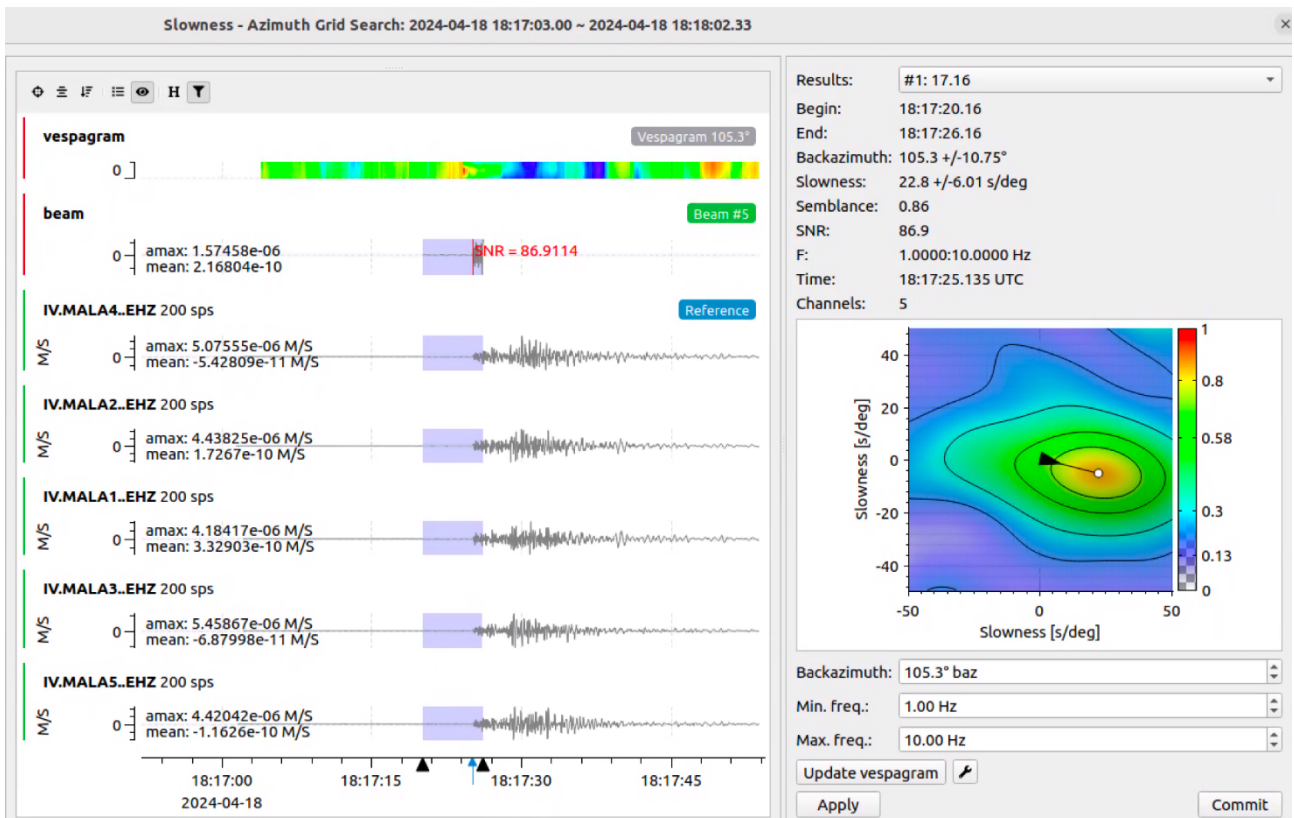


Figura 3.7. Analisi f-k del terremoto  $M_L$  2.5 registrato a 5 stazioni dell'array MALA. I risultati dell'analisi producono una localizzazione dell'evento in termini di coppia *backazimuth-slowness* compatibile con la soluzione presente nel bollettino INGV (Figura 3.6).

### Boato del 20/06/2024

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, che è stato sentito fino alle Province di Arezzo, Livorno, Pisa, Siena, Prato e Firenze e registrato dalla RSN. Sia dalla forma d'onda che dalla velocità di propagazione (di circa 340 m/s), si può dedurre che l'origine non è ascrivibile ad un terremoto, ma piuttosto ad un evento in atmosfera, come un boom supersonico (aereo militare) o il passaggio di un meteoroide (<https://ingvterremoti.com/2024/06/20/boati-in-toscana-20-giugno-2024-non-e-un-terremoto/>). Secondo alcune fonti non è da escludere che l'evento sia stato causato da emissioni gassose che, miste ad acqua, darebbero vita a improvvise e spettacolari esplosioni in mezzo al mare al largo tra Montecristo, Pianosa e la Corsica. Gli scoppi, simili a geyser, sono stati segnalati dai pescatori della zona nei pressi delle formiche di Montecristo, allo Scoglio d'Africa. <https://www.fanpage.it/attualita/misteriose-esplosioni-in-mare-a-largo-della-toscana-vietata-la-navigazione/>

Un evento simile era stato riportato nel Marzo 2017

<https://www.iltirreno.it/piombino/cronaca/2017/03/20/news/un-geyser-di-acqua-e-fango-mistero-davanti-allo-scoglio-d-affrica-1.15062034>.

Figura 3.8. RegISTRAZIONI della componente verticale delle stazioni MALA1, MALA2, MALA3, MALA5 filtrate con banda passante tra 0.8 e 6 Hz per mettere in evidenza fasi comuni. Si nota la somiglianza dell'intera forma d'onda alle quattro stazioni.

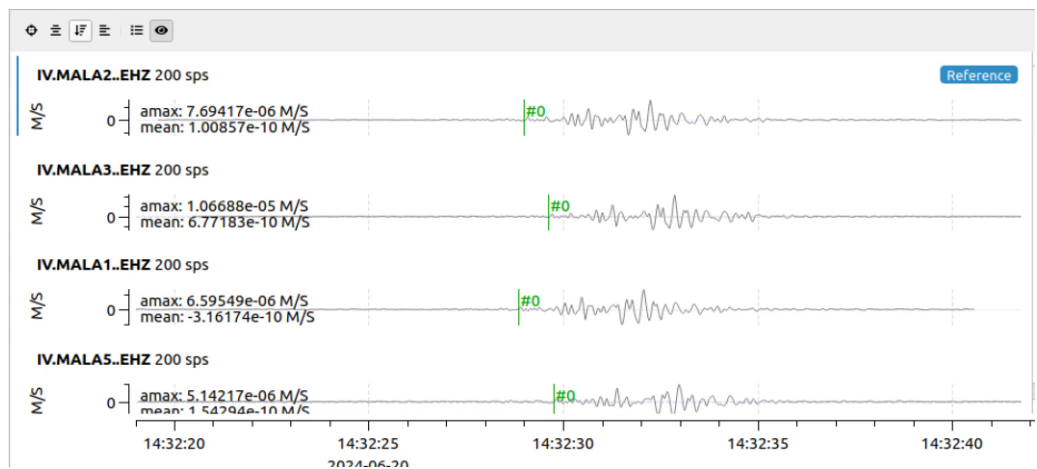
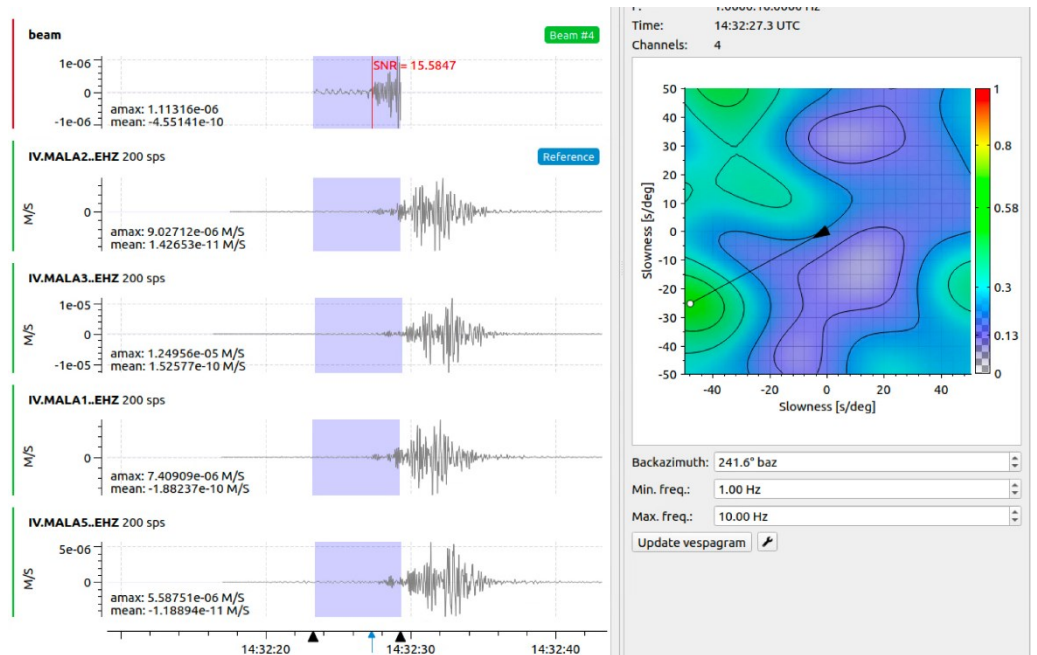


Figura 3.9. Analisi *array* del segnale di cui Fig. 3.8: *beam forming* e analisi f-k, basato sulla forma d'onda di 4 stazioni.



La Figura 3.8 mostra il segnale registrato a quattro stazioni dell'array MALA. Dall'analisi f-k il *backazimuth* risulta 241.6°N, indicando che il fronte d'onda arrivi dalla direzione WSW (Figura 3.9), mentre il *plane wave fit* risulta in un *backazimuth* di 221.2°N (SW) con una *slowness* di 310.2s/deg, che corrisponde ad una velocità apparente di circa 358 m/s (Figura 3.10). L'estrapolazione dei parametri analizzati proietta il possibile epicentro nell'area tra Giglio e Montecristo (Figura 3.11).

Figura 3.10. Soluzione ottenuta attraverso la tecnica del *plane wave fitting*. Dopo il *picking* delle fasi simili individuate nelle diverse forme d'onda, l'inversione considerando un fronte d'onda piana consente di ottenere una coppia di valori: *backazimuth* e *slowness* che vengono rappresentati con un segmento nero nel color plot. La freccia centrata al baricentro dell'array indica la direzione di provenienza del segnale individuato.

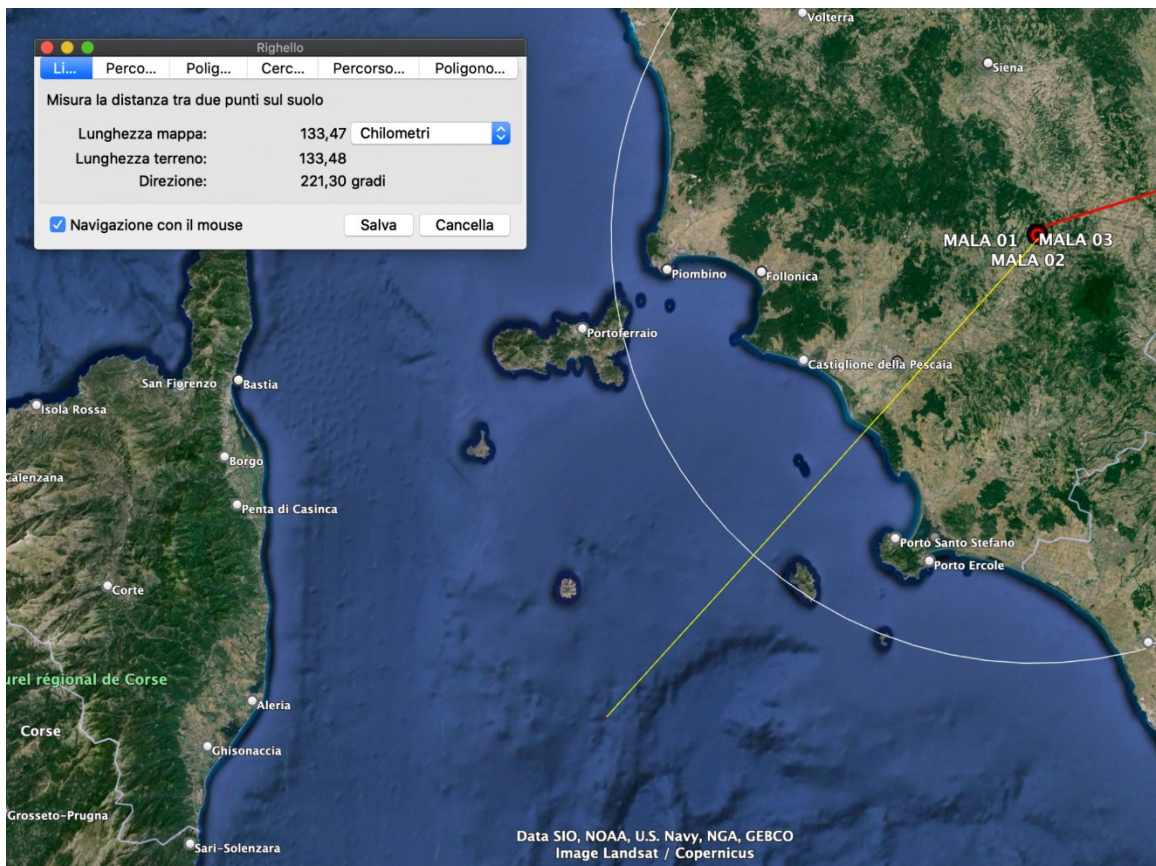
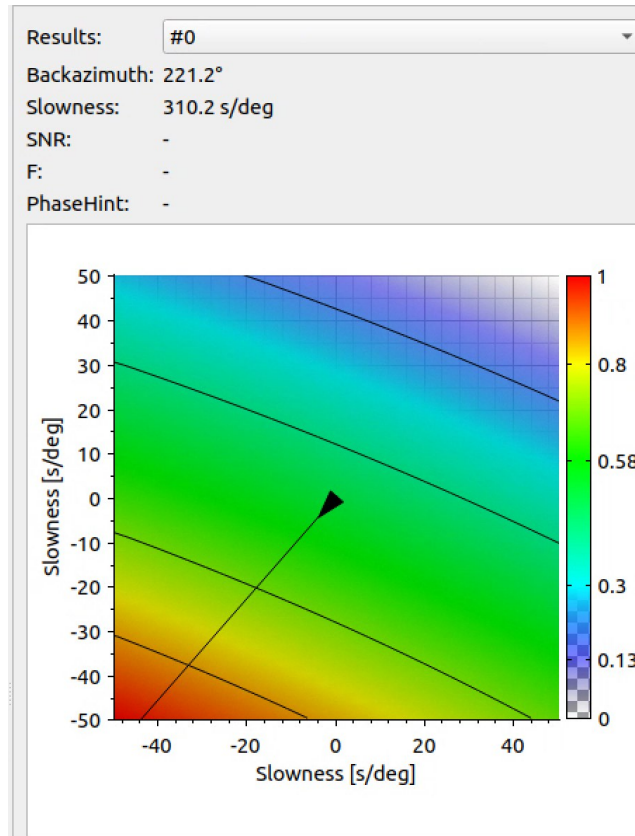


Figura 3.11. Mappa che mostra la localizzazione del boato attraverso l'analisi dei dati dell'array MALA. Il segmento giallo rappresenta la direzione di provenienza del boato localizzato poco a sud dell'isola di Montecristo. Fonte Google Earth).



### 3.3 Dati EGP (rete EL/IV)

Alle stazioni delle reti sismiche, operative su tutto il globo, sono assegnati dei codici di rete (*network code*) schedati in un registro chiamato NRL (*Nominal Response Library*), gestito dalla FDSN (*International Federation of Digital Seismograph* <https://www.fdsn.org/networks/>). Dal 2024 NRL è disponibile, come *web service* (<https://service.iris.edu/irisws/nrl/1/>). La nuova NRL fornisce importanti avanzamenti, inclusa la possibilità di fornire la risposta per *recorder* integrati, *datalogger state of health channels*, e *polynomial response descriptions*. L'output è accessibile in *standard StationXML* e in formato RESP.

Motivato dal segreto industriale, i dati EGP non erano e non sono pubblicamente accessibili. La decennale gestione interna dei dati sismici non continui (a *event trigger*) non necessitava la registrazione di un codice di rete nella NRL. Il progresso tecnologico e l'utilizzo di acquisitori a 24 bit con registrazione dei dati in continuo (formato *miniseed*), ha portato alla condivisione di alcune stazioni con INGV (vedere Tabella 2.1) con l'utilizzo del codice rete IV. Nel 2023, l'ENEL ha fatto registrare per i propri dati sismici il codice EL (Enel, 2023) senza consentire il pubblico accesso ai dati.

#### 3.3.1 Connettività alla rete EGP

La connettività tra i due *data center*, rispettivamente EGP e CMS, è realizzata mediante una connessione VPN IPsec (*Virtual Private Network* con protocollo *IP Security*). Questo tipo di connessione assicura che i dati trasmessi tra i due centri dati siano protetti da eventuali intercettazioni o alterazioni, grazie alla crittografia e l'autenticazione dei pacchetti. Il traffico dati fluisce costantemente tra il *data center* dell'EGP e il *data center* CMS attraverso questa VPN IPsec. Il processo avviene nel seguente modo (Figura 3.12):

- **Inizializzazione:** Quando un dato deve essere trasmesso dal *data center* EGP al *data center* CMS, esso viene cifrato dal protocollo IPsec nel *data center* EGP.
- **Trasmissione Protetta:** Il dato cifrato viene inviato attraverso la rete pubblica (Internet) in un tunnel sicuro, impedendo che possa essere letto o modificato da soggetti non autorizzati.
- **Ricezione e Decifrazione:** Una volta giunto al *data center* CMS, il dato cifrato viene decifrato, permettendo l'accesso solo ai sistemi e agli utenti autorizzati del *data center* CMS.

- **Risposta:** Se il *data center* CMS deve inviare una risposta al *data center* EGP, il processo si ripete inversamente, garantendo sempre la sicurezza e l'integrità dei dati trasmessi.

Questa configurazione assicura che tutti i dati fluiscono in modo sicuro e continuo tra il *data center* EGP e il *data center* CMS, mantenendo alti livelli di sicurezza e affidabilità.

I *firewall* dei due *data center* vengono configurati in modo da stabilire una connessione IPsec sicura come segue:

- **Configurazione delle Regole:** Gli amministratori configurano le regole del *firewall* in entrambi i *data center* per consentire il traffico IPsec. Questo include l'apertura delle porte necessarie e la definizione delle *policy* di sicurezza.

- **Scambio delle Chiavi:** Utilizzando il protocollo IKE (*Internet Key Exchange*), i due *firewall* iniziano un processo di scambio delle chiavi. Durante questo scambio, i *firewall* negoziano i parametri di sicurezza, come i metodi di crittografia e gli algoritmi di autenticazione, e generano una chiave di sessione condivisa.

- **Creazione del Tunnel:** Una volta stabiliti i parametri di sicurezza e scambiate le chiavi, viene creato un tunnel IPsec tra i due *firewall*. Questo tunnel crittografato assicura che tutti i dati trasmessi siano protetti da occhi indiscreti e manomissioni.

- **Monitoraggio e Gestione:** I *firewall* monitorano costantemente la connessione IPsec per garantire che rimanga sicura e stabile. In caso di interruzioni o tentativi di intrusione, i *firewall* possono adattarsi per mantenere la sicurezza del tunnel.

Questo processo permette ai *firewall* del *data center* EGP e del *data center* CMS di mettere in piedi e mantenere una connessione IPsec affidabile e sicura, garantendo che i dati possano fluire tra i due centri dati in modo protetto.

L'adozione di una connessione IPsec tra il *data center* EGP e il *data center* CMS offre numerosi vantaggi significativi:

- **Sicurezza dei Dati:** La crittografia garantita dal protocollo IPsec assicura che i dati trasmessi tra i due *data center* siano protetti da intercettazioni e manomissioni. Solo i sistemi autorizzati possono decifrare e accedere ai dati.

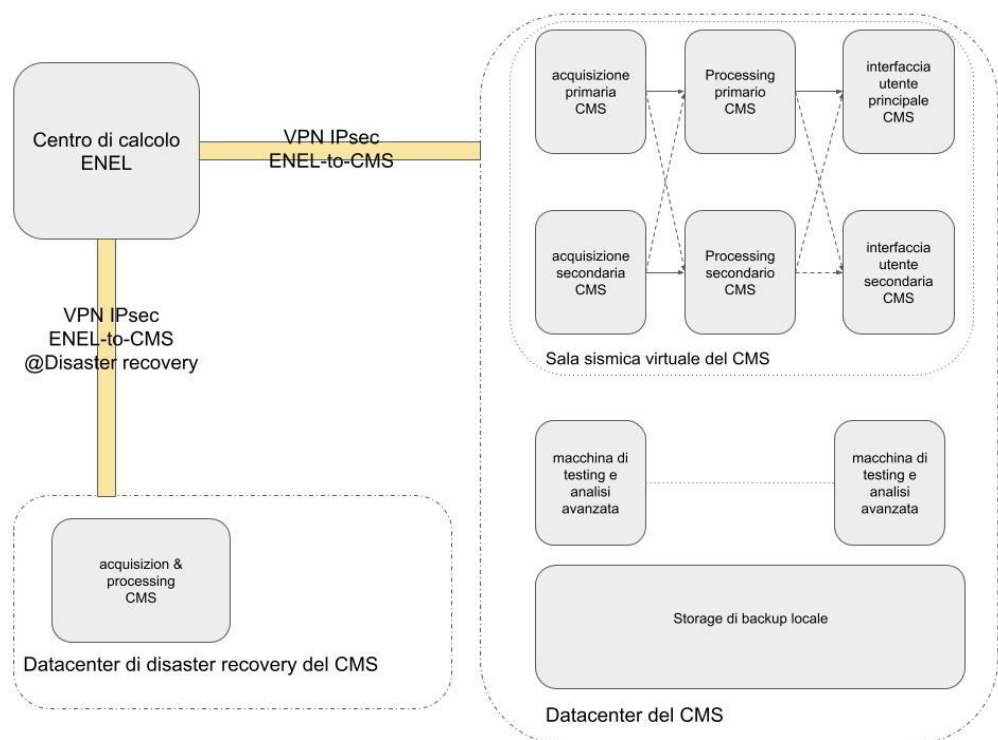
- **Integrità delle Informazioni:** L'autenticazione dei pacchetti e la verifica dell'integrità dei dati impediscono che le informazioni vengano alterate durante la trasmissione, mantenendo l'accuratezza e l'affidabilità dei dati scambiati.

- **Protezione Contro Minacce:** La connessione IPsec aiuta a proteggere le infrastrutture dei *data center* da attacchi esterni, come tentativi di intrusione, attacchi DDoS (*Distributed Denial of Service*) e altre minacce informatiche.

- **Flessibilità e Scalabilità:** La soluzione IPsec è flessibile e può essere scalata per adattarsi alle esigenze in crescita dei *data center*. Nuovi collegamenti e dispositivi possono essere aggiunti senza compromettere la sicurezza o la funzionalità della rete.
- **Costi Ridotti:** L'uso di una VPN IPsec consente di utilizzare la rete pubblica (Internet) per la trasmissione dei dati, riducendo i costi associati alla creazione e manutenzione di connessioni dedicate come le linee *leased*.
- **Conformità Normativa:** La crittografia e la protezione dei dati garantite da IPsec aiutano a soddisfare i requisiti di conformità normativa e di sicurezza imposti da leggi e regolamenti internazionali.
- **Alta Disponibilità:** La configurazione dei *firewall* e la gestione della connessione IPsec contribuiscono a garantire un'alta disponibilità del servizio, riducendo al minimo i tempi di inattività e garantendo un accesso continuo ai dati e alle applicazioni.
- **Semplicità di Gestione:** Una soluzione IPsec ben configurata permette una gestione centralizzata delle policy di sicurezza e delle connessioni, semplificando l'amministrazione e il monitoraggio della rete.

In sintesi, l'adozione di una connessione IPsec tra il *data center* EGP e il *data center* CMS offre una soluzione sicura, efficiente e scalabile per la trasmissione dei dati, migliorando la protezione, l'affidabilità e la gestione delle infrastrutture IT.

Figura 3.12. Topologia della connettività tra il *data center* EGP e le infrastrutture informatiche del Cms. (Report 4 (CMS, 2022)).



### 3.3.2 Qualità dei dati sismici della rete EL (PSD)

Sono stati calcolati gli spettri di potenza (PSD - *Power Spectral Density*) per le stazioni di EGP (rete EL) (Figura 3.13), 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 EGP (rete EL) (Figura 3.13), operative nelle aree geotermiche toscane.

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.

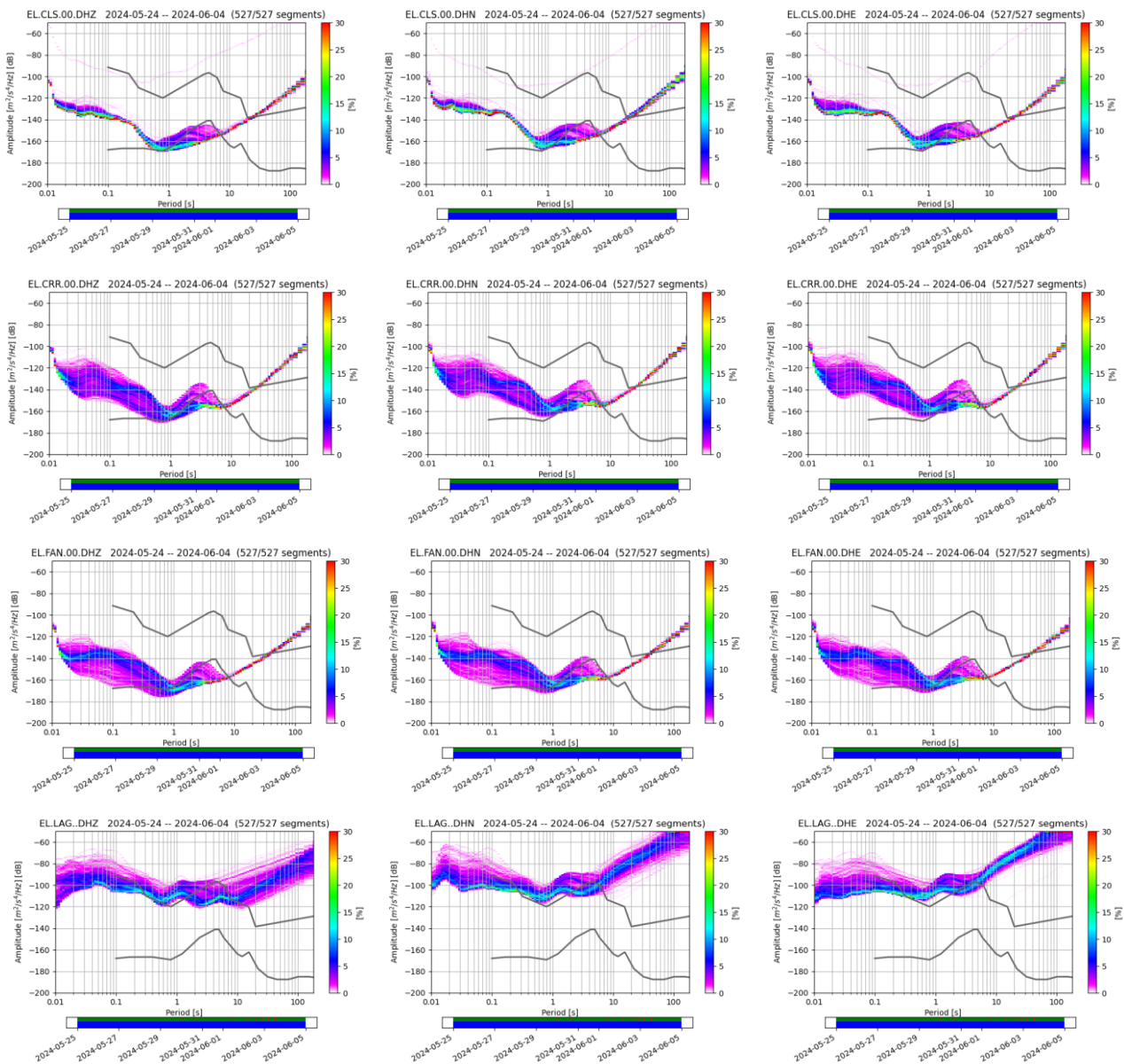


Figura 3.13. Esempi dei plot della PSD per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni della rete EL.

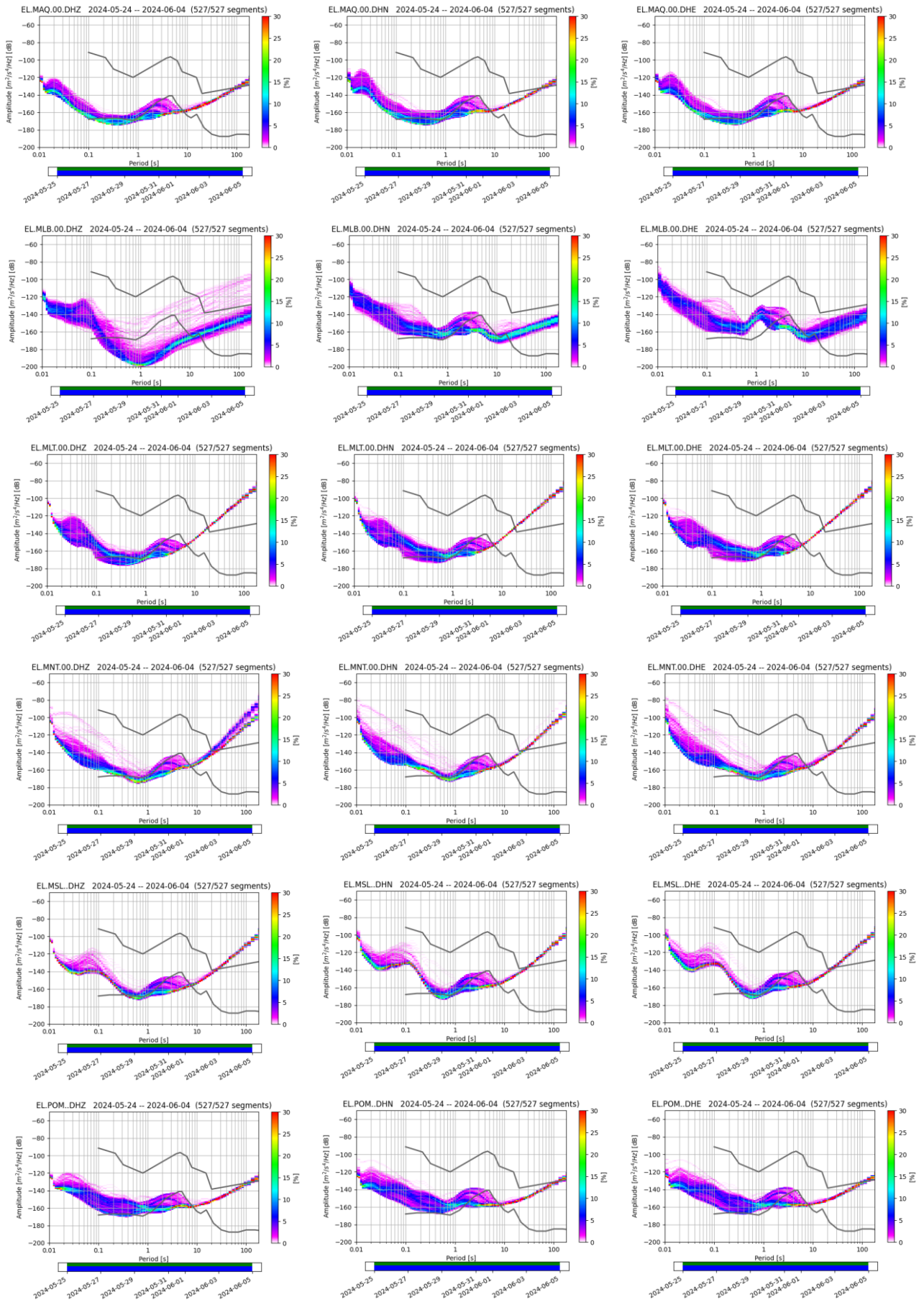


Figura 3.14. Esempi dei plot della PSD per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni della rete EL.

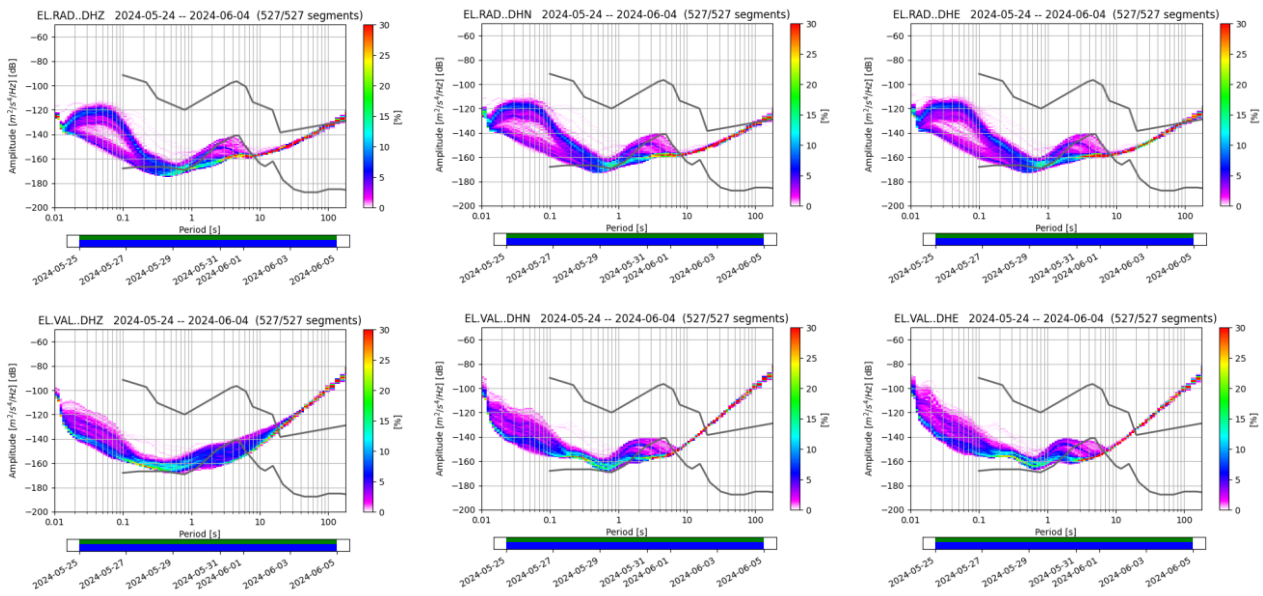


Figura 3.15. Esempi dei plot della PSD per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni della rete EL.

### 3.3.3 Cronistoria ricezione flusso dati

L'ACS tra INGV e RT prevede l'analisi dei dati sismici registrati dalla rete sismica integrata a partire dal 01/07/2023. Dovuto a delle problematiche tecniche, sia di trasmissione dati (§3.3.1), che di ricostruzione dei parametri di stazione (*station.xml*, §2.3) attualmente il monitoraggio in tempo reale viene effettuato in modalità provvisoria. Questo fatto ha reso necessario trasmettere i dati della rete EL per alcuni periodi (in parentesi giorno giuliano) attraverso supporto fisico (hard disk):

- 01/07/2023 (182) a 30/11/2023 (344): EGP consegna dati su HD
- 01/12/2023 (345) ad oggi: al CMS arriva il flusso dati da EGP

I periodi di interruzione del flusso dati provenienti da EGP sono riassunti Figura 3.18.

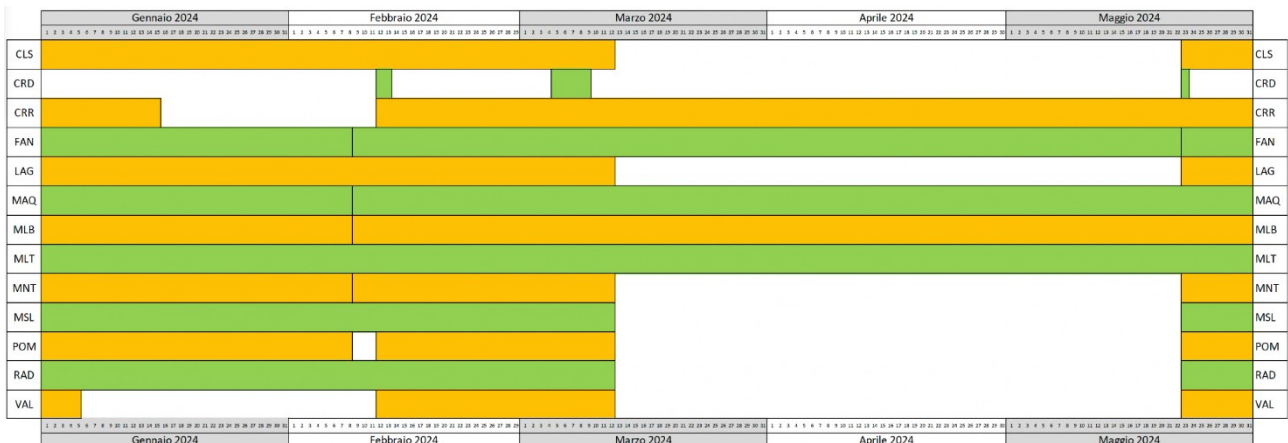


Figura 3.18. Schema riassuntivo del flusso dei dati EGP ricevuto da CMS.

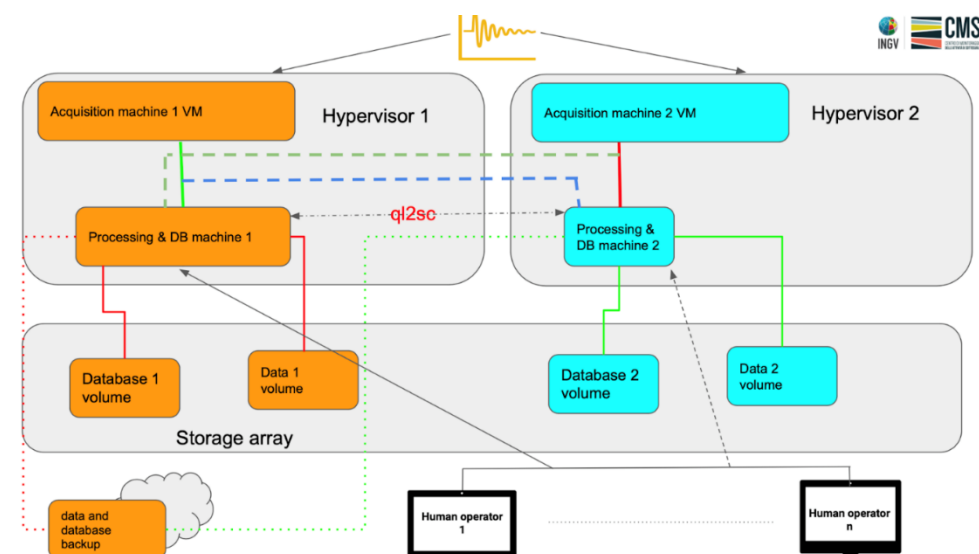
E' stata fatta richiesta a EGP di trasmettere i dati sismici in continui per i periodi indicati in Figura 3.18. A seguito del recupero dei dati arretrati e dell'aggiornamento del *database* e la conferma dei parametri strumentali riportati nello *station.xml* (§2.3) può essere lanciato una scansione *offline (playback)* del *dataset* completo della rete sismica integrata (vedere esempio in §4.3).

### 3.4 Archiviazione dei dati a CAD-BO

Il dato sismologico viene acquisito nella macchina ufficiale di acquisizione, garantendo la massima precisione e affidabilità nella raccolta delle informazioni. Questo processo è standardizzato e viene applicato a tutte le concessioni monitorate dal CMS, assicurando una coerenza nei dati e nella loro analisi. Ogni concessione, infatti, è sottoposta a un monitoraggio continuo e rigoroso, con i dati che vengono inviati in tempo reale alla centrale di acquisizione. Questo permette non solo di mantenere un controllo costante sulle attività sismiche, ma anche di rispondere prontamente a qualsiasi anomalia rilevata. Il sistema di acquisizione è progettato per operare in modo autonomo, riducendo al minimo l'intervento umano e migliorando l'efficienza e la sicurezza complessiva delle operazioni di monitoraggio.

Le configurazioni di test e tutti gli studi specifici vengono effettuati unicamente su una diversa macchina, dedicata alla concessione EGP. Questo approccio garantisce che ogni test e analisi siano condotti con la massima precisione e accuratezza, utilizzando risorse specializzate che sono state ottimizzate per le esigenze specifiche della concessione. La macchina dedicata permette di isolare e analizzare i dati in modo dettagliato, senza interferenze esterne, assicurando che i risultati degli studi siano affidabili e rilevanti. Questa pratica è essenziale per mantenere alti standard di qualità e sicurezza nelle operazioni e per supportare le decisioni basate sui dati acquisiti.

Figura 3.19. Architettura del Centro Acquisizione Dati (CAD-BO) presso l'INGV di Bologna. (Report 4 (CMS, 2022)).



## 4 Parametri per monitoraggio sismico in tempo reale

La stesura e la realizzazione di un sistema di monitoraggio sismico automatico si basa su vari COMPONENTI (*datastream* e *software*) e MODULI che eseguono i singoli STEP DI ANALISI:

***datastream***: registrazione dei dati dalle reti sismiche installate e trasmissione dei dati in tempo reale al *data center*, dove vengono archiviati.

- nel caso del monitoraggio delle aree geotermiche toscane vengono utilizzati dati provenienti dalle reti IV, EL e dall'array MALA (IV);
- le informazioni delle stazioni sismiche attive, come le coordinate geografiche, le caratteristiche della strumentazione (digitalizzatore, sensore) e dell'acquisizione (*gain*, passo di campionamento), il codice di rete e il periodo di funzionamento vengono archiviati in file chiamati ***station.xml*** che contengono la cronistoria dei metadati necessari per l'analisi e la corretta stima dei parametri degli eventi sismici;

***software***: Il *software* di analisi SeisComP gestisce:

- l'acquisizione del flusso di dati in tempo reale, (*Seedlink*);
- l'archiviazione dei dati (formato CAPS e/o SDS - SeisComP *Data Structure*);
- l'analisi (calcolo automatico di ipocentro e magnitudo);

e attraverso l'uso dei seguenti **MODULI**-software incorporati in SeisComP compie i seguenti task (Figura 4.1):

- SCAUTOPICK ⇒ individuazione delle fasi P, S utilizzando un trigger STA/LTA.
- SCANLOC ⇒
  - determinare in automatico le fasi (P, S) e dei tempi di origine;
  - associare le fasi P appartenenti allo stesso evento;
    - formazione dei *cluster*;
    - *splitting* dei *cluster* in caso di fasi P multiple per la stessa stazione;
  - associazione delle fasi P e S ai *cluster* e tempi origini;
  - localizzazione dell'evento;
  - valutazione e trasmissione degli *origins*;
- SCAMP ⇒ Calcolo delle ampiezze;





## 4.1 Definizione domini di monitoraggio

Il prerequisito per la realizzazione di un sistema di monitoraggio sismico è la definizione dei domini di monitoraggio a cui applicare un sistema a semaforo. Le LGEO (Terlizzese, 2016) propongono nel §8.3, i criteri per la definizione del Dominio di Rilevazione (DR):

- 1) *Qualora siano disponibili i dettagli del volume perturbato ottenibili dal modello geomeccanico di serbatoio realizzato per ciascun sito, considerata anche l'estrema variabilità delle caratteristiche geologiche dello stesso, si ritiene come Dominio Interno di rilevazione per gli impianti pilota un volume che si estende fino alla superficie, coincidente con il volume perturbato (come definito dallo studio geologico preliminare) ampliato di un'ulteriore fascia che si estende ai lati e sotto fino ad una distanza di 5 km dal bordo dello stesso (fino a un massimo di 8 km di profondità).*
- 2) *Nel caso in cui, il titolare non abbia fornito informazioni per la definizione dell'estensione del volume perturbato, si ritiene come Dominio Interno di rilevazione un volume che si estende per 2 km intorno al pozzo stesso (valore convenzionale e cautelativo), ampliato di un'ulteriore fascia di 5 km da tale volume, sia lateralmente che in profondità, che tenga conto dell'incertezza generale sul volume perturbato. Entrambi i valori dovranno essere calcolati da fondo pozzo. Il Dominio Interno di rilevazione, in quest'ultimo caso, sarà costituito dall'involuppo di tutti i volumi dei pozzi del campo e si intende esteso fino alla superficie.*

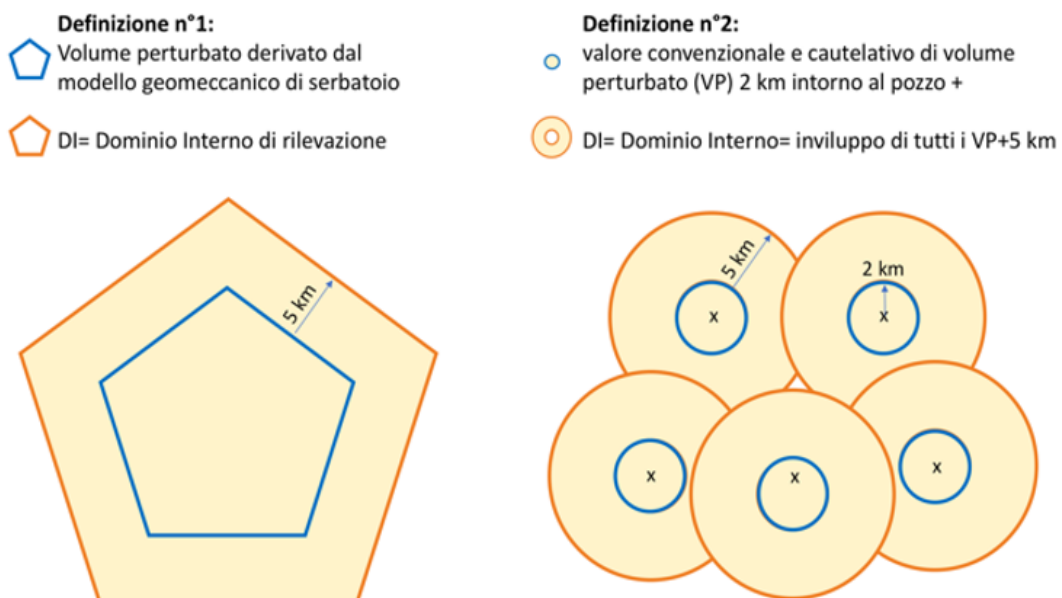


Figura 4.2. Rappresentazione grafica delle due modalità per la definizione dei Domini di Rilevazione.

*In entrambi i casi, sempre in via cautelativa, si ritiene comunque che l'area interessata dal monitoraggio debba corrispondere quanto meno all'estensione del Permesso (Terlizzese, 2016).*

Considerando che le concessioni operative sono attualmente gestite da un unico operatore (ENEL Green Power Italia S.r.l.), e considerando inoltre che nell'ambito del precedente accordo tra RT-INGV (2018 - 2021), EGP aveva trasmesso l'elenco dei pozzi di produzione e/o reiniezione, per le concessioni di Larderello – Travale (LARD) e Monte Amiata (AMIA) (Figura 4.3), nella data della redazione del presente report, la definizione del dominio di rilevamento fa riferimento esclusivamente alle concessioni di EGP.

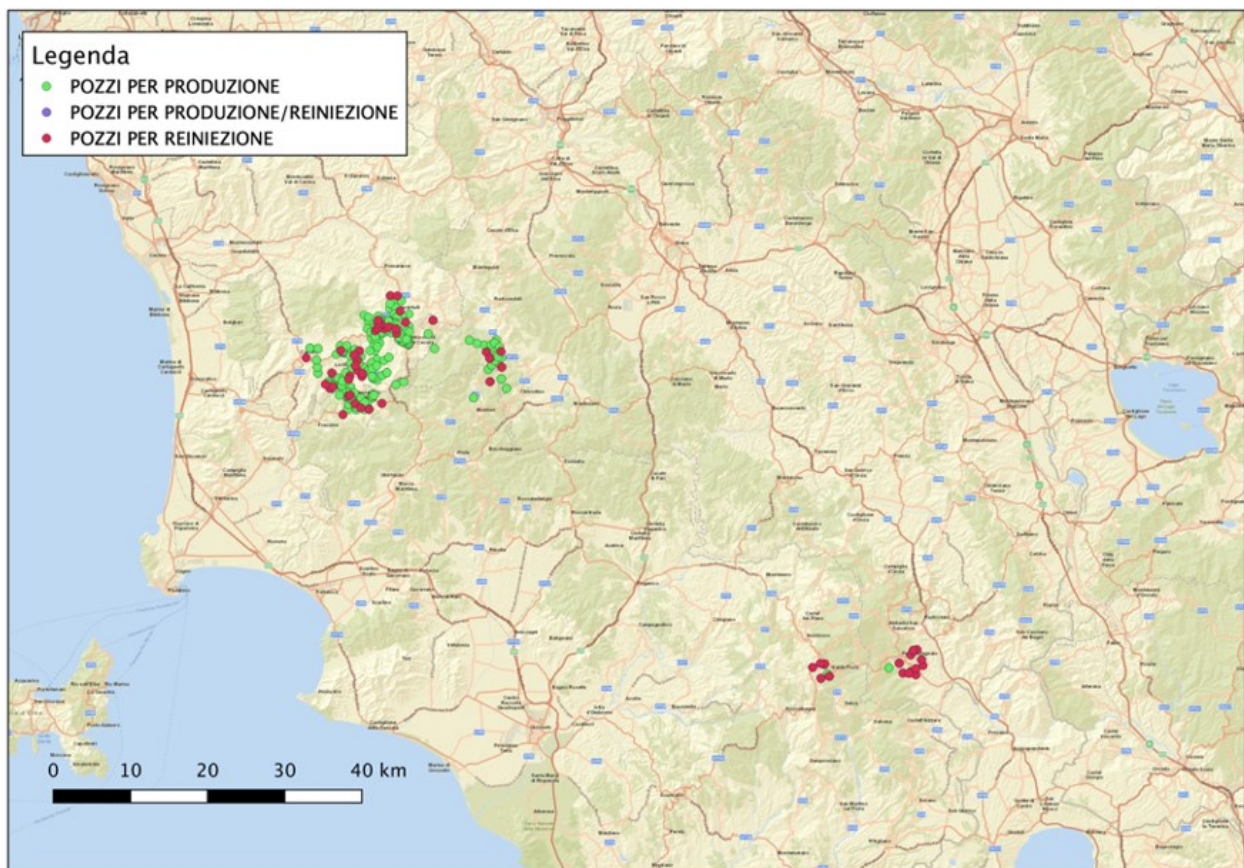


Figura 4.3. Mappa dei pozzi EGP presenti nelle aree geotermiche di Larderello – Travale e Amiata (Braun & Famiani (2021).

Per definire i DR, nelle aree geotermiche Larderello - Travale e Monte Amiata, di concerto con EGP sono stati proposti alcuni possibili scenari (Figura 4.4 e Figura 4.5), basandosi:

- sui confini delle singole concessioni (nero), ampliandoli di un buffer di 5 km (blu);
- sui pozzi di iniezione, ampliando dei buffer di 2 km (amaranto), 2+5 km (rosso), 8 km (viola).

Come primo approccio di definizione del DR è stato applicato il criterio 2) delle LGEO (Terlizzese, 2016), considerando un volume che si estende per 2 km intorno al pozzo stesso (valore convenzionale e cautelativo), ampliato di un'ulteriore fascia di 5 km da tale volume, sia lateralmente che in profondità (linea rossa). Pertanto, la georeferenziazione dei confini è stata inserita nel "software di acquisizione, analisi e archiviazione" SeisComP, come file ".bna".

In data 31/05/2024 è stato chiesto alla RT di esprimere un parere rispetto a tale proposta, sottolineando che sarà necessario aggiornare i confini dei domini di monitoraggio, in caso di messa in esercizio di nuove concessioni (protocollo n. N.0014385/2024).

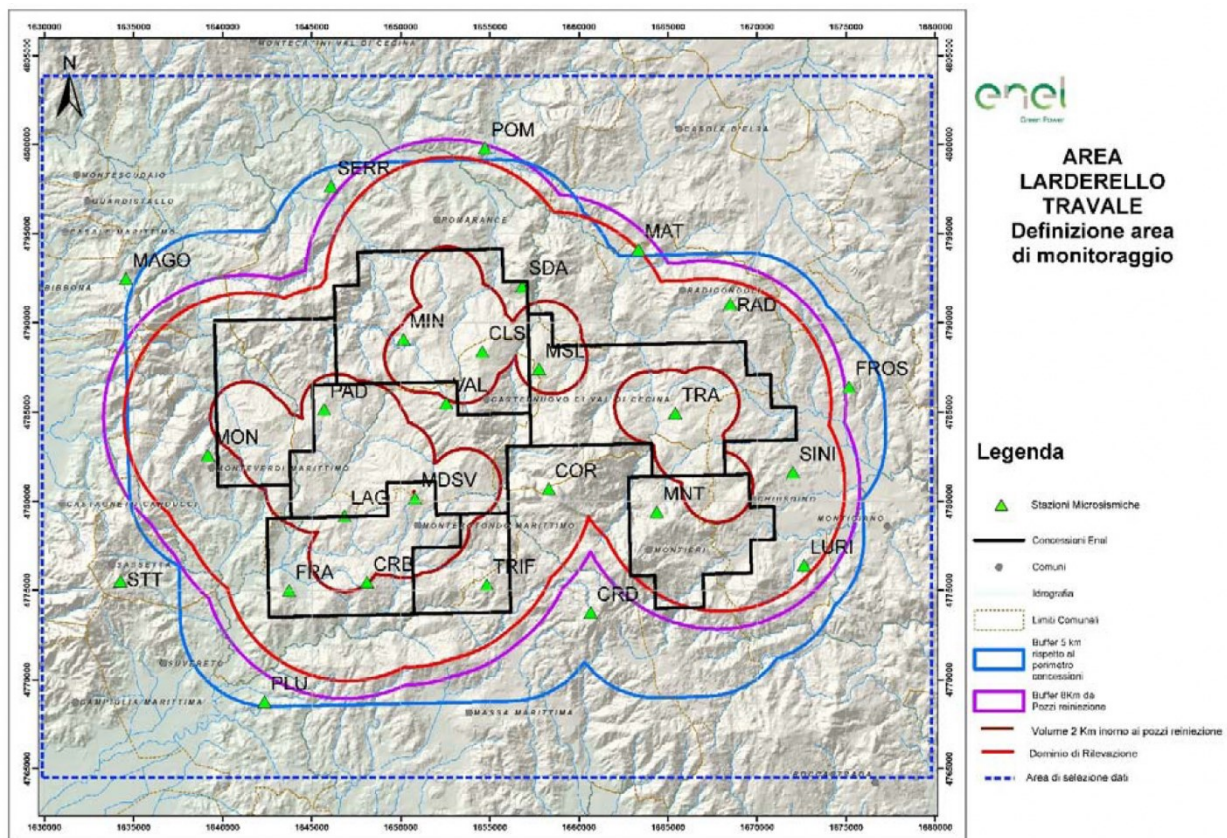


Figura 4.4. Dominio Interno di Rilevazione per l'area geotermica di Larderello-Travale, calcolato sulla posizione geografica dei PR. L'area arancione indica in mappa il volume di 2 km di raggio intorno ai PR, il suo ampliamento di 5 km (area rossa) e l'inviluppo delle sfere ideali con raggio di 8 km intorno ai PR (area viola).

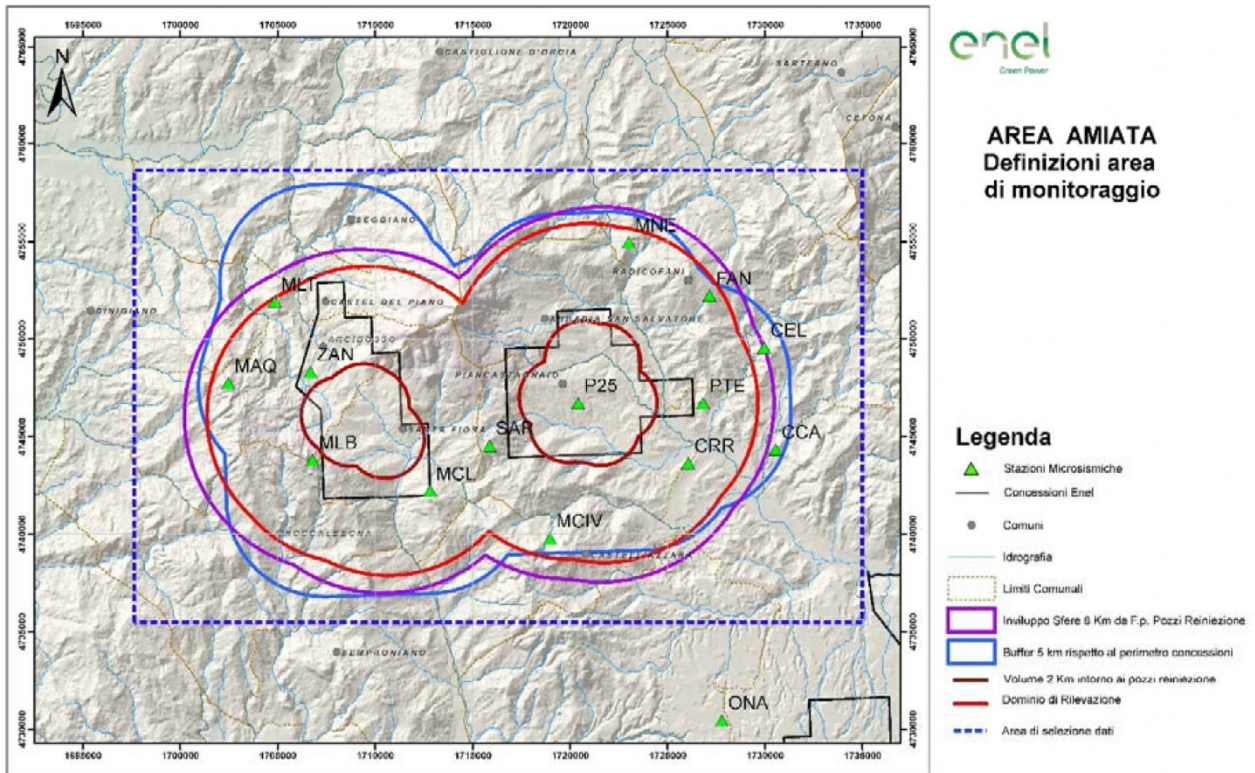


Figura 4.5. Dominio Interno di Rilevazione per l'area geotermica di Monte Amiata, calcolato sulla posizione geografica dei PR. L'area arancione indica in mappa il volume di 2 km intorno ai PR, il suo ampliamento di 5 km (area rossa) e l'involuppo delle sfere ideali con raggio di 8 km intorno ai PR (area viola).

In data 18/06/2024, dopo aver acquisito una valutazione positiva da parte di EGP *Green Power* Italia Srl in qualità di Concessionario delle uniche concessioni ad oggi attive (come previsto dall'art.2 comma 1 del Protocollo d'Intesa tra EGP *Green Power* Italia e Regione Toscana sulla condivisione e validazione del monitoraggio sismico delle aree geotermiche toscane), la RT esprime parere favorevole alla definizione dei domini proposta. La RT conferma inoltre che la definizione dei domini di monitoraggio potrà subire variazioni in riferimento alla futura attivazione di nuove concessioni.

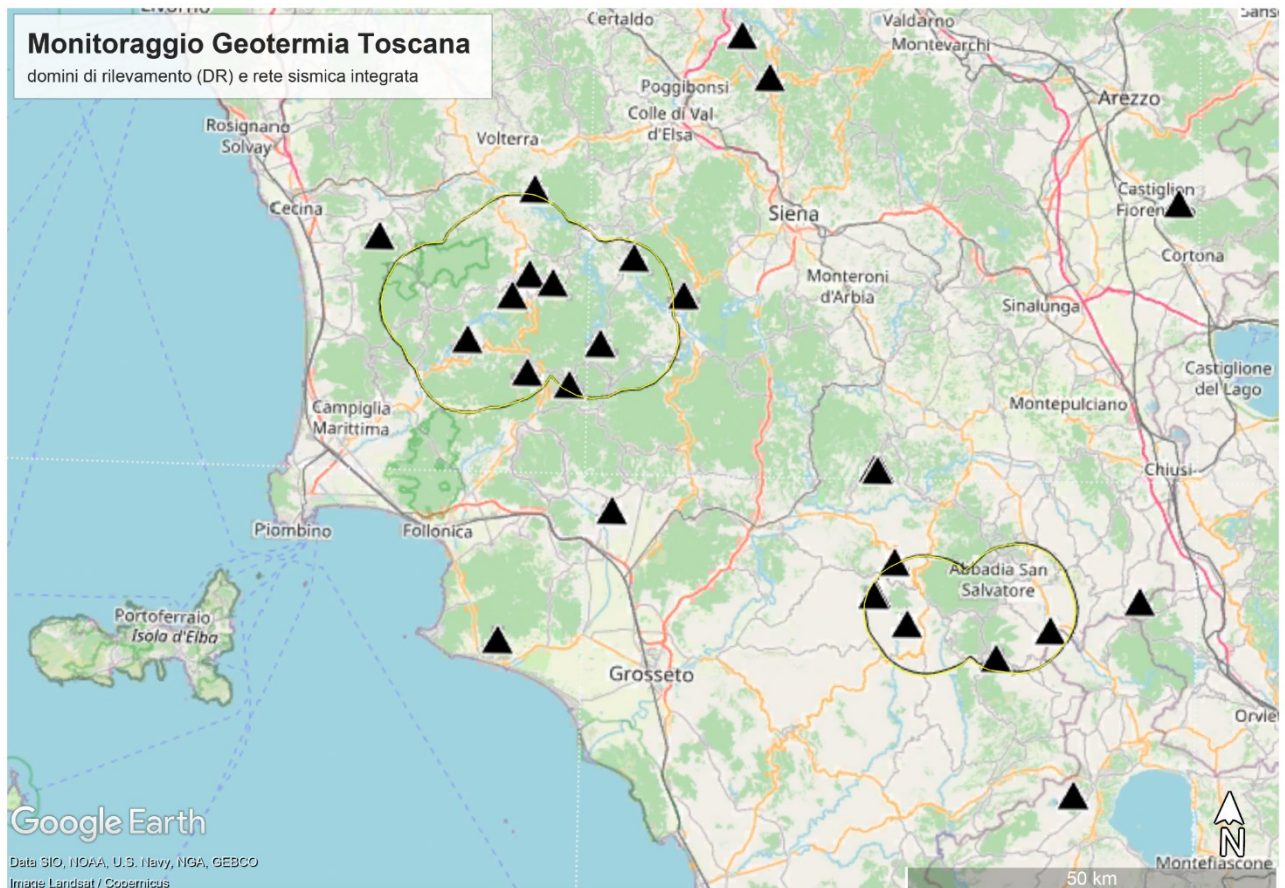


Figura 4.6. Dominio Interno di Rilevazione per l'area geotermica di Monte Amiata, calcolato sulla posizione geografica dei PR.

## 4.2 Modelli di velocità

Il sistema di monitoraggio del CMS si serve di modelli di velocità validi alla scala globale e alla scala locale della singola concessione. Tali modelli vengono predisposti per essere utilizzati all'interno di localizzatori 1D che forniscono rapidamente una soluzione ipocentrale automatica invertendo tutti i picks generati dal sistema per il modello di velocità assegnato. Il modello di velocità attualmente predisposto per il monitoraggio delle concessioni Larderello e Monte Amiata è ricavato da EGP (pers. comun.) e Bagagli et al. (2020).

Come primo approccio, per uso della routine di localizzazione Hypo71, sono stati definiti due modelli 1D a sette strati con assegnate velocità crescenti linearmente con la profondità (Figura 4.7)

Una volta a regime l'attività di monitoraggio delle suddette concessioni, sarà possibile valutare l'accuratezza del modello di velocità utilizzato in funzione della distribuzione della sismicità rilevata e dell'assetto geologico dell'area. Se ritenuto opportuno, quindi, si procederà con la scelta e l'adozione di un modello di velocità più dettagliato.

Figura 4.7. Modello di velocità 1D preliminari di Larderello (sx) e M. Amiata (dx) inseriti in SeisComP per la routine Hypo71.

Parameter	Value
TEST(01)	.1
TEST(02)	5.
TEST(03)	0.2
TEST(04)	.05
TEST(05)	5.
TEST(06)	1.
TEST(10)	100.
TEST(11)	999.
TEST(12)	.5
TEST(13)	1.
TEST(15)	0.
TEST(20)	1.
CRUSTAL_VE...	3.0, 5.1, 6.2, 6.2, 6.4, 6.4, 7.8
CRUSTAL_DE...	0.00, 0.45, 4.20, 10.00, 10.00, 24.00, 24.00
ZTR	5.0
XNEAR	50.
XFAR	150.
POS	1.7
KAZ	0
USE_TRIAL_P...	false
KNST	1
INST	0

Parameter	Value
TEST(01)	.1
TEST(02)	5.
TEST(03)	0.2
TEST(04)	.05
TEST(05)	5.
TEST(06)	1.
TEST(10)	100.
TEST(11)	999.
TEST(12)	.5
TEST(13)	1.
TEST(15)	0.
TEST(20)	1.
CRUSTAL_VE...	3.2, 3.2, 5.5, 5.8, 6.2, 6.4, 7.8
CRUSTAL_DE...	-2.00, 0.00, 0.30, 0.50, 5.50, 24.00, 24.00
ZTR	5.0
XNEAR	50.
XFAR	150.
POS	1.7
KAZ	0
USE_TRIAL_P...	false
KNST	1
INST	0

### 4.3 Calcolo della Magnitudo Locale $M_L$

Il calcolo della magnitudo locale  $M_L$  risale a Richter che osservò nel 1935 che il logaritmo del massimo valore del moto del suolo dei segnali sismici, registrati dallo stesso tipo di sensore sismico (Wood-Anderson *displacement seismometer*), diminuisce sistematicamente con la distanza. Richter calcolò la “grandezza” di un terremoto, comparando l’ampiezza di spostamento registrata  $A$  con quella di un evento di riferimento  $A_0$ , definendo come magnitudo il logaritmo del rapporto tra entrambe le ampiezze (Richter, 1958):

$$ML = \lg\left(\frac{A}{A_0}\right) = \lg A - \lg A_0 \quad \text{Eq. 4-1}$$

Richter scelse come ampiezza di riferimento un terremoto di  $ML = 0$ , in maniera tale che  $A_0$  risultasse essere 0.001 mm ad una distanza epicentrale di 100 km. Questo corrisponde alla formula definita da Bakun & Joyner (1984) e Boore (1989), che un terremoto di Magnitudo 3, registrato ad una distanza epicentrale di 100 km da un sismografo Wood-Anderson, come somma vettoriale delle componenti orizzontali (N,E), risulterebbe in un’ampiezza massima  $A=1$  mm (zero-picco).

Nella formula (Eq. 4-1) l'espressione “ $-lgA_0$ ” viene anche chiamata funzione di calibrazione e rappresenta il fattore di normalizzazione che tiene conto della diminuzione dell'ampiezza con la distanza (*geometrical spreading*).

Nella letteratura esistono tante definizioni della magnitudo locale (Tabella 4.1). Il crescente numero di stazioni delle reti sismiche moderne e la risultante maggiore densità delle stazioni, soprattutto per le reti di monitoraggio microsismiche, ha reso necessario di considerare nella formula per la magnitudo anche la profondità Z dell'evento e di sostituire nella funzione di calibrazione la distanza epicentrale D con quella ipocentrale  $R = \sqrt{(D_2 + Z_2)}$  (Tabella 4.1):

$ML = lgA + 1.00lg(R/100) + 0.00301(R - 100) + 3.0$	(Bakun & Joyner, 1984; Central California)
$ML = lgA + 1.11 lg(R/100) + 0.00189(R - 100) + 3.0$	(Hutton & Boore et al., 1987; S-California)
$ML = lgA + 1.11 lgR - 0.00095R + 0.69$	(Stange, 2006; Central Europe)
$ML = lgA + 1.749lg(R/100) + 0.00160(R - 100) + 2.9445$	(Di Bona, 2016; Italy)
$ML = lgA + 1.79 lgD - 0.58$	(Bobbio et al., 2010; Irpinia)
$ML = lgA + 1.11 lg(R) + 0.00189R - 2.09$	(Bomann et al., 2012; in [nm])

Tabella 4.1. Funzione di calibrazione in funzione della distanza ( $D < 100$  km) per varie definizioni di  $M_L$ .

Per il monitoraggio sismico delle attività di produzione Oil & Gas in Basilicata, il CMS utilizza attualmente la formula di Bakyun & Joyner (1984), una scelta che non deve necessariamente essere applicata alla Geotermia Toscana.

Un corretto calcolo della magnitudo è cruciale per l'applicazione di sistemi decisionali a semaforo (TLS), che si basano sul superamento di soglie di parametri chiave ( $M_L$ , PGV, PGA), come proposto da Dialuce et al. (2014) o da Braun et al., (2023). Nel calcolo della  $M_L$  confluiscono una serie di parametri a cascata, come

- l'ampiezza del segnale, che dipende dai metadati delle stazioni (*station.xml*)
- la distanza epicentrale, che è funzione del modello di velocità, e dalla qualità dei dati registrati
- la formula per il calcolo della magnitudo

tutti caratterizzati da una incertezza intrinseca associata (Garcia-Aristizabal et al. 2016).



## 4.4 Playback dati progressi

SeisComP viene utilizzato per l'analisi di dati sismici principalmente in real-time o in modo interattivo per definire i parametri di un qualsiasi evento sismico.

Essendo un programma a pacchetti, SeisComP è composto, come detto nei paragrafi precedenti, da una serie di moduli raggruppati secondo le loro funzionalità; acquisizione e archiviazione dei dati, gestione dei metadati, processamento automatico dei dati e analisi.

Ogni modulo è un singolo eseguibile che può essere utilizzato in continuo per l'analisi dei dati in real-time oppure eseguito da linea di comando per l'analisi di dati progressi o per attività di test al fine di migliorare i parametri di detezione degli eventi in modalità *autoplay*.

I moduli utilizzati in maniera sequenziale per "*off-line autoplay*" sono SCAUTOPIK, SCANLOC, SCAMP, SCMAP, SCEVENT, analogamente all'analisi in real-time.

E' stato realizzato uno script per l'analisi dei dati progressi tuttora in funzione. Nella figura seguente viene riportato un esempio di localizzazioni automatiche eseguite in modalità *offline* per l'analisi dei dati nel periodo precedente l'acquisizione automatica.

Come per l'analisi in *real-time*, gli eventi localizzati automaticamente dal sistema verranno infine revisionati manualmente da un analista.

OT (UTC)	Type	M	MType	Phases	RMS (s)	Lat (*)	Lon (*)	Depth	DType	Stat	Agency	Author	Region	ID
2024-06-05 12:14:34	Unassociated													
2024-06-05 08:09:55	1.86	MLbj	5	0.108	42.9403 N	11.6939 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024laahy	
2024-06-05 08:09:55	1.86	MLbj	5	0.015	43.2310 N	10.8166 E	3.4 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kzsgb	
2024-06-05 08:09:55	1.23	M	8	0.628	43.2205 N	10.8793 E	2.7 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kzsfog	
2024-06-04 22:34:07	0.35	MLbj	6	0.013	42.8575 N	11.6261 E	0.7 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kyzgc	
2024-06-04 21:42:49	0.42	M	6	0.461	43.1741 N	11.0809 E	4.4 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kyzob	
2024-06-03 23:39:37	4.07	M	10	0.667	43.2407 N	10.8814 E	3.0 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kxfvy	
2024-06-03 18:47:07	0.20	M	6	0.034	43.1060 N	11.5500 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kwgwa	
2024-06-03 18:46:52	2.47	M	6	0.157	43.8695 N	11.1596 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kwfww	
2024-06-03 17:00:02	-0.07	M	6	0.114	43.0867 N	11.4734 E	4.0 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kwsse	
2024-06-03 11:53:48	0.20	M	6	0.071	42.9012 N	11.3636 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kwipl	
2024-06-03 09:40:28	1.49	M	12	0.380	43.1568 N	11.0497 E	4.7 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kwefa	
2024-06-03 06:51:07	2.31	M	11	0.946	43.0559 N	11.0649 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kvyrt	
2024-06-03 06:49:17	7.39	M	7	0.044	43.1113 N	11.0588 E	4.6 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kvyoe	
2024-06-03 04:11:32	1.71	M	5	0.125	43.1305 N	10.7077 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kvtiw	
2024-06-03 02:28:12	0.38	MLbj	5	0.194	42.7985 N	11.5386 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kvyff	
2024-06-02 09:25:27	1.73	M	6	0.481	43.3017 N	10.8445 E	2.9 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kuifk	
2024-06-02 09:25:27	1.85	M	12	0.105	43.2731 N	10.8238 E	4.4 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kuieu	
2024-06-01 05:26:09	0.89	M	10	0.070	43.1384 N	11.6087 E	1.6 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024ksseu	
2024-06-01 05:15:41	2.38	M	7	0.174	43.1007 N	11.1520 E	4.9 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kskif	
2024-06-01 05:15:41	2.38	M	7	0.174	43.1007 N	12.1526 E	2.0 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kskeli	
2024-06-01 02:58:45	1.32	M	7	0.463	43.0825 N	11.0606 E	3.4 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024krzxr	
2024-06-01 02:37:31	0.71	M	6	0.240	42.9645 N	11.6809 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024krzfn	
2024-06-01 00:47:09	1.75	M	10	0.067	43.1715 N	11.0258 E	5.0 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024krvov	
2024-05-31 13:46:09	0.94	M	9	0.041	43.0159 N	11.3548 E	5.8 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kqztt	
2024-05-30 23:36:21	0.81	M	7	0.046	43.0048 N	11.2106 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kpxst	
2024-05-30 22:38:12	0.56	M	5	0.229	43.2012 N	11.0997 E	4.9 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kpmth	
2024-05-30 09:48:21	1.73	M	10	0.266	43.1409 N	10.9032 E	5.1 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kqwkf	
2024-05-29 23:14:03	0.63	MLbj	5	0.069	43.2226 N	10.9602 E	3.1 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kobmh	
2024-05-29 17:37:20	0.33	M	5	0.131	42.9160 N	11.3285 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024knoik	
2024-05-29 16:35:23	0.84	M	6	0.138	43.2009 N	11.5330 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024knoig	
2024-05-29 16:23:55	0.29	M	6	0.125	43.1665 N	11.5374 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024knnyl	
2024-05-29 10:54:14	2.87	M	9	0.047	43.4689 N	11.0586 E	2.7 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kndbp	
2024-05-29 09:11:27	0.21	M	5	0.020	43.0058 N	11.4832 E	8.1 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024knczf	
2024-05-29 04:37:54	1.29	M	9	0.074	43.3669 N	11.0537 E	4.3 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kncqt	
2024-05-29 00:37:15	1.57	M	5	0.330	43.1468 N	11.0735 E	2.3 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kcmish	
2024-05-28 23:34:03	3.63	M	16	0.200	43.1347 N	11.0174 E	4.9 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kcmgb	
2024-05-28 22:26:12	0.92	M	5	0.088	43.2927 N	11.0356 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kcmjw	
2024-05-28 14:11:52	0.27	M	5	0.037	42.9848 N	11.5166 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024klobu	
2024-05-28 13:19:16	1.62	MLbj	5	0.338	43.1320 N	11.5967 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024klmir	
2024-05-28 11:30:20	1.26	M	6	0.268	43.2205 N	10.8932 E	3.1 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024klitf	
2024-05-27 15:30:56	2.96	M	5	0.301	43.2328 N	10.9252 E	10.6 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kljeh	
2024-05-27 13:30:27	0.50	M	5	0.065	42.8812 N	11.3630 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024kljey	
2024-05-27 02:37:46	0.05	M	5	0.084	43.0791 N	11.6694 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024klvra	
2024-05-27 02:20:59	-0.59	M	6	0.009	42.9915 N	11.4671 E	4.5 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024klvcp	
2024-05-26 21:00:45	1.51	M	9	0.056	43.1756 N	11.0581 E	4.9 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024klknw	
2024-05-26 20:06:39	1.29	M	5	0.121	43.1860 N	10.9804 E	5.0 km	operator assigned	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024klkit	
2024-05-26 14:48:19	3.83	M	14	0.128	43.1503 N	11.0066 E	4.6 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024klhygk	
2024-05-26 02:48:23	0.53	M	5	0.538	43.1310 N	11.0729 E	4.4 km	from location	A	INGV1	elscanloc@intrepid	Central Italy	cms-ingv2024klhnamu	

Figura 4.8. Lista eventi localizzati dalla procedura automatica ottenuta dal *autoplay* dei dati tra il 26/05/2024 e il 05/06/2024.

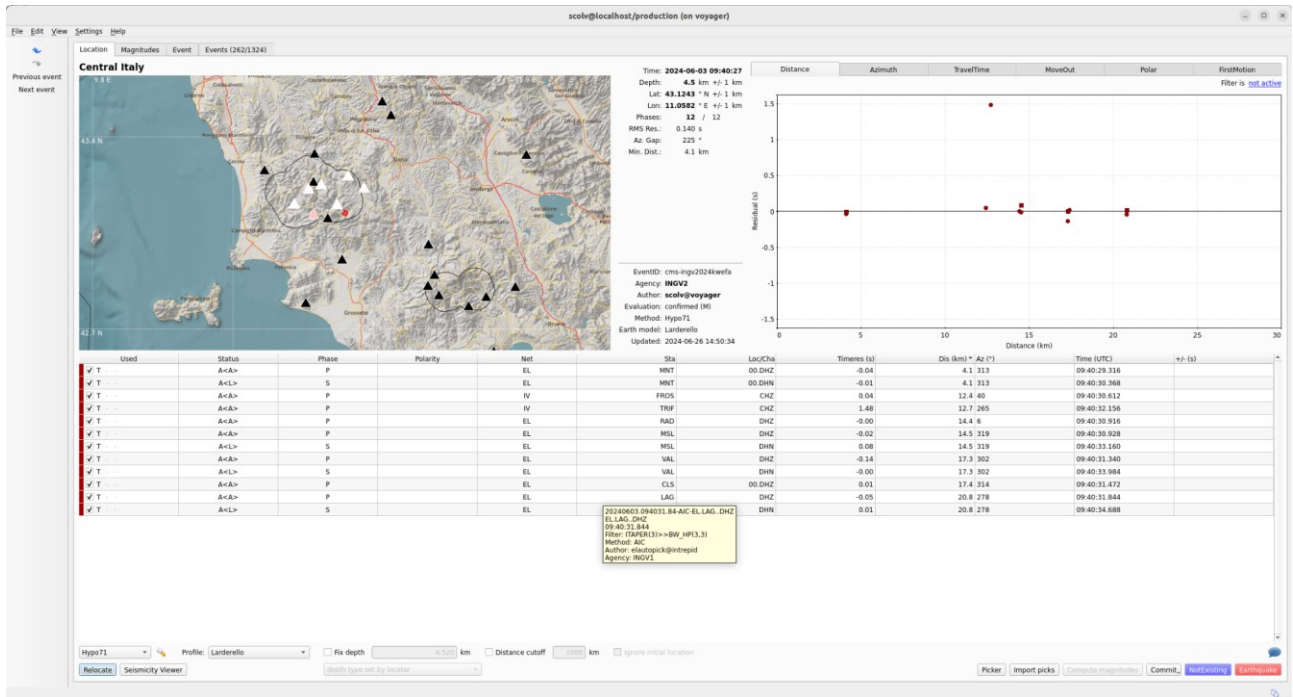


Figura 4.9. In figura viene mostrato uno degli eventi localizzato in automatico.

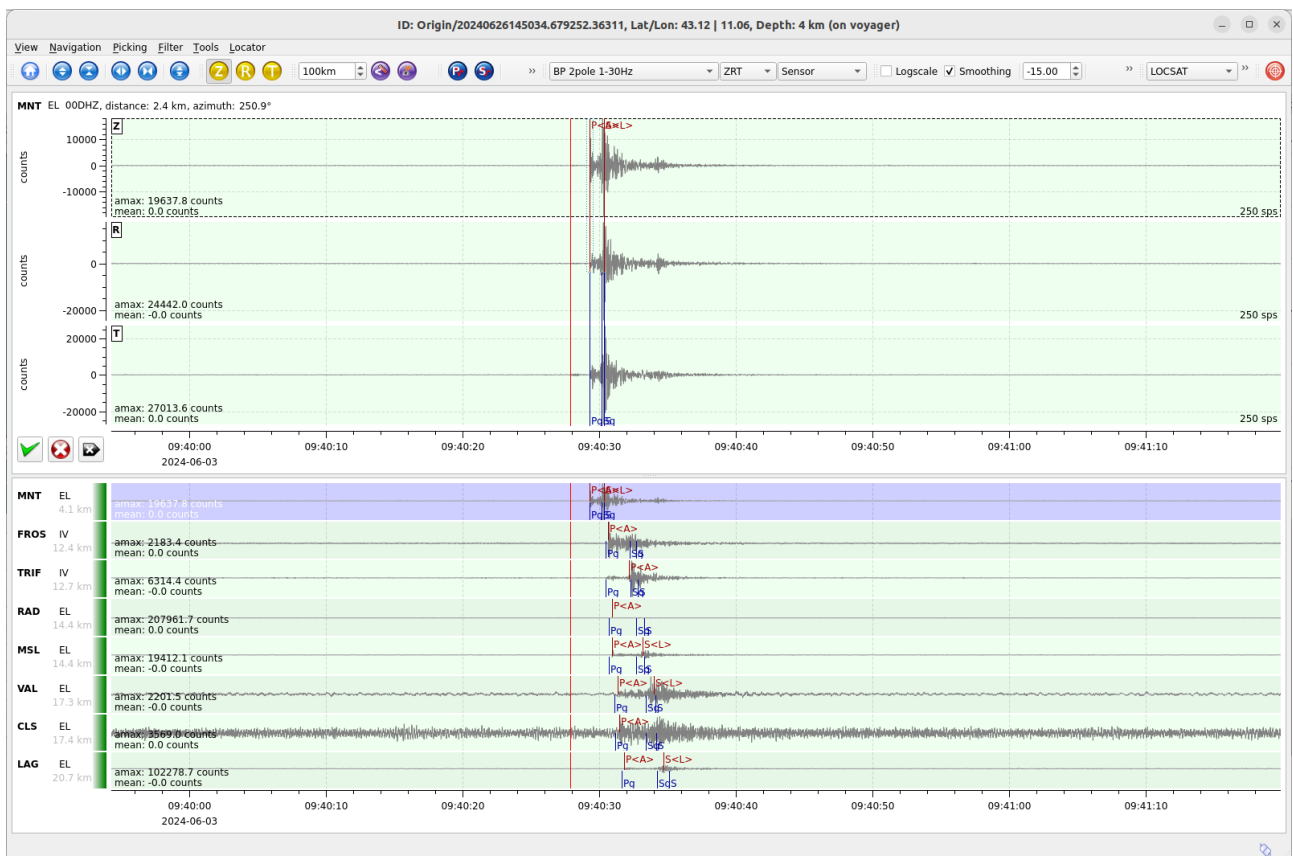


Figura 4.10. Forme d'onda delle stazioni utilizzate dal sistema per la localizzazione dell'evento mostrato nella figura precedente (Figura 4.9) e in rosso i pick automatici delle onde P ed S.

## 5 Bollettino sismico 2023/2024

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 nel presente report e riassunte nel §7 l'attività della turnazione di monitoraggio non è ancora cominciata.

Prima dell'inizio dei regolari turni devono essere stati validati gli *station.xml* (§2.3) per la rete EGP e i modelli velocità per le aree di Larderello e M. Amiata (§4.2).

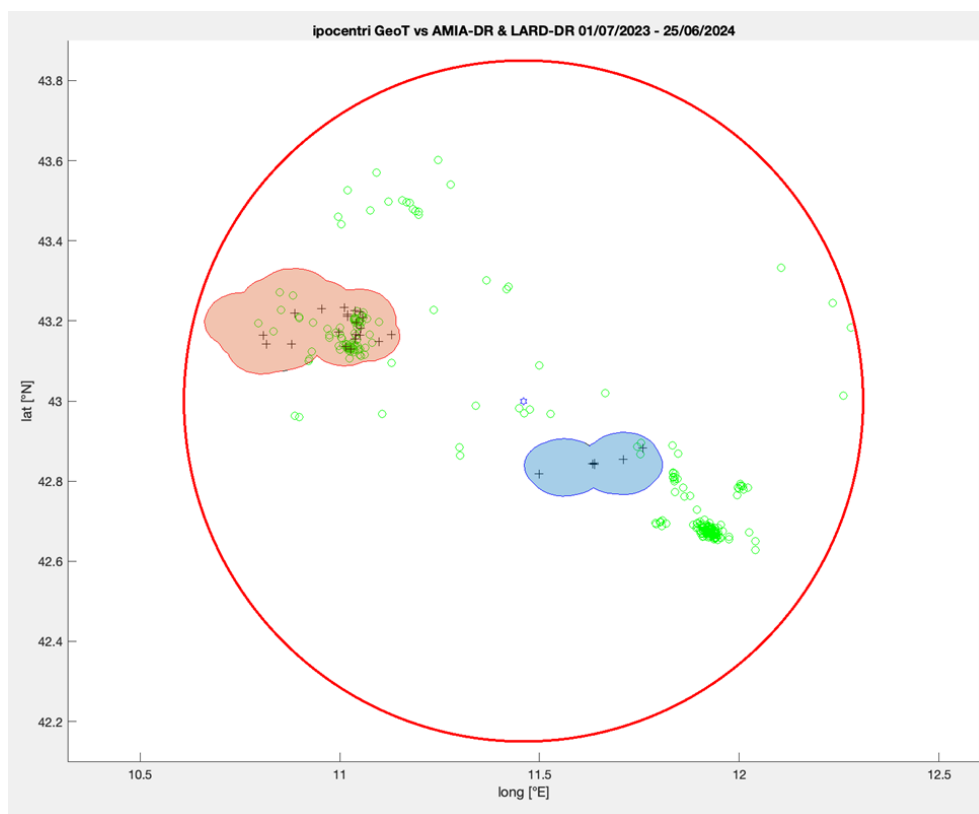
Per la creazione a posteriori di un catalogo degli eventi sismici sulla base dei dati arretrati della rete sismica integrata (dal 01/07/2023 alla data dell'inizio dei turni) deve prima concludere la fase dell'archiviazione dei dati. Un esempio del processo del cosiddetto *PLAYBACK* viene presentato in §5.2.

Nel frattempo si presenta il bollettino degli eventi sismici localizzati dalla RSN dell'INGV all'interno dei domini di rilevazione definiti in §4.1 e gli eventi localizzati in automatico dal sistema e rivisti dall'analista in fase di test dal CMS.

### 5.1 Bollettino IV

Per valutare la sismicità nel periodo 01/07/2023 - 25/06/2024 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°N/11.46°E; cerchio nero in Figura 5.5) che comprende entrambi i Domini di Rilevazione di Larderello (DR\_LARD) e del M. Amiata (DR\_AMIA) del LARD\_DR. All'interno di tale area e per il suddetto periodo sono stati estratti 290 eventi con magnitudo  $M \geq 0$  Figura 5.5, (Appendice A).

Figura 5.1. 290 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.



Attraverso l'applicazione di un codice di discriminazione volumetrica, che tiene conto sia dei confini areali sia della profondità (§4.1), è stato possibile di individuare 21 eventi all'interno del DR\_LARD e 6 eventi nel DR\_AMIA (crocette nere in Figura 5.1 e Figura 5.2).

Figura 5.2. Rappresentazione 3D della mappa in Figura 5.1. Le crocette nere indicano i 21 + 6 eventi verificatisi negli ultimi 12 mesi all'interno dei domini di rilevamento DR\_LARD (rosso) e DR\_AMIA (blu).

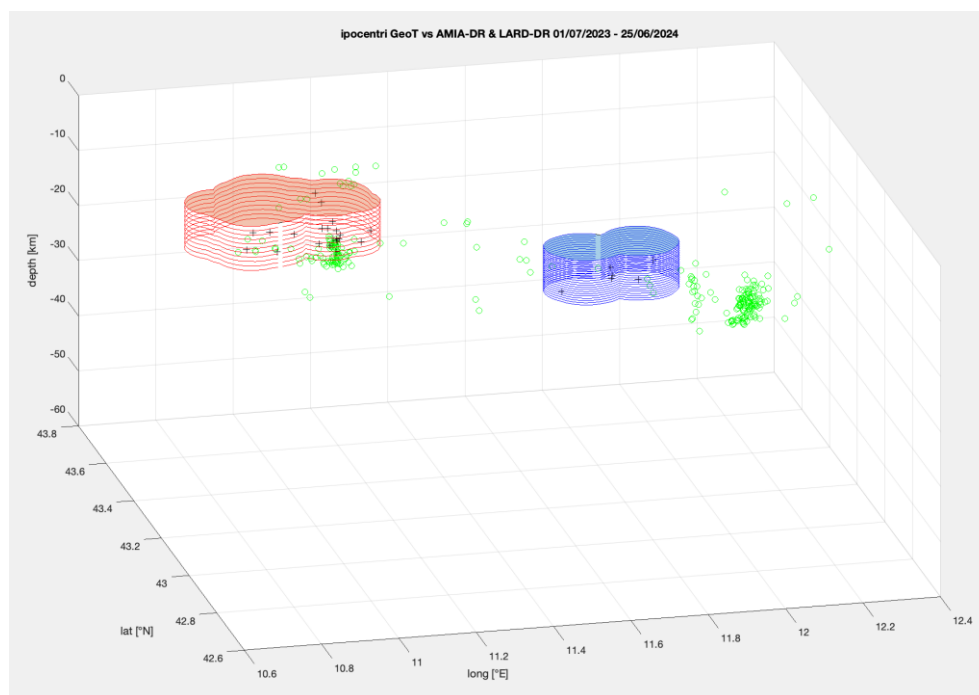


Figura 5.3. Eventi elencati in ordine di  $M_L$  decrescente, verificatisi nel periodo 01/07/2023 - 25/06/2024 all'interno dei Domini di Riferimento DR\_LARD (rosso) e DR\_AMIA (blu).

Nr	Data Orario (UTC)	Lati.	Longi.	Prof. (km)	ML	Epicentro (Provincia)	LDR	ADR
10	2023-07-10T02:52:42.7	43.16420	10.80830	7.6	2.3	4 km W Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
199	2024-01-06T04:23:15.5	43.17170	10.99820	7.8	2.1	5 km NW Montieri (GR)	1	0
1	2023-07-01T08:20:23.2	43.23030	10.95570	7.8	1.9	5 km NE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
16	2023-07-23T09:52:20.7	43.15450	11.03770	6.9	1.9	3 km NE Montieri (GR)	1	0
3	2023-07-02T09:32:04.3	43.14170	10.81700	3.8	1.8	3 km W Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
39	2023-08-29T23:33:03.3	43.16520	11.04080	7	1.8	4 km W Chiusdino (SI)	1	0
195	2023-12-27T02:13:36.9	43.13030	11.02720	8	1.8	1 km E Montieri (GR)	1	0
217	2024-02-18T03:21:45.3	43.22250	11.05130	5.8	1.8	4 km S Radicondoli (SI)	1	0
210	2024-02-17T01:58:23.3	43.20830	11.05670	7	1.7	6 km S Radicondoli (SI)	1	0
289	2024-06-19T20:33:31.4	43.21870	10.88770	6.7	1.7	2 km NW Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
273	2024-05-19T13:29:24.4	43.16480	11.05070	6.2	1.6	3 km W Chiusdino (SI)	1	0
211	2024-02-17T01:58:49.9	43.22570	11.03920	7	1.4	4 km S Radicondoli (SI)	1	0
226	2024-02-29T01:48:24.7	43.23330	11.01120	0.7	1.3	4 km SW Radicondoli (SI)	1	0
151	2023-10-06T17:21:05.3	43.13680	11.01420	7	1.2	1 km NW Montieri (GR)	1	0
12	2023-07-13T03:27:45.9	43.14270	10.87920	7.6	1.1	2 km E Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
232	2024-03-07T22:10:35.1	43.19580	11.04220	7.8	1.1	6 km NW Chiusdino (SI)	1	0
175	2023-11-05T14:46:14.2	43.18220	11.05280	7.5	0.8	4 km NW Chiusdino (SI)	1	0
239	2024-03-22T04:42:00.5	43.16630	11.12970	5.9	0.8	3 km E Chiusdino (SI)	1	0
248	2024-04-17T22:13:28.7	43.21080	11.01900	6.4	0.8	6 km SW Radicondoli (SI)	1	0
243	2024-04-15T04:09:52.5	43.21650	11.02020	2	0.7	5 km SW Radicondoli (SI)	1	0
256	2024-04-21T19:12:48.0	43.14830	11.09850	7.2	0.6	1 km SE Chiusdino (SI)	1	0
249	2024-04-18T18:17:19.7	42.88330	11.75830	5	2.5	2 km SW Radicofani (SI)	0	1
286	2024-06-11T15:02:58.2	42.85380	11.71020	7.3	1.7	1 km E Piancastagnaio (SI)	0	1
288	2024-06-16T06:43:15.5	42.84570	11.63820	6.5	1.7	4 km E Santa Fiora (GR)	0	1
216	2024-02-17T19:35:20.4	42.84330	11.63350	4.4	1.5	4 km E Santa Fiora (GR)	0	1
218	2024-02-18T12:30:28.9	42.84270	11.63850	5.8	1.3	4 km E Santa Fiora (GR)	0	1
257	2024-04-25T02:27:37.7	42.81780	11.49950	7.1	0.8	4 km N Roccalbegna (GR)	0	1

La Figura 5.3 riassume il risultato dell'algoritmo di discriminazione e elenca in ordine di magnitudo decrescente gli eventi con ipocentro all'interno del DR\_LARD (rosso) e del DR\_AMIA (blu).

Avendo a disposizione tutti gli strumenti per calcolare per ogni evento sismico, la sua Magnitudo e l'ipocentro relativo ai volumi di Monitoraggio (domini di rilevamento), si pone la domanda quale "sistema a semaforo" (TLS) applicare per decidere il livello/colore di allerta (schema di comunicazione) ed eventuali azioni da intraprendere (schema di reazione).

Su suggerimento di Braun et al. (2023), nel §7.3 del Report 5 (CMS, 2023) la SPM ha proposto il seguente "sistema a semaforo" (Figura 5.4).

Figura 5.4. Proposta di uno "schema di comunicazione" da applicare al monitoraggio Geotermia Toscana (Braun et al., 2023 e CMS, 2023).

competenza	Livello	Magnitudo ML	PGV [mm/s]	Intensità EMS-98	PGA [mm/s <sup>2</sup> ]
cessionario	0 - ordinario	< 1.0	< 0.1	I	< 0.17
	1 - ordinario	1.0 < 2.0	0.1 < 1	I	< 0.17
	2 - attenzione	1.0 < 2.0	0.1 < 1	II - III	0.17 ≤ 1.4
Ufficio Miniere Comitato	3 - attenzione	≥ 2.0	1.1 ≤ 4.9	≥ IV	1.4 ≤ 3.9
	4 - allerta	≥ 2.0	≥ 5.0	> V	3.9 ≤ 9.2
	5 - allerta	≥ 2.0	≥ 5.0	≥ VII	> 9.2

Comparando la lista degli eventi elencati nella Figura 5.3 con lo schema TLS rappresentato in Figura 5.4, nel periodo 01/07/2023 - 25/06/2024 si sarebbero verificati 2 eventi (nr. 10 e 199) per il DR\_LARD e 1 evento (nr. 249) che superano la soglia gialla di magnitudo  $M_L \geq 2.0$ .

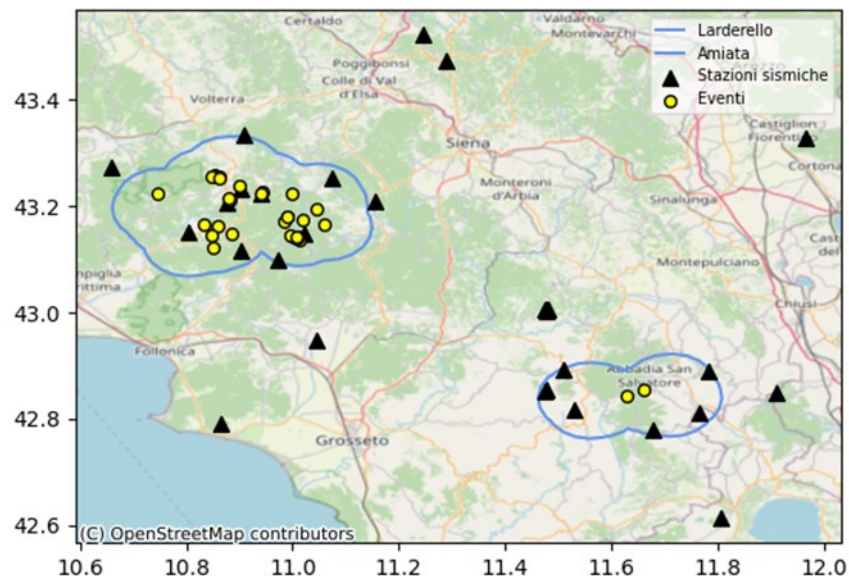
## 5.2 Esempio Bollettino CMS

Dal 13 Giugno 2024 con l'acquisizione in *real-time* dei dati di tutte le stazioni che compongono la rete per il monitoraggio delle aree della Geotermia Toscana, è iniziato il monitoraggio dell'area in una fase preliminare per i motivi menzionati precedentemente. Dal 13 al 24 Giugno 2024 sono stati localizzati e rivisti da un analista 32 eventi sismici entro i limiti dei Domini Interni delle aree Larderello e Amiata. La Tabella 5.1 seguente mostra i parametri sismici calcolati per ogni evento.

download_eventi_db_2.sh				eventi_MA_2024-06-13.txt										StatoStazioni_ma.txt	
ID	ID_num	Day	Time	TimeIta	Lat	Lon	ErroreOrizz	Depth	Magnitude	Fast	RMS	DomInio	comune		
1	cns-tngv2024lnuok	1	2024-06-13	01:12:27	01:12:27	43.173	11.020	0.300	2.46 +/- 0.6	0.7 +/- 0.6	19	0.140	Larderello	Travale Grosseto	
2	cns-tngv2024lodtt	2	2024-06-13	05:38:18	06:38:18	42.854	11.660	0.400	0.45 +/- 0.4	0.6 +/- 0.8	21	0.170	Amiata Saragiolo Siena		
3	cns-tngv2024lpppj	3	2024-06-14	00:27:25	01:27:25	43.181	10.989	0.199	4.99 +/- 0.4	0.7 +/- 1.9	23	0.100	Larderello	Radicondoli Siena	
4	cns-tngv2024lprhm	4	2024-06-14	02:49:06	02:49:06	43.167	11.061	0.800	4.9 +/- 0.6	-0.2 +/- 0.5	11	0.100	Larderello	Montieri Grosseto	
5	cns-tngv2024lptnm	5	2024-06-14	02:56:43	03:56:43	43.239	10.901	0.300	2.0 +/- 0.4	0.4 +/- 0.5	13	0.090	Larderello	Ponarance Pisa	
6	cns-tngv2024lqwes	6	2024-06-14	17:25:41	18:25:41	43.122	10.850	0.300	1.61 +/- 0.3	0.7 +/- 2.1	19	0.080	Larderello	Monterotondo Marittimo Grosseto	
7	cns-tngv2024lrezj	7	2024-06-14	21:51:59	22:51:59	43.142	11.001	0.199	4.89 +/- 0.3	0.6 +/- 0.6	19	0.060	Larderello	Montieri Grosseto	
8	cns-tngv2024lzeuz	8	2024-06-16	23:28:38	(+2) 00:28:38	43.170	10.984	0.300	4.21 +/- 0.4	-0.3 +/- 0.3	7	0.010	Larderello	Travale Grosseto	
9	cns-tngv2024ltryf	9	2024-06-16	06:43:16	07:43:16	42.844	11.629	0.600	3.63 +/- 0.8	2.4 +/- 0.7	37	0.270	Amiata BagnoLo Grosseto		
10	cns-tngv2024luskw	10	2024-06-16	20:03:27	21:03:27	43.162	10.860	0.400	3.0 +/- 0.6	0.9 +/- 2.1	17	0.160	Larderello	Sasso Pisano Pisa	
11	cns-tngv2024lubke	11	2024-06-16	11:27:17	12:27:17	43.194	11.044	0.800	2.43 +/- 2.8	0.8 +/- 0.4	9	0.170	Larderello	Radicondoli Siena	
12	cns-tngv2024luzet	12	2024-06-16	23:28:21	(+2) 00:28:21	43.181	10.989	0.800	5.34 +/- 1.3	0.2 +/- 0.3	9	0.070	Larderello	Radicondoli Siena	
13	cns-tngv2024lvzky	13	2024-06-17	12:43:35	13:43:35	43.147	10.885	0.600	0.48 +/- 224.9	0.9 +/- 2.4	12	0.180	Larderello	Monterotondo Marittimo Grosseto	
14	cns-tngv2024lwcba	14	2024-06-17	14:02:55	15:02:55	43.225	10.998	0.300	5.97 +/- 0.6	0.8 +/- 0.6	18	0.090	Larderello	Radicondoli Siena	
15	cns-tngv2024lwfxb	15	2024-06-17	15:59:35	16:59:35	43.166	10.834	0.501	0.93 +/- 4.1	1.4 +/- 2.4	15	0.120	Larderello	Sasso Pisano Pisa	
16	cns-tngv2024lwsmw	16	2024-06-17	22:25:49	23:25:49	43.140	11.009	0.300	5.15 +/- 0.4	0.7 +/- 0.7	15	0.090	Larderello	Montieri Grosseto	
17	cns-tngv2024lwtay	17	2024-06-17	22:38:40	23:38:40	43.137	11.014	0.400	5.44 +/- 0.5	0.9 +/- 0.6	13	0.080	Larderello	Montieri Grosseto	
18	cns-tngv2024lyctcf	18	2024-06-18	16:40:08	17:40:08	43.142	11.011	0.400	5.07 +/- 0.5	0.9 +/- 0.7	11	0.070	Larderello	Montieri Grosseto	
19	cns-tngv2024lmaqbh	19	2024-06-19	20:36:25	21:36:25	43.213	10.802	0.300	2.0 +/- 0.4	1.4 +/- 2.0	19	0.100	Larderello	Castelnuovo di Val di Cecina Pisa	
20	cns-tngv2024naldf	20	2024-06-19	23:10:14	(+2) 00:10:14	43.258	10.853	0.300	4.31 +/- 1.4	1.0 +/- 0.4	7	0.020	Larderello	Ponarance Pisa	
21	cns-tngv2024lyvvg	21	2024-06-19	02:48:37	03:48:37	43.146	10.849	0.300	2.03 +/- 0.3	1.5 +/- 2.0	21	0.130	Larderello	Monterotondo Marittimo Grosseto	
22	cns-tngv2024nafyf	22	2024-06-19	20:33:31	21:33:31	43.216	10.879	0.600	0.4 +/- 0.3	1.8 +/- 1.8	118	0.280	Larderello	Ponarance Pisa	
23	cns-tngv2024naltn	23	2024-06-19	23:16:27	(+2) 00:16:27	43.256	10.862	0.400	6.82 +/- 0.5	1.4 +/- 2.3	12	0.070	Larderello	Ponarance Pisa	
24	cns-tngv2024nanfw	24	2024-06-20	00:14:06	01:14:06	43.255	10.858	0.400	6.25 +/- 0.4	0.9 +/- 0.5	14	0.070	Larderello	Ponarance Pisa	
25	cns-tngv2024naqom	25	2024-06-20	01:54:53	02:54:53	43.256	10.848	0.199	5.65 +/- 0.3	1.0 +/- 0.3	7	0.010	Larderello	Ponarance Pisa	
26	cns-tngv2024naxoo	26	2024-06-20	06:27:07	06:27:07	43.254	10.861	0.300	6.79 +/- 0.3	1.3 +/- 2.2	15	0.060	Larderello	Ponarance Pisa	
27	cns-tngv2024nadbq	27	2024-06-21	09:46:14	10:46:14	43.227	10.944	0.400	4.22 +/- 0.4	0.9 +/- 0.5	12	0.080	Larderello	Radicondoli Siena	
28	cns-tngv2024ndvvg	28	2024-06-21	21:28:35	21:28:35	43.225	10.941	0.501	4.52 +/- 0.6	0.4 +/- 0.5	15	0.140	Larderello	Radicondoli Siena	
29	cns-tngv2024nglbt	29	2024-06-23	05:56:28	06:56:28	43.225	10.747	0.600	6.03 +/- 1.1	1.1 +/- 0.4	15	0.090	Larderello	Monteverdi Marittimo Pisa	
30	cns-tngv2024nhggz	30	2024-06-23	16:39:01	17:39:01	43.140	11.007	0.199	5.47 +/- 0.4	2.7 +/- 1.5	34	0.130	Larderello	Montieri Grosseto	
31	cns-tngv2024nhgut	31	2024-06-23	16:55:04	17:55:04	43.144	10.995	0.199	4.98 +/- 0.3	1.6 +/- 0.4	19	0.060	Larderello	Gerfalco Grosseto	
32	cns-tngv2024ntaky	32	2024-06-24	02:49:48	03:49:48	43.142	11.008	0.199	5.35 +/- 0.3	1.8 +/- 1.7	23	0.090	Larderello	Montieri Grosseto	

Tabella 5.1. Parametri degli eventi localizzati automaticamente in real-time e rivisti da un analista.

Figura 5.5. Monitoraggio sismico automatico delle aree LARD\_DR e AMIA\_DR, rivisto da un analista per il periodo 13-24/06/2024, Tabella 5.1.



Durante ogni turno l'analista verifica la corretta acquisizione dei dati, lo stato della rete e la qualità del dato acquisito. Inoltre si occupa di revisionare gli eventi localizzati dal sistema in automatico in real-time per correggere eventualmente i primi arrivi delle onde P ed S e scartare forme d'onda particolarmente rumorose che possano compromettere la corretta localizzazione di un evento. A fine turno viene redatto un bollettino riassuntivo della sismicità dell'area per quella giornata ed eventuali malfunzionamenti della rete. Di seguito viene mostrato un esempio di bollettino giornaliero per la giornata del 16 Giugno 2024 (Figura 5.6).



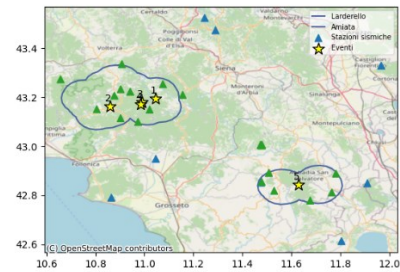
### Bollettino Sismico Giornaliero del giorno 2024-06-16

La Sala di sorveglianza del CMS ha localizzato i seguenti eventi:

#### Concessione Geotermia Toscana

Per tutti gli eventi sono stati utilizzati i seguenti parametri di localizzazione:  
 Modelli di struttura: Lardereello e Amiata  
 Algoritmo di inversione: Hypo71

ID	Data	Ora UTC	Lat. (°)	Lon. (°)	Err. Oriz. (km)	Prof. (km)	Mag. (MLb)	N. fasi	RMS	PGV (m/s)	PGA (m/s <sup>2</sup> )	Dominio	Comune
1	2024-06-16	11:27:17	43.194	11.044	0.8	2.43 +/- 2.8	0.8 +/- 0.4	9	0.17	1.72E-05	1.08E-03	Lardereello	Radicorona I Siena
2	2024-06-16	20:03:27	43.182	10.860	0.4	3.0 +/- 0.6	0.9 +/- 2.1	17	0.16	1.26E-05	4.51E-04	Lardereello	Sasso Pisano Pisa
3	2024-06-16	23:28:21	43.181	10.989	0.8	5.34 +/- 1.3	0.2 +/- 0.3	9	0.07	7.81E-06	7.48E-04	Lardereello	Radicorona I Siena
4	2024-06-16	23:28:38	43.170	10.984	0.3	4.21 +/- 0.4	-0.3 +/- 0.3	7	0.01	NAN	NAN	Lardereello	Traverseto Grosseto
5	2024-06-16	06:43:16	42.844	11.629	0.6	3.63 +/- 0.8	2.4 +/- 0.7	37	0.27	3.91E-03	8.43E-02	Amiata	Bagnole Grosseto



#### Stato delle stazioni:

Rete IV: ARCI e MAGO no data, CASP alcune interruzioni dalle 6 alle 20.

Rete EL: MLT no data.

Rete MALA: MALA4 no data.

Figura 5.6. Esempio bollettino giornaliero di monitoraggio per la concessione Geotermia Toscana.

## 6 Divulgazione risultati

### 6.1 Sistema di messaggistica

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 relativo ad eventi sismici rilevati disseminazione dei messaggi basati su *templates*, attraverso vari canali di comunicazione

A - GeoT Event cms-ingv2024mhgut: 23-06-2024 16:55:04 M: 1.4 (M) : 1.4 (M) ▷

voyager@bo.ingv.it  
a Undisclosed ▾

Event:  
Public ID cms-ingv2024mhgut  
Description  
region name: Central Italy  
Origin:  
Date 2024-06-23  
Time 16:55:04.7 +/- 1.2 s  
Latitude 43.15 deg +/- 2 km  
Longitude 10.98 deg +/- 4 km  
Depth 5 km +/- 6 km  
Agency INGV1  
Mode automatic  
Status NOT SET  
Residual RMS 0.16 s  
Azimuthal gap 121 deg

1 Network magnitudes:  
M 1.38 1 preferred

9 Phase arrivals:

sta	net	dist	azi	phase	time	res	wt	sta
MNT	EL	0.0	82	P	16:55:06.2	0.1 A	1.0	MNT
CRD	EL	0.0	188	P	16:55:06.5	0.1 A	1.0	CRD
CRD	EL	0.0	188	S	16:55:07.8	0.1 A	1.0	CRD
MSL	EL	0.1	339	P	16:55:07.1	0.0 A	1.0	MSL
MSL	EL	0.1	339	S	16:55:08.9	0.1 A	1.0	MSL
VAL	EL	0.1	309	P	16:55:07.5	0.1 A	1.0	VAL
CLS	EL	0.1	326	P	16:55:07.6	0.1 A	1.0	CLS
CLS	EL	0.1	326	S	16:55:09.3	-0.3 A	1.0	CLS
RIBO	IV	0.2	167	P	16:55:09.0	-0.3 A	1.0	RIBO

No station magnitudes

Nearest cities:  
20 km N of Ribolla  
22 km SW of Rosia  
25 km SW of Sovicille

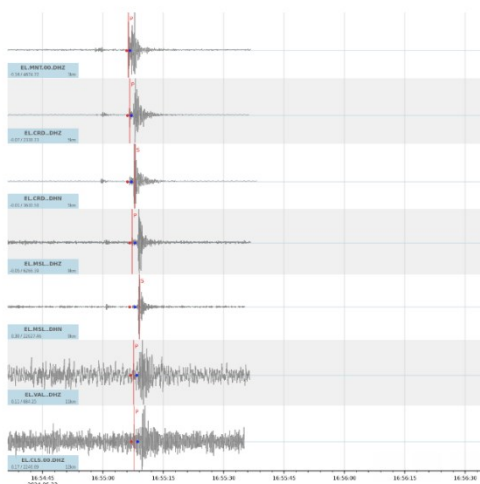
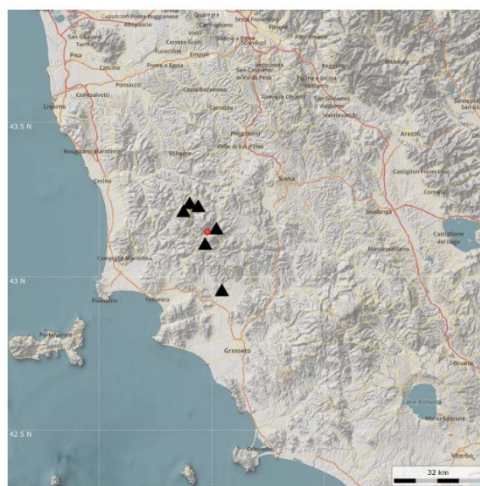


Figura 6.1. Esempio di un messaggio automatico generato dal sistema AMSG relativo ad un evento sismico verificatosi all'interno del dominio LARD\_DR.



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 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 offre una soluzione completa e personalizzabile per le esigenze di monitoraggio sismico e diffusione degli avvisi (Gempa, 2024).

## 6.2 Pagina WEB

Nella sezione "Geotermia Toscana" del sito web del CMS (<http://cms.ingv.it/sperimentazioni/geotermia-toscana>), 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 6.2. 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;

## 7 Conclusioni e raccomandazioni

L'obiettivo principale dell'ACS tra RT-INGV, denominato "PROSECUZIONE DEL MONITORAGGIO SISMICO INTEGRATO DELLE AREE GEOTERMICHE TOSCANE" è la realizzazione di un sistema di monitoraggio sismico per le aree geotermiche toscane di Larderello e Monte Amiata.

Gli obiettivi principali definiti nell'accordo si articolano in tre attività: (i) miglioramento della rete sismica, (ii) realizzazione del sistema di monitoraggio, (iii) supporto tecnico-scientifico alla Regione Toscana.

- (i) **RETE SISMICA:** nel primo anno del nuovo ACS (2023-2026) è stata conclusa la ristrutturazione dell'hardware dell'array MALA, installato nei pressi di Montalcino. Con i fondi finanziari della precedente convenzione ACS (2020 - 2023) sono stati acquistati e poi installati nuovi digitalizzatori a basso consumo, un sensore a larga banda e un accelerometro (§2.2), come previsto dalle linee guida ministeriali ILG (Dialuce et al., 2014) e LGEO (Terlizzese, 2016). La sostituzione dell'hardware ha portato un notevole miglioramento delle prestazioni strumentali. L'installazione di due nuove stazioni sismiche a larga banda per il miglioramento prestazionale della rete sismica integrata sarà compito del secondo anno di attività.
- (ii) **SISTEMA DI MONITORAGGIO:** E' funzionante e operativa (fatte le premesse descritte nel §5) l'acquisizione in tempo reale dei segnali sismici presso i laboratori del Centro di Monitoraggio del Sottosuolo dell'INGV di Bologna, l'analisi dei dati di monitoraggio (secondo gli standard ILG) e l'eventuale compilazione di un report scientifico in caso di evento significativo nei domini monitorati. Il numero di eventi sismici rilevati e localizzati dal CMS nel periodo test dal 13/06 - 24/06/2024 risulta molto maggiore rispetto a quello riportato nel bollettino sismico della RSN. Questo sottolinea l'importanza e la validità del sistema di monitoraggio sismico integrato.
- (iii) **SUPPORTO TECNICO-SCIENTIFICO alla Regione Toscana,** nell'ambito dei processi decisionali connessi con le attività di monitoraggio sismico e nella definizione di un regolamento sul monitoraggio sismico delle aree geotermiche toscane.

Il presente report descrive la realizzazione del sistema di monitoraggio sismico, reso operativo nel primo anno della convenzione. Tale sistema è composto dai seguenti *step*, descritti in dettaglio nei capitoli §2 - §6.

ACQUISIZIONE e TRASMISSIONE DATI:

- Sono stati aperti i canali (via tunnel VPN) per la trasmissione dei dati da EGP a CMS (a partire da dicembre 2023).
- I flussi di dati (*data stream*) provenienti dalle reti di EGP (EL/IV), RSN e MALA (IV) vengono ricevuti e archiviati presso il CMS dell'INGV di Bologna.

- Sono stati acquisiti i metadati (creazione *station.xml*) che per la rete EL devono essere validati a seguito di un confronto con i colleghi di EGP.

#### ARCHIVIAZIONE DATI:

- E' stato implementato un sistema per l'archiviazione dei dati acquisiti offline (prima dell'inizio dell'acquisizione in tempo reale presso il CMS di Bologna)
- Tale sistema permette anche di inserire i dati sismici arretrati, che per motivi di interruzione della trasmissione dati in tempo reale, vengono recuperati a posteriori.
- La congiunzione dei dati arretrati con quelli acquisiti in tempo reale è in fase di completamento.

#### PARAMETRI DI MONITORAGGIO

- Di concerto con EGP, la RT ha validato i domini di monitoraggio LARD\_DR e AMIA\_DR proposti dalla SPM per le aree di Larderello e M. Amiata.
- La SPM ha inserito nel software di analisi SeisComP dei modelli di velocità e un metodo di calcolo per la Magnitudo preliminari che devono ancora essere validati.
- SeisComP mette a disposizione vari codici per il calcolo ipocentrale (Hypo71, LOCSAT). L'implementazione del codice NonLinLoc sarà implementato a seguito della definizione di un modello di velocità definitivo.

#### BOLLETTINO SISMICO E DISSEMINAZIONE

- Per la creazione definitiva del bollettino sismico è stato implementato la possibilità di eseguire sia un *playback* dei dati arretrati, un processo che verrà lanciato non appena validati i parametri necessari (*station.xml*, modello di velocità, tipo di magnitudo)
- La validazione di tali parametri è anche il prerequisito per poter iniziare con i regolari turni di monitoraggio.
- E' pronto il sistema di allerta (*messaging* automatico) via mail in caso di evento sismico significativo all'interno dei Domini di Monitoraggio.

#### SISTEMA DECISIONALE

- Per l'applicazione di un sistema a semaforo è indispensabile definire i parametri da monitorare e le soglie per i livelli (colore) di allerta.
- Essendo il monitoraggio della geotermia toscana di competenza regionale è necessario che la RT proceda alla valutazione e l'eventuale validazione dello schema di comunicazione proposta dalla SMP Figura 5.4 (vedere Report 5 (CMS, 2023)).

# Appendice A

Nr	Data Orario (UTC)	Lati.	Longi.	Prof. (km)	ML	Epicentro (Provincia)	LDR	ADR
1	2023-07-01T08:20:23.22	43.23030	10.95570	7.8	1.9	5 km NE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
2	2023-07-01T11:19:06.44	43.49570	11.16800	8.8	1.3	4 km NE Poggibonsi (SI)	0	0
3	2023-07-02T09:32:04.39	43.14170	10.81700	3.8	1.8	3 km W Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
4	2023-07-02T10:29:52.75	43.19680	11.09820	8.4	1.5	5 km N Chiusdino (SI)	0	0
5	2023-07-02T18:01:38.57	43.14070	11.01720	9.9	1.3	1 km N Montieri (GR)	0	0
6	2023-07-04T06:08:49.66	43.13730	11.04550	8.4	1.7	2 km E Montieri (GR)	0	0
7	2023-07-05T00:29:00.95	43.13230	11.03120	10.1	1.5	1 km E Montieri (GR)	0	0
8	2023-07-05T11:15:05.91	43.18250	12.28020	6.7	0.9	6 km N Corciano (PG)	0	0
9	2023-07-09T20:02:48.05	43.26280	10.88320	9.7	0.8	4 km S Pomarance (PI)	0	0
10	2023-07-10T02:52:42.73	43.16420	10.80830	7.6	2.3	4 km W Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
11	2023-07-11T23:03:30.16	42.98870	11.34030	4.1	1.1	5 km E Civitella Paganico (GR)	0	0
12	2023-07-13T03:27:45.98	43.14270	10.87920	7.6	1.1	2 km E Monterotondo Marittimo (GR)	1	0
13	2023-07-15T00:13:48.95	43.16220	11.04080	9.1	1.2	4 km NE Montieri (GR)	0	0
14	2023-07-18T21:26:23.03	42.67270	12.02470	10	2.1	4 km NE Bolsena (VT)	0	0
15	2023-07-19T08:30:56.29	43.50020	11.15600	6.3	1.8	4 km N Poggibonsi (SI)	0	0
16	2023-07-23T09:52:20.70	43.15450	11.03770	6.9	1.9	3 km NE Montieri (GR)	1	0
17	2023-07-26T14:03:13.37	43.27930	11.41820	10.1	1.7	5 km N Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
18	2023-07-27T02:26:41.55	43.01900	11.66470	10.7	1.4	4 km E Castiglione d'Orcia (SI)	0	0
19	2023-07-29T15:37:05.27	42.98230	11.44950	6.6	1.5	9 km SW Montalcino (SI)	0	0
20	2023-07-30T01:40:37.33	42.96930	11.46180	6.4	1.9	9 km NW Seggiano (GR)	0	0
21	2023-07-30T04:02:40.20	42.97830	11.47520	9	0.6	9 km NW Seggiano (GR)	0	0
22	2023-07-30T10:08:39.85	43.49420	11.17600	9.2	1.4	4 km NE Poggibonsi (SI)	0	0
23	2023-07-31T02:08:39.97	43.47630	11.07620	10.4	1.4	3 km E San Gimignano (SI)	0	0
24	2023-08-02T15:00:55.74	43.13070	11.02000	9.9	1.3	Montieri (GR)	0	0
25	2023-08-13T05:29:37.14	43.15730	10.97470	10.3	1.4	4 km NW Montieri (GR)	0	0
26	2023-08-17T01:07:32.29	43.20720	11.03920	10	1.1	6 km S Radicondoli (SI)	0	0
27	2023-08-24T21:50:32.10	43.13030	11.05130	9.3	1.8	3 km E Montieri (GR)	0	0
28	2023-08-29T01:05:32.06	42.62830	12.04050	4.5	2.1	5 km E Bolsena (VT)	0	0
29	2023-08-29T01:09:42.01	42.64970	12.04070	6.5	1.4	4 km E Bolsena (VT)	0	0
30	2023-08-29T09:07:57.11	42.81920	11.83470	6.8	2.2	7 km N Proceno (VT)	0	0
31	2023-08-29T10:18:23.67	42.80350	11.83770	8.4	1.9	5 km N Proceno (VT)	0	0
32	2023-08-29T10:23:15.30	42.79870	11.83780	3.2	1.1	5 km N Proceno (VT)	0	0
33	2023-08-29T10:28:38.68	42.81070	11.83370	6.2	1.6	6 km N Proceno (VT)	0	0
34	2023-08-29T11:03:33.35	42.80520	11.84470	7.7	1.4	5 km N Proceno (VT)	0	0
35	2023-08-29T11:10:11.89	42.80820	11.83420	8.7	1.9	6 km N Proceno (VT)	0	0
36	2023-08-29T11:57:16.28	42.80980	11.83930	6.7	2.2	6 km N Proceno (VT)	0	0
37	2023-08-29T12:14:06.21	42.76100	11.86330	7.4	1.5	2 km N Acquapendente (VT)	0	0
38	2023-08-29T15:08:05.69	42.82070	11.83420	6.3	1.1	7 km SW San Casciano dei Bagni (SI)	0	0
39	2023-08-29T23:33:03.38	43.16520	11.04080	7	1.8	4 km W Chiusdino (SI)	1	0
40	2023-08-31T07:01:40.30	42.78400	11.86020	4.8	0.8	4 km NE Proceno (VT)	0	0
41	2023-08-31T07:09:30.97	42.81850	11.83980	8.1	1.4	7 km SW San Casciano dei Bagni (SI)	0	0
42	2023-09-01T00:43:47.27	43.12780	11.04780	9.4	1.6	3 km E Montieri (GR)	0	0
43	2023-09-06T23:47:46.89	43.16420	10.97380	10	1.5	5 km NW Montieri (GR)	0	0
44	2023-09-07T13:37:09.54	43.12770	11.02530	9.5	2.2	1 km SE Montieri (GR)	0	0
45	2023-09-09T21:36:18.90	42.88500	11.30030	9.8	1	2 km E Campagnatico (GR)	0	0
46	2023-09-10T12:59:53.40	43.10620	11.02380	10.3	1.6	3 km S Montieri (GR)	0	0
47	2023-09-13T02:40:07.20	43.12200	11.03570	9.9	1.4	2 km SE Montieri (GR)	0	0
48	2023-09-15T21:09:10.05	43.13280	11.01930	10.4	1.8	Montieri (GR)	0	0
49	2023-09-16T16:12:57.28	43.13020	11.02780	10.1	1.4	1 km E Montieri (GR)	0	0
50	2023-09-25T19:52:11.13	43.19770	11.04920	9.5	1.1	6 km NW Chiusdino (SI)	0	0
51	2023-09-25T21:35:23.42	43.20050	11.04720	9.2	1	6 km NW Chiusdino (SI)	0	0
52	2023-09-28T09:52:21.13	42.66480	11.94730	7	1.5	4 km NW Bolsena (VT)	0	0
53	2023-09-28T16:51:02.14	42.67870	11.91970	9.5	1.4	1 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0

Nr	Data Orario (UTC)	Lati.	Longi.	Prof. (km)	ML	Epicentro (Provincia)	LDR	ADR
54	2023-09-28T17:31:51.42	42.67130	11.93130	7.1	1.6	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
55	2023-09-28T17:42:51.92	42.67530	11.91670	6.9	1.7	1 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
56	2023-09-28T17:49:05.29	42.65980	11.92380	4	2.4	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
57	2023-09-28T17:50:18.19	42.67100	11.92450	5.6	2.8	2 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
58	2023-09-28T17:54:33.39	42.69580	11.89500	10.5	2.6	1 km NW San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
59	2023-09-28T17:55:49.19	42.66150	11.97420	6.1	2.2	2 km NW Bolsena (VT)	0	0
60	2023-09-28T17:57:31.00	42.66320	11.91000	5.3	2.2	3 km S San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
61	2023-09-28T17:59:31.44	42.68720	11.92420	11	2.1	1 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
62	2023-09-28T18:05:16.79	42.67750	11.94000	7.3	1.6	3 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
63	2023-09-28T18:30:18.19	42.67480	11.91020	6.9	1.5	1 km S San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
64	2023-09-28T18:32:30.42	42.72880	11.89370	10.2	1.8	3 km SE Acquapendente (VT)	0	0
65	2023-09-28T18:40:16.18	42.66400	11.93350	6.9	1.6	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
66	2023-09-28T19:01:34.39	42.66580	11.93170	5.5	1.9	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
67	2023-09-28T19:05:30.58	42.66730	11.92930	4.4	1.8	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
68	2023-09-28T19:12:39.63	42.67430	11.90330	9.3	1.6	1 km S San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
69	2023-09-28T19:21:40.39	42.65920	11.92430	4.4	1.8	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
70	2023-09-28T19:27:16.46	42.66780	11.94250	6.5	3.1	4 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
71	2023-09-28T19:30:23.64	42.66870	11.90280	5.5	2	2 km S San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
72	2023-09-28T19:31:03.57	42.67220	11.91430	5.8	1.7	2 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
73	2023-09-28T19:31:57.34	42.65780	11.93870	4	2.2	4 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
74	2023-09-28T19:33:12.60	42.67280	11.94120	5.6	1.8	3 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
75	2023-09-28T19:35:55.80	42.67200	11.91430	5.6	1.8	2 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
76	2023-09-28T19:38:41.07	42.67020	11.93220	7.6	1.8	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
77	2023-09-28T19:44:37.42	42.67250	11.93050	7.8	2	2 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
78	2023-09-28T19:52:47.12	42.67270	11.92970	4.2	2.6	2 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
79	2023-09-28T19:55:12.72	42.68520	11.92030	7.3	1.6	1 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
80	2023-09-28T20:00:17.92	42.65670	11.94020	5	2.3	4 km W Bolsena (VT)	0	0
81	2023-09-28T20:02:13.55	42.67100	11.92950	6.5	1.9	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
82	2023-09-28T20:02:56.50	42.66930	11.93880	4.8	1.5	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
83	2023-09-28T20:05:32.77	42.66970	11.92570	7	1.6	2 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
84	2023-09-28T20:22:17.33	42.68250	11.92070	6.8	1.5	1 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
85	2023-09-28T20:43:46.15	42.66170	11.90820	5.3	1.4	3 km S San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
86	2023-09-28T20:49:16.21	42.68570	11.92050	10.8	1.9	1 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
87	2023-09-28T20:51:11.41	42.67380	11.92450	5.6	1.8	2 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
88	2023-09-28T20:52:36.54	42.69500	11.92630	10	1.7	2 km NE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
89	2023-09-28T20:56:26.64	42.69020	11.95380	10	1.5	3 km SW Castel Giorgio (TR)	0	0
90	2023-09-28T20:59:31.37	42.66820	11.94470	7.1	1.7	4 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
91	2023-09-28T21:06:20.28	42.65920	11.94270	3	1.7	4 km W Bolsena (VT)	0	0
92	2023-09-28T21:22:04.03	42.68120	11.93020	2.7	2.1	2 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
93	2023-09-28T21:32:38.15	42.65420	11.97380	1.3	1.2	2 km NW Bolsena (VT)	0	0
94	2023-09-28T21:39:29.87	42.65770	11.93730	2.9	1.9	4 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
95	2023-09-28T22:15:24.71	42.68730	11.92020	9.8	1.4	1 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
96	2023-09-28T22:42:20.38	42.66730	11.94120	6.8	1.6	4 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
97	2023-09-28T22:50:15.70	42.68330	11.93930	9.6	1.7	3 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
98	2023-09-28T23:09:14.17	42.67920	11.91780	10.3	1.9	1 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
99	2023-09-28T23:17:50.73	42.66280	11.92380	7.9	1.8	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
100	2023-09-29T00:26:59.91	42.69900	11.90170	11.1	2.4	1 km NW San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
101	2023-09-29T00:37:10.49	42.69280	11.90820	10.3	1.5	1 km N San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
102	2023-09-29T00:53:08.08	42.66600	11.93600	5.3	1.5	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
103	2023-09-29T01:05:30.76	42.67780	11.93120	6.5	1.7	2 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
104	2023-09-29T01:06:14.62	42.67130	11.93720	6.9	1.7	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
105	2023-09-29T01:06:47.62	42.66030	11.91920	3.6	2.1	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
106	2023-09-29T01:12:58.45	42.68530	11.89530	10	1.4	1 km W San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0

Nr	Data Orario (UTC)	Lati.	Longi.	Prof. (km)	ML	Epicentro (Provincia)	LDR	ADR
107	2023-09-29T01:22:56.09	42.68670	11.92080	8.4	1.4	1 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
108	2023-09-29T01:23:18.68	42.68370	11.91120	7.3	1.4	San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
109	2023-09-29T02:54:42.84	42.65730	11.95420	9.1	1.5	3 km W Bolsena (VT)	0	0
110	2023-09-29T03:18:15.21	42.68230	11.94700	9.4	1.2	3 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
111	2023-09-29T04:24:29.56	42.66730	11.91780	1.3	2	2 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
112	2023-09-29T04:31:22.16	42.66870	11.93080	6.3	1.2	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
113	2023-09-29T11:22:21.85	42.65420	11.93720	2	1.6	4 km W Bolsena (VT)	0	0
114	2023-09-29T12:07:50.67	42.65850	11.94170	6.5	1.5	4 km W Bolsena (VT)	0	0
115	2023-09-29T12:25:32.08	42.67570	11.95870	7.8	1.7	4 km SW Castel Giorgio (TR)	0	0
116	2023-09-29T12:27:44.34	42.65320	11.94550	6.6	2	4 km W Bolsena (VT)	0	0
117	2023-09-29T13:14:45.98	42.89480	11.75370	10	1.3	1 km W Radicofani (SI)	0	0
118	2023-09-29T13:43:43.62	42.67670	11.92030	8.2	1.5	2 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
119	2023-09-29T13:56:00.25	42.66530	11.93170	3.8	1.8	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
120	2023-09-29T13:59:03.49	42.67520	11.94020	7.3	1.7	3 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
121	2023-09-29T14:11:59.02	42.67630	11.90850	5.8	1.6	1 km S San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
122	2023-09-29T14:22:37.83	42.69080	11.90430	10.2	1.7	1 km NW San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
123	2023-09-29T14:27:12.39	42.67100	11.91820	5.2	2	2 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
124	2023-09-29T14:29:46.90	42.67730	11.90170	7.7	1.7	1 km SW San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
125	2023-09-29T14:49:49.21	42.68350	11.91980	8.1	1.1	1 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
126	2023-09-29T14:55:54.52	42.66570	11.92180	4.8	1.7	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
127	2023-09-29T15:41:53.09	42.67530	11.92280	7.6	1.1	2 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
128	2023-09-29T17:05:44.27	42.67970	11.91620	4.4	2.4	1 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
129	2023-09-29T17:37:54.99	42.67030	11.94780	3.8	1.5	4 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
130	2023-09-29T17:38:30.08	42.69630	11.89520	10.6	1.5	1 km NW San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
131	2023-09-29T18:24:20.18	42.67650	11.91600	6.4	1.7	1 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
132	2023-09-29T18:58:26.52	42.67630	11.90830	7.1	1.6	1 km S San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
133	2023-09-29T19:18:01.25	42.67750	11.91200	6.7	1.6	1 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
134	2023-09-29T19:39:57.52	42.69430	11.89380	10.4	1.7	1 km NW San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
135	2023-09-29T19:53:57.70	42.68450	11.90950	7.4	1.5	San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
136	2023-09-29T19:54:13.19	42.76350	11.87620	8.8	1.6	2 km NE Acquapendente (VT)	0	0
137	2023-09-29T19:57:14.24	42.67220	11.92120	5.9	1.6	2 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
138	2023-09-29T20:03:54.20	42.68380	11.89270	10.7	1	1 km W San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
139	2023-09-29T20:50:04.06	42.66020	11.95220	4.9	1.6	3 km W Bolsena (VT)	0	0
140	2023-09-29T21:00:26.38	42.69100	11.91870	9.7	1.6	1 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
141	2023-09-30T00:34:51.10	42.66970	11.90830	6.2	1.4	2 km S San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
142	2023-09-30T01:18:58.80	42.67330	11.93620	7.4	1.2	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
143	2023-09-30T01:57:44.27	42.66880	11.91770	6.3	1.1	2 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
144	2023-09-30T02:20:29.90	42.69170	11.88450	10.6	1.5	2 km W San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
145	2023-09-30T03:17:56.77	42.68450	11.93120	9.4	1.4	2 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
146	2023-09-30T03:18:58.44	42.66950	11.93400	7.8	1.7	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
147	2023-09-30T04:45:19.57	42.68930	11.90720	10.2	1.5	San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
148	2023-10-01T08:30:28.58	42.67370	11.93430	5.7	2	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
149	2023-10-03T02:09:03.96	43.20920	10.89870	9.5	1.9	1 km W Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	0	0
150	2023-10-05T02:28:50.04	43.12830	11.03750	8.6	2	2 km E Montieri (GR)	0	0
<b>151</b>	<b>2023-10-06T17:21:05.35</b>	<b>43.13680</b>	<b>11.01420</b>	<b>7</b>	<b>1.2</b>	<b>1 km NW Montieri (GR)</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
152	2023-10-08T13:02:08.06	42.68230	11.90980	4.4	2.2	1 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
153	2023-10-08T13:25:49.73	42.68420	11.90670	10.2	1.9	San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
154	2023-10-08T13:28:54.71	42.66470	11.93620	7.4	2	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
155	2023-10-09T02:18:42.29	43.12420	10.92930	8.5	1.4	6 km E Monterotondo Marittimo (GR)	0	0
156	2023-10-09T10:17:37.94	43.18670	11.05050	8.6	1.8	5 km NW Chiusdino (SI)	0	0
157	2023-10-10T15:41:22.73	42.66300	11.93280	5.6	1.7	3 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
158	2023-10-11T10:40:07.91	43.14170	11.01570	10.2	1.5	1 km N Montieri (GR)	0	0
159	2023-10-12T12:32:05.80	43.01320	12.26080	10.2	1.5	13 km NW Marsciano (PG)	0	0

Nr	Data Orario (UTC)	Lati.	Longi.	Prof. (km)	ML	Epicentro (Provincia)	LDR	ADR
160	2023-10-14T01:41:02.03	43.24400	12.23350	9.6	1.2	7 km E Lisciano Niccone (PG)	0	0
161	2023-10-15T00:53:15.63	43.13450	11.03000	8.7	2	1 km E Montieri (GR)	0	0
162	2023-10-19T00:03:41.53	42.88870	11.83330	7.5	2.1	4 km W San Casciano dei Bagni (SI)	0	0
163	2023-10-19T00:05:18.25	42.86920	11.84670	9.4	1.8	2 km W San Casciano dei Bagni (SI)	0	0
164	2023-10-19T00:10:11.96	43.19870	11.04970	9.7	1.6	6 km NW Chiusdino (SI)	0	0
165	2023-10-21T08:19:55.82	42.66750	11.94300	8.6	1.7	4 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
166	2023-10-21T20:52:35.39	43.22770	10.85330	10.1	1.5	5 km W Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	0	0
167	2023-10-24T02:48:51.64	43.13220	11.01880	8.9	1.6	Montieri (GR)	0	0
168	2023-10-27T13:48:43.66	43.46000	10.99670	11	1.3	4 km W San Gimignano (SI)	0	0
169	2023-10-28T20:30:41.81	43.22670	11.23550	10.8	1.6	6 km S Sovicille (SI)	0	0
170	2023-10-28T22:26:20.78	43.20150	11.03570	9.3	1.1	7 km NW Chiusdino (SI)	0	0
171	2023-11-03T02:01:26.93	43.19630	11.05480	8.9	1.3	5 km NW Chiusdino (SI)	0	0
172	2023-11-03T19:13:48.60	43.20030	11.03920	9	1.8	6 km NW Chiusdino (SI)	0	0
173	2023-11-04T04:36:13.55	43.20530	11.03600	8.2	1.5	6 km S Radicondoli (SI)	0	0
174	2023-11-04T06:32:54.68	43.19820	11.04720	8.8	1.9	6 km NW Chiusdino (SI)	0	0
<b>175</b>	<b>2023-11-05T14:46:14.26</b>	<b>43.18220</b>	<b>11.05280</b>	<b>7.5</b>	<b>0.8</b>	<b>4 km NW Chiusdino (SI)</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
176	2023-11-07T03:13:02.45	43.18020	10.96870	10.3	1.2	6 km SE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	0	0
177	2023-11-26T09:38:46.15	42.68170	11.93220	7.9	1.5	2 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
178	2023-11-26T09:50:13.41	42.68100	11.92830	10.3	2.2	2 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
179	2023-12-04T20:13:17.21	43.18380	11.00020	9.1	1.2	6 km N Montieri (GR)	0	0
180	2023-12-06T20:01:37.57	42.78900	12.00570	7.5	2.2	4 km N Castel Viscardo (TR)	0	0
181	2023-12-06T20:06:13.03	42.78680	12.00870	8.6	3.6	3 km N Castel Viscardo (TR)	0	0
182	2023-12-06T20:12:52.57	42.77900	12.01050	10.5	1.2	3 km N Castel Viscardo (TR)	0	0
183	2023-12-06T20:29:43.96	42.78870	12.00230	10.1	1.7	3 km SE Allerona (TR)	0	0
184	2023-12-06T21:06:24.68	42.78370	11.99650	10	1.3	3 km N Castel Viscardo (TR)	0	0
185	2023-12-07T02:58:22.75	42.78050	11.99980	10.5	2	3 km N Castel Viscardo (TR)	0	0
186	2023-12-07T04:46:01.02	42.76430	11.99430	10.4	2	1 km NW Castel Viscardo (TR)	0	0
187	2023-12-07T10:29:07.80	42.77280	11.83870	14.6	0.7	2 km NE Proceno (VT)	0	0
188	2023-12-07T12:59:18.94	42.78420	12.02150	8.3	1.5	3 km NE Castel Viscardo (TR)	0	0
189	2023-12-14T02:10:42.74	42.79280	12.00280	10.8	2	3 km SE Allerona (TR)	0	0
190	2023-12-16T05:37:14.88	43.19000	11.04780	8.5	1.4	5 km NW Chiusdino (SI)	0	0
191	2023-12-16T06:25:20.67	43.13870	11.03800	10.5	1.2	2 km E Montieri (GR)	0	0
192	2023-12-19T04:20:28.71	43.21130	11.05570	8.6	1.4	6 km S Radicondoli (SI)	0	0
193	2023-12-19T12:59:44.94	42.96780	11.52700	7.8	1.4	5 km NW Seggiano (GR)	0	0
194	2023-12-27T01:45:20.21	43.13220	11.02680	10	1.7	1 km E Montieri (GR)	0	0
<b>195</b>	<b>2023-12-27T02:13:36.95</b>	<b>43.13030</b>	<b>11.02720</b>	<b>8</b>	<b>1.8</b>	<b>1 km E Montieri (GR)</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
196	2023-12-31T06:42:48.96	43.22070	11.05900	10.4	0.9	5 km S Radicondoli (SI)	0	0
197	2024-01-04T19:30:28.45	43.20680	10.89780	9.2	1.4	1 km W Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	0	0
198	2024-01-06T00:55:04.89	43.14020	11.03470	9.1	1.8	2 km NE Montieri (GR)	0	0
<b>199</b>	<b>2024-01-06T04:23:15.56</b>	<b>43.17170</b>	<b>10.99820</b>	<b>7.8</b>	<b>2.1</b>	<b>5 km NW Montieri (GR)</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
200	2024-01-06T23:32:48.52	43.52630	11.02020	6.1	1.4	3 km SW Certaldo (FI)	0	0
201	2024-01-09T18:41:58.73	43.20820	11.03750	8.5	1.9	6 km S Radicondoli (SI)	0	0
202	2024-01-10T11:23:35.37	43.17320	10.83430	8.4	1.1	3 km NW Monterotondo Marittimo (GR)	0	0
203	2024-01-13T00:38:32.14	43.16870	11.03620	8.8	1.4	4 km NE Montieri (GR)	0	0
204	2024-01-17T19:30:59.16	42.69220	11.79180	9.4	3.1	2 km W Onano (VT)	0	0
205	2024-01-17T20:05:51.91	42.70230	11.80830	5.7	1.8	1 km NW Onano (VT)	0	0
206	2024-01-17T20:16:53.71	42.69480	11.81630	5.9	1.9	Onano (VT)	0	0
207	2024-01-18T09:22:42.26	43.19580	10.93330	9.2	2.1	3 km SE Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	0	0
208	2024-01-21T15:28:02.36	43.49800	11.12170	6.8	1.7	4 km NW Poggibonsi (SI)	0	0
209	2024-02-16T10:09:41.70	43.13870	11.00880	9.9	1.4	1 km NW Montieri (GR)	0	0
<b>210</b>	<b>2024-02-17T01:58:23.32</b>	<b>43.20830</b>	<b>11.05670</b>	<b>7</b>	<b>1.7</b>	<b>6 km S Radicondoli (SI)</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>211</b>	<b>2024-02-17T01:58:49.90</b>	<b>43.22570</b>	<b>11.03920</b>	<b>7</b>	<b>1.4</b>	<b>4 km S Radicondoli (SI)</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
212	2024-02-17T06:35:58.46	43.20870	11.05950	10	1.7	6 km S Radicondoli (SI)	0	0
213	2024-02-17T06:36:29.48	43.22480	11.04320	8.5	1.7	4 km S Radicondoli (SI)	0	0

Nr	Data Orario (UTC)	Lati.	Longi.	Prof. (km)	ML	Epicentro (Provincia)	LDR	ADR
214	2024-02-17T08:58:35.82	43.20530	11.06870	10	1.8	6 km NW Chiusdino (SI)	0	0
215	2024-02-17T08:59:16.39	43.21470	11.05600	9.8	0.9	5 km S Radicondoli (SI)	0	0
216	2024-02-17T19:35:20.47	42.84330	11.63350	4.4	1.5	4 km E Santa Fiora (GR)	0	1
217	2024-02-18T03:21:45.33	43.22250	11.05130	5.8	1.8	4 km S Radicondoli (SI)	1	0
218	2024-02-18T12:30:28.98	42.84270	11.63850	5.8	1.3	4 km E Santa Fiora (GR)	0	1
219	2024-02-21T01:32:44.85	42.68850	11.80650	6.8	2.6	1 km SW Onano (VT)	0	0
220	2024-02-21T01:43:08.45	42.69780	11.80120	6.9	1.1	1 km W Onano (VT)	0	0
221	2024-02-21T02:09:26.80	42.69600	11.79030	9.7	1.3	2 km W Onano (VT)	0	0
222	2024-02-21T02:17:04.04	42.69820	11.80280	8.5	1.1	1 km W Onano (VT)	0	0
223	2024-02-22T07:52:02.69	42.67630	11.92080	9.9	1.7	2 km SE San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
224	2024-02-23T07:15:05.96	43.27180	10.84950	9.6	1.6	4 km SW Pomarance (PI)	0	0
225	2024-02-28T00:44:07.58	43.56980	11.09270	13.7	1.1	5 km E Certaldo (FI)	0	0
226	2024-02-29T01:48:24.74	43.23330	11.01120	0.7	1.3	4 km SW Radicondoli (SI)	1	0
227	2024-02-29T03:41:14.34	42.68080	11.92480	9.4	1.9	2 km E San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
228	2024-02-29T10:55:45.80	43.12670	11.02080	10.1	1.9	1 km SE Montieri (GR)	0	0
229	2024-03-01T12:44:18.64	43.19520	11.03820	9.3	1	6 km NW Chiusdino (SI)	0	0
230	2024-03-06T13:00:29.34	43.20230	11.03950	9.6	1.8	7 km NW Chiusdino (SI)	0	0
231	2024-03-07T11:19:52.89	43.20550	11.03850	8.7	1.4	6 km S Radicondoli (SI)	0	0
232	2024-03-07T22:10:35.18	43.19580	11.04220	7.8	1.1	6 km NW Chiusdino (SI)	1	0
233	2024-03-12T21:31:00.19	43.13270	11.06350	8.5	1.6	3 km SW Chiusdino (SI)	0	0
234	2024-03-15T01:44:54.21	43.15400	11.04330	9.7	1	3 km NE Montieri (GR)	0	0
235	2024-03-15T23:12:31.86	42.70430	11.91330	8.5	0.8	2 km N San Lorenzo Nuovo (VT)	0	0
236	2024-03-17T19:44:03.78	43.18530	11.04370	8.2	1.5	5 km NW Chiusdino (SI)	0	0
237	2024-03-18T01:56:06.60	43.10430	10.92420	8.7	1.2	7 km NE Massa Marittima (GR)	0	0
238	2024-03-18T02:19:07.77	43.10020	10.92270	8.5	0.8	6 km NE Massa Marittima (GR)	0	0
239	2024-03-22T04:42:00.50	43.16630	11.12970	5.9	0.8	3 km E Chiusdino (SI)	1	0
240	2024-03-25T15:41:08.69	43.12830	11.00120	10.4	1.2	1 km W Montieri (GR)	0	0
241	2024-03-27T17:24:04.53	43.13830	10.99830	10.4	1.2	2 km W Montieri (GR)	0	0
242	2024-04-13T06:45:32.12	43.44120	11.00320	3	1.1	5 km SW San Gimignano (SI)	0	0
243	2024-04-15T04:09:52.58	43.21650	11.02020	2	0.7	5 km SW Radicondoli (SI)	1	0
244	2024-04-16T17:49:11.46	43.47330	11.19680	8.3	3.4	4 km E Poggibonsi (SI)	0	0
245	2024-04-16T17:56:03.60	43.47430	11.18900	8.6	1.4	3 km E Poggibonsi (SI)	0	0
246	2024-04-16T18:01:47.27	43.46450	11.19670	5.9	0.8	4 km E Poggibonsi (SI)	0	0
247	2024-04-16T18:11:18.99	43.47870	11.18370	7.8	2.2	3 km E Poggibonsi (SI)	0	0
248	2024-04-17T22:13:28.73	43.21080	11.01900	6.4	0.8	6 km SW Radicondoli (SI)	1	0
249	2024-04-18T18:17:19.75	42.88330	11.75830	5	2.5	2 km SW Radicofani (SI)	0	1
250	2024-04-18T21:28:04.90	42.88600	11.74470	8.5	1.4	2 km SW Radicofani (SI)	0	0
251	2024-04-18T21:43:19.86	43.17080	10.99020	10.2	1.6	5 km NW Montieri (GR)	0	0
252	2024-04-18T21:45:14.13	43.15880	11.00330	10	1.3	3 km NW Montieri (GR)	0	0
253	2024-04-18T21:50:40.67	42.86670	11.75280	10.4	1.3	4 km SW Radicofani (SI)	0	0
254	2024-04-19T07:50:58.56	43.14200	11.02620	9.2	1.6	1 km NE Montieri (GR)	0	0
255	2024-04-21T06:35:11.36	43.19370	10.79650	9	1.3	7 km E Monteverdi Marittimo (PI)	0	0
256	2024-04-21T19:12:48.04	43.14830	11.09850	7.2	0.6	1 km SE Chiusdino (SI)	1	0
257	2024-04-25T02:27:37.70	42.81780	11.49950	7.1	0.8	4 km N Roccalbegna (GR)	0	1
258	2024-04-26T03:38:39.08	43.12620	11.03270	8.4	1.9	1 km E Montieri (GR)	0	0
259	2024-04-29T08:41:42.26	42.96730	11.10600	11	1.1	7 km SW Roccastrada (GR)	0	0
260	2024-05-01T16:21:12.54	43.15720	11.00470	10.7	1.2	3 km NW Montieri (GR)	0	0
261	2024-05-04T08:06:27.16	42.96270	10.88670	8.8	1.2	4 km NW Gavorrano (GR)	0	0
262	2024-05-04T12:51:30.18	43.13620	11.01820	9.9	1.7	1 km N Montieri (GR)	0	0
263	2024-05-04T17:17:59.57	42.96050	10.89870	9.8	1.3	4 km N Gavorrano (GR)	0	0
264	2024-05-06T02:52:14.44	43.11580	11.04930	8.3	1	3 km SE Montieri (GR)	0	0
265	2024-05-06T08:51:00.22	43.12370	11.02550	8.4	1.6	1 km SE Montieri (GR)	0	0
266	2024-05-11T03:18:38.88	42.86400	11.30150	11.1	1.5	3 km SE Campagnatico (GR)	0	0
267	2024-05-12T21:47:10.99	43.14550	11.03370	8.6	1.2	2 km NE Montieri (GR)	0	0



Nr	Data Orario (UTC)	Lati.	Longi.	Prof. (km)	ML	Epicentro (Provincia)	LDR	ADR
268	2024-05-12T22:49:25.60	43.09530	11.12920	5.8	1.2	7 km SW Monticiano (SI)	0	0
269	2024-05-15T05:54:03.51	43.14620	11.08080	8.7	1	1 km SW Chiusdino (SI)	0	0
270	2024-05-15T14:14:25.92	43.13350	11.03250	10	1.5	1 km E Montieri (GR)	0	0
271	2024-05-19T03:40:16.82	43.13550	11.03730	9	1.6	2 km E Montieri (GR)	0	0
272	2024-05-19T03:50:25.78	43.13600	11.02750	10.1	1.2	1 km NE Montieri (GR)	0	0
273	2024-05-19T13:29:24.42	43.16480	11.05070	6.2	1.6	3 km W Chiusdino (SI)	1	0
274	2024-05-21T13:31:27.39	43.19380	11.04300	9.2	1.4	6 km NW Chiusdino (SI)	0	0
275	2024-05-25T04:43:52.16	43.16780	11.00050	9.9	0.9	4 km NW Montieri (GR)	0	0
276	2024-05-26T14:48:19.25	43.13020	11.02880	9.9	1.9	1 km E Montieri (GR)	0	0
277	2024-05-26T21:00:44.64	43.16530	11.07470	9.5	0.7	2 km NW Chiusdino (SI)	0	0
278	2024-05-28T23:34:03.29	43.13820	11.02370	9.8	1.8	1 km NE Montieri (GR)	0	0
279	2024-05-31T00:37:52.64	43.60120	11.24650	9.8	1.3	6 km W Greve in Chianti (FI)	0	0
280	2024-06-01T05:15:49.00	43.08820	11.49930	7.3	1.3	3 km N Montalcino (SI)	0	0
281	2024-06-03T06:49:17.01	43.11220	11.05280	9.4	1	4 km SE Montieri (GR)	0	0
282	2024-06-03T06:51:07.17	43.11570	11.06200	10.2	1.8	4 km E Montieri (GR)	0	0
283	2024-06-06T09:49:02.78	43.28580	11.42280	9.9	1.5	6 km N Monteroni d'Arbia (SI)	0	0
284	2024-06-06T10:08:48.57	43.30080	11.36670	10.3	0.8	3 km SE Siena (SI)	0	0
285	2024-06-10T19:38:46.69	43.53980	11.27680	7.7	1.7	6 km SW Greve in Chianti (FI)	0	0
286	2024-06-11T15:02:58.28	42.85380	11.71020	7.3	1.7	1 km E Piancastagnaio (SI)	0	1
287	2024-06-15T22:21:26.12	43.33230	12.10480	9.8	1.2	10 km NW Lisciano Niccone (PG)	0	0
288	2024-06-16T06:43:15.51	42.84570	11.63820	6.5	1.7	4 km E Santa Fiora (GR)	0	1
289	2024-06-19T20:33:31.42	43.21870	10.88770	6.7	1.7	2 km NW Castelnuovo di Val di Cecina (PI)	1	0
290	2024-06-23T16:39:01.31	43.12730	11.04470	10.7	2	2 km E Montieri (GR)	0	0

# 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
EGP:	<i>Enel Green Power</i>
ILG:	Indirizzi e Linee Guida per il Monitoraggio della sismicità delle Deformazioni del Suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche
INGV:	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
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 <sub>L</sub> :	Magnitudo locale
PGA:	Peak Ground Acceleration
PGV:	Peak Ground Velocity
PSD:	Power Spectral Density
RT:	Regione Toscana
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>

Bakun W.H. & W.B. Joyner (1984): The  $M_L$  Scale in Central California. *Bull. Seism. Soc. of Am.*, 75 (5), pp. 1827–1843.

Bobbio A., M. Vassallo, G. Festa, A. Orefice, A. Zollo & V. Convertito (2010): Calcolo della Magnitudo. In: Iannaccone G & Zollo A.: *Metodi e Tecnologie per l'early warning sismico*. Ch. 7. pp. 185-210.

Boore, D.M. (1989). The Richter scale: its development and use for determining earthquake source parameters, *Tectonophysics*, 166 (1),14.

Bormann P., S. Wendt & D. Di Giacomo (2012): Seismic Sources and Source Parameters. In: *New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP-2)*, Bormann, P. (Ed.), IASPEI, GFZ German Research Centre for Geosciences, Ch. 3. Version Aug. 2013; DOI: 10.2312/GFZ.NMSOP-2\_ch3.

Braun T., Danesi S., and Morelli A., (2020). Application of monitoring guidelines to induced seismicity in Italy. *J. Seismol.*, 9, 1–91. <https://doi.org/10.1007/s10950-019-09901-7>

Braun T. & Famiani D., (2021). Supporto scientifico per la valutazione del monitoraggio sismico operato dalle reti di ENEL GREEN POWER nelle aree geotermiche di Larderello - Travale ed Amiata; 14/06/2021; 25 pp. [chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/http://cms.ingv.it/documenti/INGV\\_RT\\_reportfinale\\_20210614.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/http://cms.ingv.it/documenti/INGV_RT_reportfinale_20210614.pdf)

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>.

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](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](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](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](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](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](http://unmig.mise.gov.it/unmig/agenda/upload/85_238.pdf)

Di Bona M. (2016): A Local Magnitude Scale for Crustal Earthquakes in Italy. *Bull. Seism. Soc. of Am.*, 106 (1), pp. 242–258, doi:10.1785/0120150155. <http://istituto.ingv.it/images/collane-editoriali/quaderni-di-geofisica/quaderni-di-geofisica-2013/quaderno115.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>

Garcia-Aristizabal A., Caciagli M., Selva J. (2016). Considering uncertainties in the determination of earthquake source parameters from seismic spectra. *GEOPHYSICAL JOURNAL INTERNATIONAL*, vol. 207, p. 691-701, ISSN: 0956-540X, doi:10.1093/gji/ggw303

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

Hutton, L.K., & M. Boore (1987). The ML scale in southern California. *Bull. Seism. Soc. Am.* 77, 2074-2094. Richter C.F. (1935): An instrumental earthquake magnitude scale. *Bull. Seism. Soc. Am.* 25, 1–31

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

Richter C.F. (1958): *Elementary Seismology*. W. H. Freeman and Co., San Francisco, California, 768 pp.

Stange, S. (2006): ML Determination for Local and Regional Events Using a Sparse Network in Southwestern Germany. *J. Seismol.* 10, 247–257, doi:10.1007/s10950-006-9010-6.

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](http://www.cngeologi.it/wp-content/uploads/2016/10/Linee_guida_geotermia.pdf).

## Elenco delle figure

Figura 2.1. Mappa della rete integrata di monitoraggio sismico delle aree geotermiche toscane.	7
Figura 2.2. Configurazione dell'array MALA (da CMS, 2022)	9
Figura 2.3. Nuova strumentazione alla stazione MALA0 installata in data 15 aprile 2024.	10
Figura 2.4. Nuova strumentazione alle stazioni MALA1 e MALA3, installate in data 15 aprile 2024.	11
Figura 2.5. Coordinate, denominazioni, modelli e caratteristiche tecniche dei strumenti della rete sismica di EGP.	12
Figura 2.6. Calcolo della SENSITIVITY [counts/ $\mu$ V] per varie combinazioni di acquisitori e sensori sismici.	12
Figura 3.1. Esempi dei plot della PSD per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni della rete IV.	15
Figura 3.2. Esempi dei plot della PSD per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni della rete IV.	16
Figura 3.3. Schema di trasmissione dati in tempo reale dell'array MALA (Report 4 (CMS, 2022)).	18
Figura 3.4. Esempio di plot della PSD per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni dell'array MALA.	19
Figura 3.5. Scheda informativa dell'INGV relativa all'evento sismico di $M_L$ 2.5 verificatosi in data 18/04/24 alle ore 18:17:19 UTC. <a href="https://terremoti.ingv.it/event/38273011">https://terremoti.ingv.it/event/38273011</a> .	20
Figura 3.6. Forme d'onda dell'evento citato in Figura 3.5, registrate dall'array MALA: dall'alto in basso le tre componenti della stazione MALA0 con sensori triassiali a larga banda (HHZ, HHN, HHE) e Accelerometro (HNZ, HNN, HNE), seguito dalle tre componenti delle 5 stazioni (MALA1 - MALA5) dotate di un sensore velocimetrico (Le3D-5s).	21
Figura 3.7. Analisi f-k del terremoto $M_L$ 2.5 registrato a 5 stazioni dell'array MALA. I risultati dell'analisi producono una localizzazione dell'evento in termini di coppia <i>backazimuth-slowness</i> compatibile con la soluzione presente nel bollettino INGV (Figura 3.6).	22
Figura 3.8. RegISTRAZIONI della componente verticale delle stazioni MALA1, MALA2, MALA3, MALA5 filtrate con banda passante tra 0.8 e 6 Hz per mettere in evidenza fasi comuni. Si nota la somiglianza dell'intera forma d'onda alle quattro stazioni.	23
Figura 3.9. Analisi <i>array</i> del segnale di cui Figura 3.7: <i>beam forming</i> e analisi f-k, basato sulla forma d'onda di 4 stazioni.	23
Figura 3.10. Soluzione ottenuta attraverso la tecnica del <i>plane wave fitting</i> . Dopo il <i>picking</i> delle fasi simili individuate nelle diverse forme d'onda, l'inversione considerando un fronte d'onda piana consente di ottenere una coppia di valori: <i>backazimuth</i> e <i>slowness</i> che vengono rappresentati con un segmento nero nel color plot. La freccia centrata al baricentro dell'array indica la direzione di provenienza del segnale individuato.	24
Figura 3.11. Mappa che mostra la localizzazione del boato attraverso l'analisi dei dati dell'array MALA. Il segmento giallo rappresenta la direzione di provenienza del boato localizzato poco a sud dell'isola di Montecristo. Fonte Google Earth).	24
Figura 3.12. Topologia della connettività tra il <i>data center</i> EGP e le infrastrutture informatiche del Cms. (Report 4 (CMS, 2022)).	27
Figura 3.13. Esempi dei plot della PSD per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni della rete EL.	28
Figura 3.14. Esempi dei plot della PSD per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni della rete EL.	29

Figura 3.15. Esempi dei plot della PSD per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni della rete EL.	30
Figura 3.16. Esempi dei plot della PSD per monitorare la qualità dei dati registrati dalle stazioni della rete EL.	30
Figura 3.17. Mappa che mostra la localizzazione del boato attraverso l'analisi dei dati dell'array MALA. Il segmento giallo rappresenta la direzione di provenienza del boato localizzato poco a sud dell'isola di Montecristo).	30
Figura 3.18. Schema riassuntivo del flusso dei dati EGP ricevuto da CMS.	30
Figura 3.19. Architettura del Centro Acquisizione Dati (CAD-BO) presso l'INGV di Bologna. (Report 4 (CMS, 2022)).	31
Figura 4.1. Workflow del modulo SCANLOC.	33
Figura 4.2. Rappresentazione grafica delle due modalità per la definizione dei Domini di Rilevazione.	34
Figura 4.3. Mappa dei pozzi EGP presenti nelle aree geotermiche di Larderello – Travale e Amiata (Braun & Famiani (2021)).	35
Figura 4.4. Dominio Interno di Rilevazione per l'area geotermica di Larderello-Travale, calcolato sulla posizione geografica dei PR. L'area arancione indica in mappa il volume di 2 km di raggio intorno ai PR, il suo ampliamento di 5 km (area rossa) e l'inviluppo delle sfere ideali con raggio di 8 km intorno ai PR (area viola).	36
Figura 4.5. Dominio Interno di Rilevazione per l'area geotermica di Monte Amiata, calcolato sulla posizione geografica dei PR. L'area arancione indica in mappa il volume di 2 km intorno ai PR, il suo ampliamento di 5 km (area rossa) e l'inviluppo delle sfere ideali con raggio di 8 km intorno ai PR (area viola).	37
Figura 4.6. Dominio Interno di Rilevazione per l'area geotermica di Monte Amiata, calcolato sulla posizione geografica dei PR.	38
Figura 4.7. Modello di velocità 1D preliminari di Larderello (sx) e M. Amiata (dx) inseriti in SeisComP per la routine Hypo71.	39
Figura 4.8. Lista eventi localizzati dalla procedura automatica ottenuta dal playback dei dati tra il 26/05/2024 e il 05/06/2024.	41
Figura 4.9. In figura viene mostrato uno degli eventi localizzato in automatico.	42
Figura 4.10. Forme d'onda delle stazioni utilizzate dal sistema per la localizzazione dell'evento mostrato nella figura precedente (Figura 4.9) e in rosso i pick automatici delle onde P ed S.	42
Figura 5.1. 290 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.	44
Figura 5.2. Rappresentazione 3D della mappa in Figura 5.1. Le crocette nere indicano i 21 + 6 eventi verificatisi negli ultimi 12 mesi all'interno dei domini di rilevamento DR_LARD (rosso) e DR_AMIA (blu).	44
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).	45
Figura 5.4. Proposta di uno "schema di comunicazione" da applicare al monitoraggio Geotermia Toscana (Braun et al., 2023 e CMS, 2023).	45
Figura 5.5. Monitoraggio sismico automatico delle aree LARD_DR e AMIA_DR, rivisto da un analista per il periodo 13-24/06/2024, Tabella 5.1.	46
Figura 5.6. Esempio bollettino giornaliero di monitoraggio per la concessione Geotermia Toscana.	47

Figura 6.1. Esempio di un messaggio automatico generato dal sistema AMMSG relativo ad un evento sismico verificatosi all'interno del dominio LARD_DR.	48
Figura 6.2. Sezione Geo-termia Toscana del sito web del CMS.	49

## Elenco delle tabelle

Tabella 2.1. Stazioni della rete sismica integrata.	8
Tabella 2.2. Stazioni dell'array MALA.	10
Tabella 2.3. Tipologia di strumentazione dell'array MALA sostituita in data 15 Aprile 2024.	10
Tabella 4.1. Funzione di calibrazione in funzione della distanza ( $D < 100$ km) per varie definizioni di $M_L$ .	40
Tabella 5.1. Parametri degli eventi localizzati automaticamente in real-time e rivisti da un analista.	46