

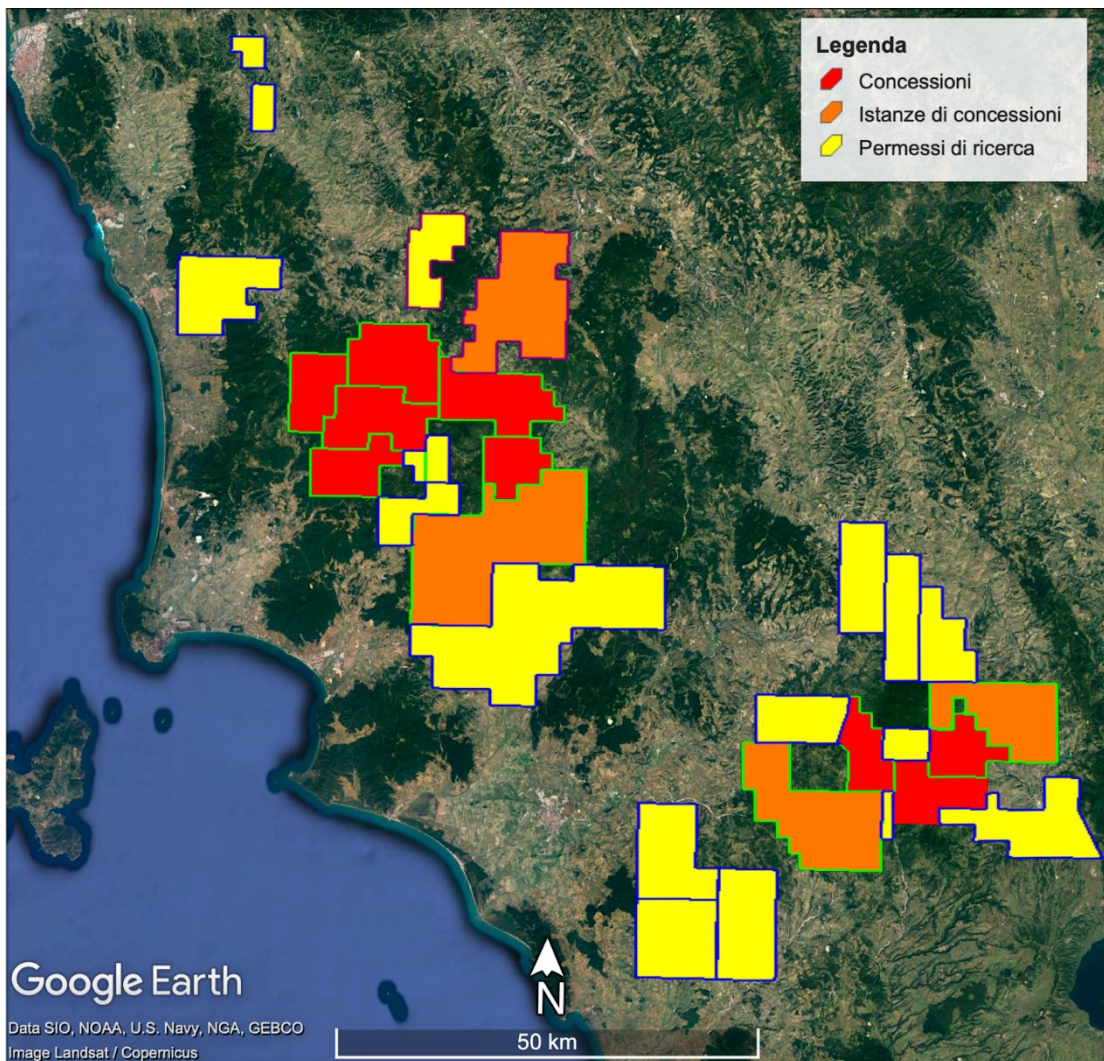
Accordo di Collaborazione Scientifica
Regione Toscana, INGV

Prosecuzione del monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane

Responsabile di Progetto: Thomas Braun

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

Redazione: M. Errico



2023/2



In copertina: Concessioni, istanze di concessioni e permessi di ricerca geotermica
Braun et al. (2023), <https://doi.org/10.13127/qdg/187>.

1	CRONISTORIA ATTIVITÀ	5
2	PRESUPPOSTI E OBIETTIVI	7
3	STATO DEL MONITORAGGIO SISMICO NELLE AREE GEOTERMICHE	10
4	ATTIVITÀ PROPOSTE	12
5	CRONOPROGRAMMA E SCHEMA DEI WORK PACKAGES (WP)	15
6	RISULTATI ATTESI	17
	GLOSSARIO	18
	BIBLIOGRAFIA	19
	ELENCO DELLE FIGURE	20
	ELENCO DELLE TABELLE	20

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

Prosecuzione del monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane

Relazione iniziale (Relazione n.6)

Thomas Braun^{1,2}, Marco Caciagli^{1,3}, Maddalena Errico³, Daniela Famiani², Aladino Govoni⁴, Roberta Maffucci², Giampaolo Zerbinato³

¹ INGV, Osservatorio Sismologico Arezzo Italia;

² INGV, Sezione di Roma 1, Italia;

³ INGV, Sezione di Bologna, Italia;

⁴ INGV, Osservatorio Nazionale Terremoti, Roma, Italia.

27/07/2023

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 e di condivisione dei dati sismici provenienti dai differenti concessionari e relativa valutazione della qualità del dato;
- acquisizione in tempo reale dei segnali sismici presso i laboratori del Centro di Monitoraggio Sismico dell'INGV di Bologna e condivisione con la Regione Toscana dei dati sismici;
- monitoraggio e analisi dati: analisi dati sismici di dettaglio, monitoraggio secondo le ILG (calcolo Localizzazione PGV, ML), reperibilità, compilazione report scientifico in caso di evento significativo nelle aree monitorate;
- coordinamento delle attività di installazione delle stazioni sismiche finanziate 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).

L'approvazione della proroga dell'ACS da parte di RT e INGV (2023 - 2026) garantisce la prosecuzione delle attività previste dal programma di lavoro del triennio 2020 - 2023 senza interruzione. Il presente rapporto viene quindi denominato "Relazione iniziale, n°6", proseguendo cronologicamente la numerazione, ai fini di sottolineare la continuità delle attività di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane. La presente "Relazione iniziale" è da trasmettere all'avvio dell'Accordo, inerente lo stato di fatto e il cronoprogramma delle attività.

2 Presupposti e Obiettivi

Considerazioni generali

In Toscana, le concessioni, le istanze di concessioni e i permessi di ricerca (vedi figura in copertina e fig. 23 in Braun et al., 2023), sono localizzate nelle aree di Larderello - Travale (LT) e del Monte Amiata (MA). Come evidente da Figura 2.1, l'estensione spaziale di entrambi i serbatoi può essere caratterizzata dalla mappatura di un riflettore sismico chiamato orizzonte "K" (Batini et al., 1978; Batini et al., 1985; Brogi et al., 2003; Sani et al., 2016). In letteratura l'orizzonte "K" viene citato in corrispondenza con l'isoterma di almeno 400 °C, anche se studi recenti sembrano indicare temperature oltre 500° C.

La Figura 2.1 mostra la topografia dell'orizzonte "K" per le aree di Larderello e del Monte Amiata (Sani et al., 2016), proiettata su una base fotogrammetrica di Google Earth. Nelle aree in cui tale orizzonte risulta essere più prossimo alla superficie (area rossa), il gradiente geotermico raggiunge valori massimi di 150°/km. Radialmente ad esse, la profondità del top dell'orizzonte "K" scende rapidamente e, conseguentemente, decresce anche il gradiente geotermico (aree arancioni ⇒ gialle). Tali variazioni della sorgente geotermica, sia areale che in profondità, portano a delle conseguenze per le tecniche di coltivazione da operare. Mentre nelle aree con maggiore flusso termico (sistema idrotermale) *Enel Green Power* (EGP) re-inietta il liquido raffreddato nel serbatoio da più di 70 anni, senza dover applicare notevoli sovrappressioni, non è implicito che le tecniche utilizzate nelle nuove concessioni siano idonee per la coltivazione di settori laterali del *reservoir*. Inoltre, l'impiego di cicli binari con re-iniezione totale del liquido estratto rende probabile che le pressioni e le temperature in gioco siano differenti, e che interagiscano in maniera differente sul campo di stress all'interno del *reservoir* con le strutture sismogenetiche adiacenti.

Linee guida

Nel 2020, con la decisione di centralizzare il monitoraggio e di designare un'unica SPM, la Regione Toscana ha assegnato all'INGV-CMS il compito di creare una rete virtuale, composta sia da stazioni INGV che da stazioni sismiche messe a disposizione dai singoli concessionari. Considerando che sono vari concessionari ad attingere ai due unici serbatoi geotermici LT e MA, la scelta della RT di indicare un'unica SPM per tutte le aree geotermiche in Toscana rappresenta alcuni vantaggi gestionali:

- referente unico, sia per i concessionari, sia per la RT ⇒ gestione;
- gestione centralizzata del centro acquisizione dati ⇒ gestione;
- unica struttura operativa ⇒ riduzione dei costi ⇒ gestione;
- acquisizione, archiviazione ed elaborazione dati centralizzata ⇒ omogeneità;

- unico database;
- valutazione, in caso di superamento di una soglia del sistema a semaforo.

Per quanto riguarda le normative generali per la realizzazione del monitoraggio, attualmente non esistono linee guida specifiche da applicare alle concessioni di competenza regionale. Gli “Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell’ambito delle attività antropiche” (ILG), pubblicate nel 2014 (Dialuce et al., 2014) rappresentano la prima iniziativa per la definizione dei parametri di monitoraggio geofisico per la coltivazione di idrocarburi, re-iniezione delle acque di strato e stoccaggio di anidride carbonica nel sottosuolo. Di seguito Terlizze (2016) ha pubblicato una edizione dedicata alla geotermia (LGEO). Entrambe le versioni degli ILG descrivono le raccomandazioni e gli standard per il monitoraggio delle pressioni di poro, della microsismicità e delle deformazioni del suolo; viene proposta l’applicazione di un sistema a semaforo (TLS) a quattro livelli che definisce le azioni da intraprendere in caso di superamento delle varie soglie di allerta, che sono definite sulla base di alcuni parametri sismici: la magnitudo, la massima velocità (PGV) e accelerazione (PGA) del suolo registrata. Lo schema di monitoraggio viene principalmente applicato all’interno di “Dominio”, un’area limitata intorno al volume di produzione da definire appositamente per ogni concessione, secondo le raccomandazioni degli ILG.

Il problema della gestione operativa del monitoraggio di una concessione geotermica non è solamente la definizione dei valori di soglia, utili alla definizione di uno “Schema di Comunicazione”, ma anche la definizione di uno “Schema di Intervento” da applicare in caso venisse superato uno dei livelli di attivazione del TLS. Per processi controllati dalla pressione (stimolazione), possibili interventi relativi all’iniezione del fluido potrebbero essere una diminuzione della pressione/portata o la sospensione dell’iniezione.

L’interruzione di processi di iniezione, che dipendono dalla pressione, possono avere un effetto immediato sulla sismicità. Al contrario, nel caso di sistemi idrotermali con pressioni operative basse, è la differenza termica del fluido iniettato nel serbatoio geotermico a causare eventuali tensioni. In tale caso la riduzione o sospensione dell’iniezione di acqua non comporta nessun effetto immediato sulla sismicità (Braun et al., 2023; CMS, 2023).

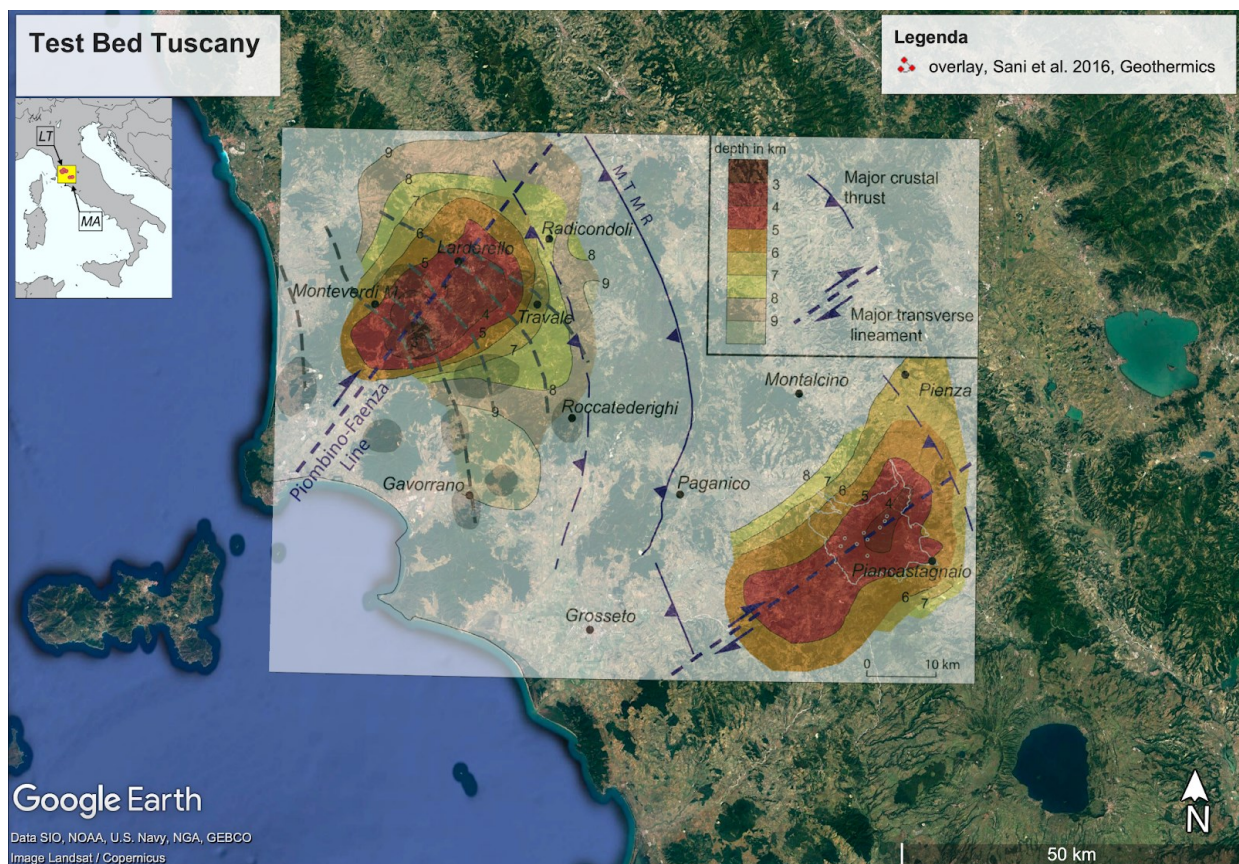


Figura 2.1. Strutture cristali maggiori e isolinee della topografia dell'orizzonte "K" in km (Sani et al., 2016), sovrapposte ad un'immagine di Google Earth.

Compiti della RT: mentre la parte tecnica del monitoraggio da realizzare dalla SPM è definita, la Regione Toscana dovrebbe avviare le procedure per valutare le proposte della SPM inerenti alle seguenti questioni:

- la composizione del comitato per le concessioni di competenza regionale (vedi §6.3.1 in CMS, 2023);
- la definizione dei confini dei domini di monitoraggio delle concessioni attive, considerando eventuali concessioni aggiuntive (vedi §6.3.2 in CMS, 2023);
- la definizione di uno schema di comunicazione (soglie di magnitudo, PGV, PGA) (vedi §7.3 in CMS, 2023);
- l'eventuale definizione di uno schema di reazione sulla base dei parametri forniti dalla SPM.

L'emanazione di una disposizione relativa alle questioni di cui sopra, sia in forma di approvazione delle proposte della SPM (CMS, 2023), sia in forma alternativa è necessaria e imprescindibile per avviare il monitoraggio operativo - sebbene sperimentale - delle aree geotermiche toscane.

3 Stato del monitoraggio sismico nelle aree geotermiche

Attualmente sono due i proprietari delle reti sismiche operative nelle aree produttive di energia geotermica in Toscana: INGV e EGP. Le stazioni della Rete Sismica Nazionale (RSN) dell'INGV e dell'EGP sono rappresentate da dei triangoli colorati e dei cerchi (vedi legenda in Figura 3.1). Il triangolo arancione rappresenta l'array INGV denominato MALA (Monte Amiata Larderello Array) sito nei pressi di Montalcino tra Castelnuovo dell'Abate e Sant'Angelo in Colle, equipaggiato con 6 stazioni a corto periodo (1Hz) e già descritto nelle relazioni precedenti.

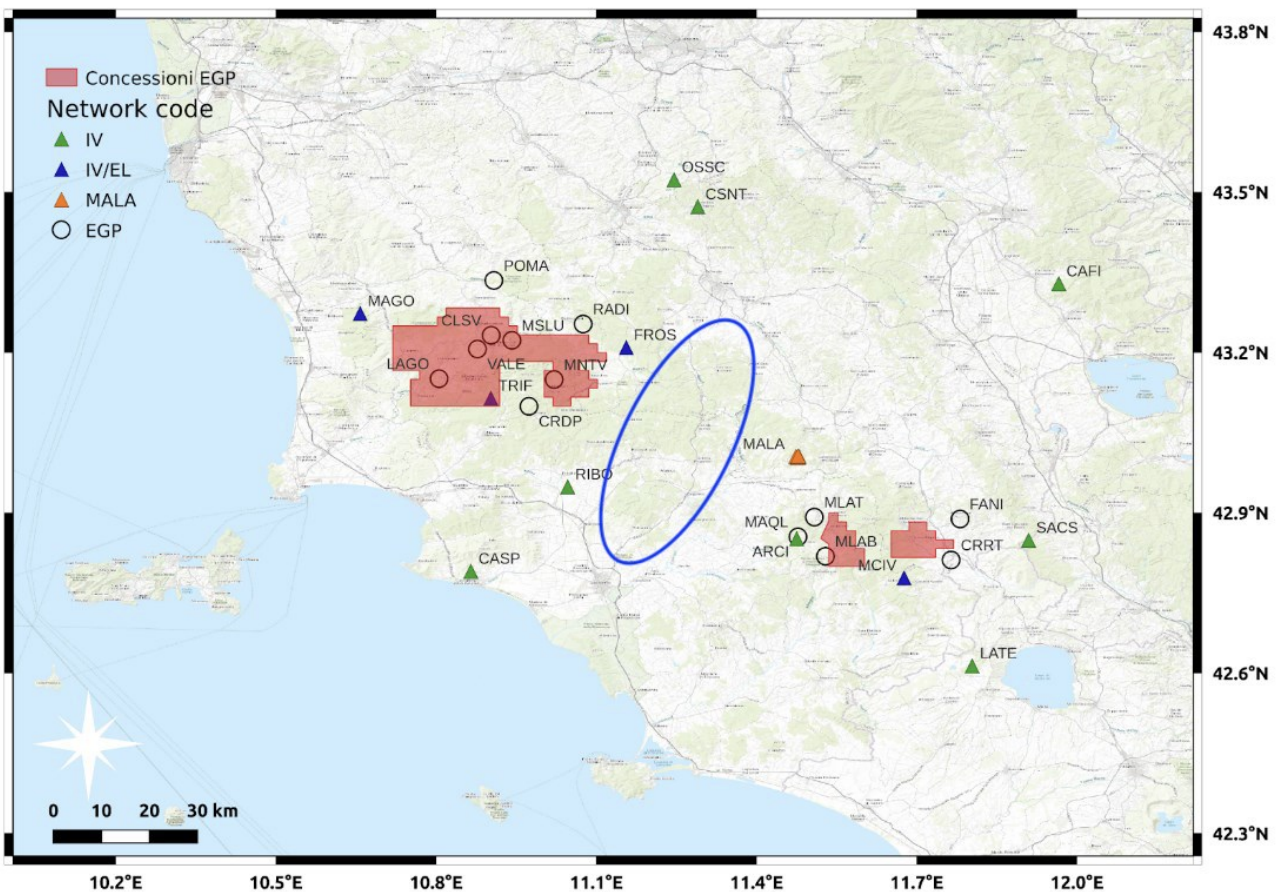


Figura 3.1. Stazioni sismiche della prima configurazione della rete sismica integrata (CMS, 2023). L'ellisse blu indica l'area per la futura installazione di due stazioni a larga banda.

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
CLSV	EL	43.2324	10.9032	682	Castelnuovo di Val di Cecina	PI
CRDP	EL	43.0995	10.9739	821	Massa Marittima	GR
CRRT	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
FROS	IV/EL	43.2097	11.1562	432	Frosini	SI
LAGO	EL	43.1512	10.8056	305	Monterotondo Marittimo	GR
LATE	IV	42.6137	11.8040	610	Latera	VT
MAGO	IV/EL	43.2732	10.6579	280	Magona	LI
MAQL	EL	42.8553	11.4777	1099	Arcidosso	GR
MCIV	IV/EL	42.7786	11.6765	790	Monte Civitella	GR
MLAB	EL	42.8188	11.5293	1084	Arcidosso	GR
MLAT	EL	42.8922	11.5084	735	Arcidosso	GR
MNTV	EL	43.1496	11.0211	668	Montieri	GR
MSLU	EL	43.2230	10.9421	507	Radicondoli	SI
OSSC	IV	43.5236	11.2458	452	Osservatorio del Chianti	FI
POMA	EL	43.3350	10.9082	211	Volterra	PI
RADI	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
TRIF	IV/EL	43.1148	10.9026	596	Trifonti	GR
VALE	EL	43.2067	10.8775	803	Castelnuovo Val di Cecina	PI
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 3.1. Elenco delle stazioni sismiche della rete IV e dell'array MALA operative nelle aree geotermiche toscane. Le stazioni elencate con font blu sono in condivisione con la rete sismica EL di EGP.

4 Attività proposte

La coltivazione multi-concessione delle aree geotermiche toscane di Larderello - Travale e Monte Amiata richiede la realizzazione di un monitoraggio in tempo reale integrando le varie reti sismiche attive nell'area (Braun et al., 2020). Obiettivo principale del primo triennio dell'ACS tra RT e INGV (2020 - 2023) era di impostare un centro di monitoraggio sismico, pronto ad accogliere *datastream*, sia dalle singole reti locali gestite dagli operatori per le diverse concessioni, che dalle stazioni della RSN (INGV). Tale infrastruttura deve essere organizzata in maniera modulare in grado di acquisire, archiviare ed elaborare dati da differenti fonti.

Ricezione dati EGP

A Luglio 2023, a seguito della conclusione del precedente ACS, venivano acquisiti presso il CAD-BO esclusivamente i dati IV provenienti dalla RSN e dall'array MALA. In accordo con EGP sono state definite le modalità e i protocolli di trasmissione dati, e attualmente sono in fase di test alcune procedure per il passaggio dei *datastream* attraverso i *firewall* istituzionali. Uno dei primi obiettivi è la ricezione dei dati da EGP presso il CAD-BO, un *task* che doveva essere realizzato entro il triennio del primo ACS.

Avvio monitoraggio

Per rispettare la tabella di marcia originale, si consiglia di chiedere a EGP la trasmissione dei dati pregressi a EGP a partire da 01/07/2023 ai fini di un loro inserimento nel database integrato per poi eseguire un *playback* con le routine di localizzazione automatica. Con la ricezione dei dati pregressi provenienti da EGP, la data dell'avvio del presente accordo (Luglio 2023) potrebbe essere considerata anche l'inizio del monitoraggio, che consiste in:

- elaborazione e analisi dei dati;
- attività di ricerca e modellazione facendo riferimento al §5.4 degli ILG;
- redazione di un bollettino sismico con frequenza mensile;
- analisi di dettaglio inclusa la redazione di appositi report, in caso di eventi straordinari o sequenze sismiche.

Una volta avviata la regolare e continua ricezione dei dati EGP potranno partire i turni di monitoraggio inclusa la reperibilità giornaliera dei turnisti

Manutenzione rete

Per migliorare la qualità dei dati dell'array MALA sono previste le seguenti attività:

- sostituzione degli acquisitori GAIA con Nanometrics Centaur;

- sostituzione dei sensori a breve periodo (Mark L4c) con Sismometri Lennartz Le3D-5s (Figura 4.1);
- installazione di una nuova stazione per MALA a 6 canali, con un sismometro a larga banda (Figura 4.2) ed un accelerometro (come richiesto dagli ILG);
- installazione delle stazioni in strutture (prefabbricate) interrate (Figura 4.3).

L'acquisto della strumentazione per la manutenzione della rete faceva parte dell'esercizio finanziario dell'ACS precedente ed è stata quindi ordinata e/o in parte già disponibile.

Figura 4.1. Sismometro a banda estesa (modello Lennartz Le 3D-5s).



Figura 4.2. Stazione a larga banda con digitalizzatore Nanometrics Centaur e sismometro a larga banda Trillium 120s.



Estensione rete

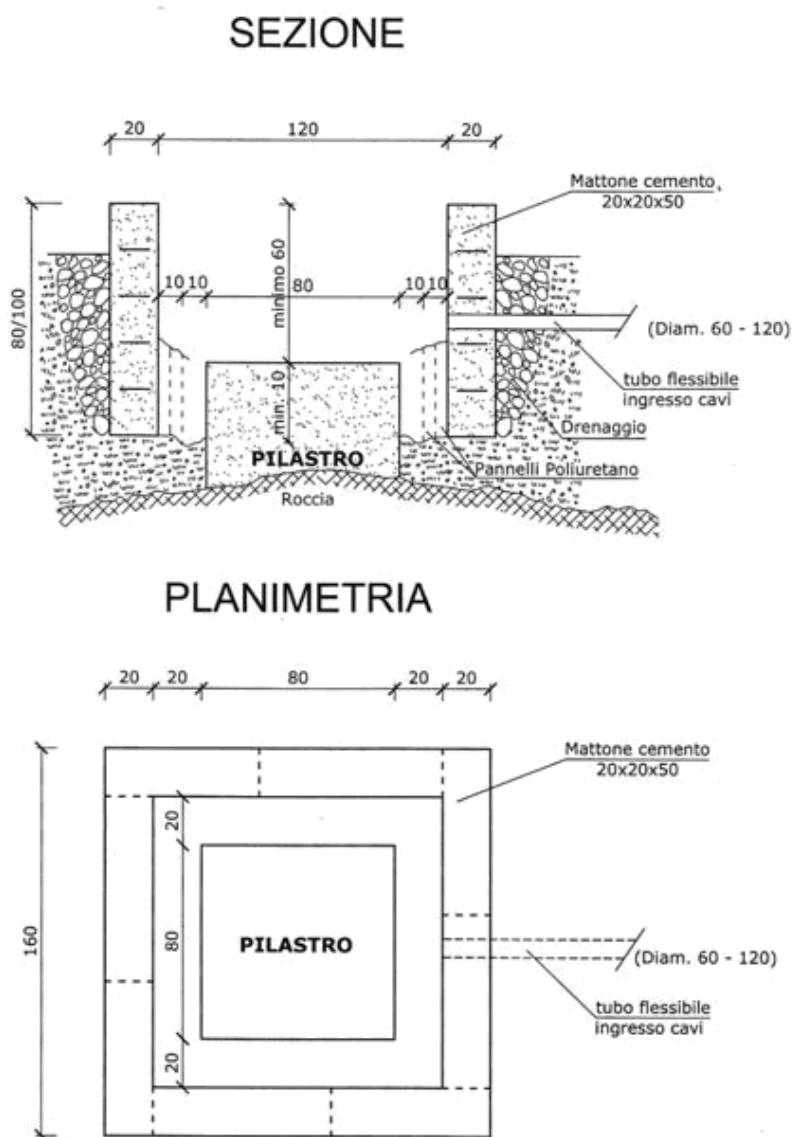
Con l'obiettivo di infittire la rete sismica in Toscana è prevista:

- la ricerca di n°2 siti per la realizzazione di nuove stazioni sismiche nell'area compresa tra Larderello e Monte Amiata.
- l'acquisto ed installazione di 2 nuove stazioni sismiche a larga banda (120s) nelle aree geotermiche toscane (vedi Figura 4.2).

Divulgazione risultati

Manutenzione del sito WEB <http://cms.ingv.it/sperimentazioni/geotermia-toscana> per garantire l'accesso agli atti, alle informazioni relative al monitoraggio sismico, alle relazioni tecniche, all'archivio, ed alle informazioni aggiuntive come le domande frequenti, la sismicità storica, la letteratura e dei video.

Figura 4.3. Esempio di planimetria per la costruzione di un pozzetto per l'installazione di una stazione sismica.



5 Cronoprogramma e schema dei work packages (WP)

WP1 – Management:

- pianificazione attività, dirigenza, segreteria;
- redazione report scientifico con scadenza annuale.

WP2 – Implementazione rete sismica:

- realizzazione di 2 nuove stazioni sismiche nelle aree geotermiche toscane di Larderello e del Monte Amiata.

WP3 – Acquisizione dati sismici:

- acquisizione in tempo reale dei segnali sismici provenienti dalle sottoreti dei singoli operatori;
- archiviazione dati sismici presso il CMS a Bologna.

WP4 – Monitoraggio e analisi dati:

- analisi dati sismici di dettaglio;
- attività di ricerca e modellazione facendo riferimento al §5.4 degli ILG;
- monitoraggio secondo gli ILG (calcolo Localizzazione PGV, ML);
- reperibilità;
- compilazione report scientifico in caso di evento significativo nelle aree monitorate.

WP5 – Disseminazione/Divulgazione risultati:

- WEB-hosting e Pubblicazione dei prodotti elaborati sul sito WEB.

Si fa notare che i tempi previsti nel cronoprogramma (Figura 5.1) per i singoli WP sono di carattere indicativo. Sia i tempi per la realizzazione della rete sismica integrata, compresa la trasmissione dei dati sismici in tempo reale al CAD-BO, che l'acquisto della strumentazione dipendono rispettivamente dai singoli concessionari e/o fornitori.

Prosecuzione del monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane

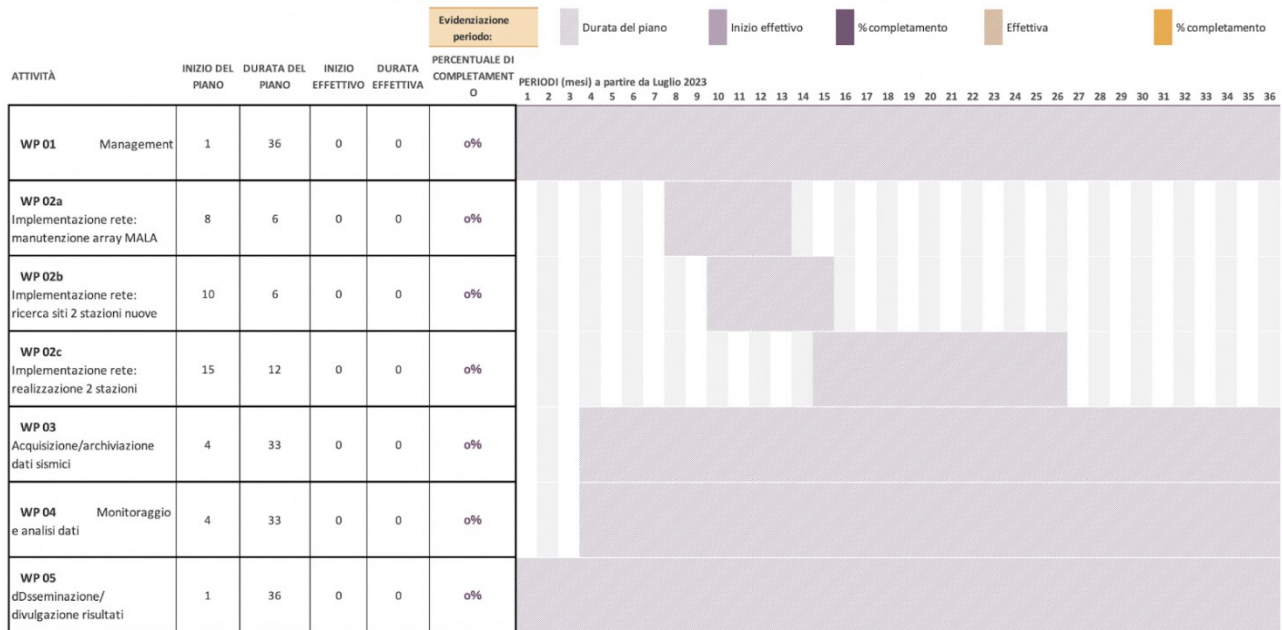


Figura 5.1. Pianificazione temporale delle attività previste nei singoli WP.

6 Risultati attesi

La prosecuzione dell'ACS è un importante e necessario passo per la realizzazione del sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane proposto nel 2020. La complessità del progetto consiste nella moltitudine di realtà e di problematiche che devono essere gestite in maniera centralizzata da un'unica SPM, anche nell'ottica del fatto che nel 2024 le attuali concessioni per l'utilizzo delle risorse geotermiche scadranno. Alla prossima aggiudicazione parteciperanno - oltre EGP - anche soggetti del mercato libero, che potrebbero applicare nuove tecnologie, attingendo comunque con alta probabilità ai medesimi *reservoir* geotermici dei campi di Larderello-Travale e del Monte Amiata. Le difficoltà della SPM stanno nella gestione di:

- concessioni di competenza sia regionale, che nazionale (progetti pilota);
- coltivazione dei campi geotermici da operatori differenti;
- acquisizione, analisi e archiviazione dei dati sismici (sensibili) provenienti dalle reti dei singoli operatori;
- uso differente della geotermia (produzione energia elettrica, teleriscaldamento);
- utilizzo di metodologie differenti per la produzione di energia (ciclo aperto, ciclo chiuso, re-iniezione parziale o totale);
- parametri differenti di re-iniezione del fluido (portata, pressione, temperatura).

La realizzazione della rete integrata di monitoraggio sismico è disegnata per monitorare in tempo quasi-reale la sismicità che si verifica nelle aree geotermiche toscane, con l'ambizione del raggiungimento della soglia di magnitudo minima $M \sim 1$. In caso di sismicità verificatasi all'interno del "Dominio di monitoraggio" prestabilito, il sistema di monitoraggio del CMS comunicherà entro 24/48 ore agli uffici competenti i parametri sismici definiti negli ILG (Dialuce et al., 2014): coordinate ipocentrali, tempo origine, Magnitudo e in caso di evento significativo anche PGV e PGA. Uno schema di comunicazione basato sulle soglie di alcuni di tali parametri è stato proposto in Braun et al. (2023) e in CMS (2023). In conclusione, il monitoraggio sismico integrato realizzato dalla SPM fornisce tutti i parametri tecnici necessari per applicare le raccomandazioni e prescrizioni riportate negli ILG (Dialuce et al., 2014) e nelle LGEO (Terlizzese, 2016). Per arrivare alla piena operatività del sistema di monitoraggio è necessario che venga definita quanto prima la composizione del comitato (per le concessioni di competenza regionale) e decretata la sua nomina per poi decidere, sulla base delle proposte della SPM, le questioni elencate nel §2.

Glossario

ACS:	Accordo di Collaborazione Scientifica
CAD-BO:	Centro Acquisizione Dati - Bologna
CMS:	Centro di Monitoraggio per le attività di Sottosuolo
DIR:	Dominio Interno 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
MISE:	Ministero dello Sviluppo Economico
ML:	Magnitudo locale
PGA:	Peak Ground Acceleration
PGV:	Peak Ground Velocity
RT:	Regione Toscana
RSN:	Rete Sismica Nazionale (INGV)
SPM:	Struttura Preposta al Monitoraggio
TLS:	Traffic Light System - Sistema a semaforo

Bibliografia

Batini, F., Burgassi, P. D., Cameli, G. M., Nicolich, R. and Squarci P., 1978, Contribution to the study of the deep lithospheric profiles: deep reflecting horizons in Larderello-Travale geothermal field, Mem. Soc. Geol. It., 19, 477 - 484.

Batini F., Duprat A. and Nicolich R.; 1985: Contribution of seismic reflection to the study of geothermal reservoirs in Tuscany (Italy). Geothermal Res., Comm. Transactions, 9, 245-252.

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., 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>.

Broggi A., Lazzarotto A., Liotta D., Nicolich R. and Ranalli G.; 2003: L'orizzonte K nella crosta dell'area geotermica di Larderello (Toscana meridionale). Boll. Soc. Geol. It., 122, 103-116.

CMS (2020a). Costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane. T. Braun & A. Morelli: "Relazione di Inizio Attività"; 24/07/2020; 14 pp. http://cms.ingv.it/documenti/20200724_Report_n1_Toscana_Inizio_attivita.pdf.

CMS (2020b). Costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane. T. Braun, M. Errico, D. Famiani, A. Morelli: "Relazione Tecnica Intermedia"; 30/11/2020; 31 pp. http://cms.ingv.it/documenti/20201130_Report_n2_Toscana_RelazioneTecnica.pdf.

CMS (2021). Costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane. Braun T., M. Caciagli, M. Errico, A. Morelli e G. Zerbinato G.: "1° relazione tecnica annuale" 30/06/2021; 40 pp. http://cms.ingv.it/documenti/Report_n3_Toscana_last.pdf.

CMS (2022). Costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane. T. Braun, M. Caciagli, M. Errico, D. Famiani, A. Govoni e G. Zerbinato: "2° relazione tecnica annuale"; 30/06/2022; 51 pp. http://cms.ingv.it/documenti/Report_n4_Toscana.pdf.

CMS (2023). Costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane. T. Braun, M. Caciagli, M. Errico, D. Famiani, A. Govoni, R. Maffucci e G. Zerbinato: "relazione tecnica finale"; 23/06/2023; 90 pp. http://cms.ingv.it/documenti/Report_n5_finale.pdf.

Dialuce G., Chiarabba C., Di Bucci D., Doglioni C., Gasparini P., Lanari R., Priolo E., and Zollo A., (2014). Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche. GdL MISE, Roma. unmig.mise.gov.it/unmig/agenda/upload/85_238.pdf

Sani F., M. Bonini, D. Montanari, G. Moratti, G. Corti e C. Del Ventisette (2016). The structural evolution of the Radicondoli–Volterra Basin (southern Tuscany, Italy): Relationships with magmatism and geothermal implications. Geothermics 59 (A) 38-55. Doi: 10.1016/j.geothermics.2015.10.008.

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.

Elenco delle figure

Figura 2.1. Strutture crostali maggiori e isolinee della topografia dell'orizzonte "K" in km (Sani et al., 2016), sovrapposte ad un'immagine di Google Earth.	9
Figura 3.1. Stazioni sismiche della prima configurazione della rete sismica integrata (CMS, 2023). L'ellisse blu indica l'area per la futura installazione di due stazioni a larga banda.	10
Figura 4.1. Sismometro a banda estesa. modello Lennartz Le 3D-5s.	13
Figura 4.2. Stazione a larga banda con digitalizzatore Nanometrics Centaur e sismometro a larga banda Trillium 120s.	13
Figura 4.3. Esempio di planimetria per la costruzione di un pozzetto per l'installazione di una stazione sismica.	14
Figura 5.1. Pianificazione temporale delle attività previste nei singoli WP.	16

Elenco delle tabelle

Tabella 3.1. Elenco delle stazioni sismiche della rete IV e dell'array MALA operative nelle aree geotermiche toscane. Le stazioni elencate con font blu sono in condivisione con la rete sismica EL di EGP.	11
---	----