



IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO “MONTENERO”

Piano di monitoraggio microsismico Ottemperanza alle Prescrizioni A.5 e A.6 del MATTM (D.M. 56 del 14/03/2017)

Preparato per:
Gesto Italia Srl

Ottobre 2019

Codice Progetto:
P19_GES_032



STEAM
Sistemi Energetici Ambientali
Via Ponte a Piglieri, 8
I – 56122 Pisa
Telefono +39 050 9711664
Fax +39 050 3136505
Email : info@steam-group.net

Questo prodotto è stato realizzato nel rispetto delle regole stabilite dal sistema di gestione qualità conforme ai requisiti UNI EN ISO 9001: 2008 valutato da Bureau Veritas Italia S.p.A. e coperto dal certificato n. IT257421.

**IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO
“MONTENERO”**

**Piano di monitoraggio microsismico
Ottemperanza alle Prescrizioni
A.5 e A.6 del MATTM
(D.M. 56 del 14/03/2017)**



Dott. Adolfo Fiordelisi
Geologo



Dott. Paolo Basile
Geologo

Progetto	Rev.	Preparato da	Rivisto da	Approvato da	Data
P19_GES_032	1	AF	PB	RC	11/10/2019

INDICE

1	INTRODUZIONE	1
2	CARATTERISTICHE DELLA RETE (COMUNE ALLE 2 FASI)	4
3	ANALISI DEI DATI	6
3.1	FASE 1 (ANTE OPERAM)	6
3.1.1	Analisi (off-line)	6
3.1.2	Reportistica e Database	7
3.2	FASE 2 (MONITORAGGIO DELLA PRODUZIONE/REINIEZIONE)	7
3.2.1	Analisi (real-time):	7
3.2.2	Reportistica e Database	7
4	DEFINIZIONE SOGLIE DI SISMICITÀ ANOMALA	9
5	TEMPISTICHE	10

INTRODUZIONE

Il presente Piano di Monitoraggio Microsismico è stato redatto da STEAM s.r.l. su incarico di Gesto Italia s.r.l., titolare del progetto geotermico pilota "Montenero", a seguito delle prescrizioni presenti nel Decreto n. 56 emesso in data 14/03/2017 dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), di concerto con il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo (MiBACT).

Tale decreto, alla Sez. A dell'Art. 1, prescrive quanto segue:

- *A.5 – il Proponente dovrà realizzare una rete di monitoraggio microsismico, in grado di determinare la massima accelerazione del suolo provocata da un sisma di magnitudo inferiore ad almeno 0 con epicentro in un raggio di 5 km dall'impianto. Per raggiungere questa sensibilità il Proponente dovrà ricorrere, se necessario, a stazioni sismiche poste in pozzi geognostici profondi. A tale rete dovrà essere associato un sistema di riconoscimento dell'ipocentro degli eventi, anche tramite forme d'onda, che dovrà consentire, quando l'impianto dovesse entrare in esercizio, una valutazione in tempo breve degli ipocentri e valutare se l'eventuale sismicità rilevata si riconducibile oppure no alle attività dell'impianto. La validazione della rete dovrà essere fatta da INGV e dalla Regione Toscana.*
- *A.6 – il Proponente dovrà produrre un documento in cui saranno descritti:*
 - *I dati che saranno rilevati dalla rete microsismica, le analisi che si prevede di eseguire su di essi e come si prevede d'integrarli nella Rete Nazionale INGV;*
 - *Come sarà organizzato il database in cui saranno immagazzinati:*
 - *I dati registrati dalla rete locale;*
 - *I dati registrati dalla rete nazionale INGV rilevanti per l'impianto Montenero;*
 - *I risultati delle analisi che si eseguiranno sui dati misurati;*
 - *I dati di tutti i monitoraggi eseguiti nell'area (subsidenza, analisi chimica acque);*
 - *Come il database sarà reso accessibile in tempo reale ad INGV ed a tutte le strutture pubbliche che ne faranno richiesta.*

Il documento dovrà essere validato da INGV e Regione Toscana.
- *A.7 – il Proponente dovrà eseguire, con la rete microsismica sopradescritta, un monitoraggio della durata di almeno 1 anno consecutivo, prima dell'avvio delle attività;*
- *A.8 – il Proponente dovrà concordare con la Regione Toscana, le soglie di sismicità anomala per cui si avrà:*

- la riduzione delle attività secondo le modalità definite dal piano stesso;
- la sospensione dell'attività di coltivazione del campo geotermico sino all'esaurimento della crisi microsismica rilevata.

Le soglie di sismicità anomala saranno definite facendo riferimento ai valori delle serie storiche dei sismi rilevati nell'area ed ai parametri rilevati dalla rete realizzata dal Proponente quali:

- profondità e coordinate degli epicentri;
- magnitudo dei sismi;
- anomalie nella frequenza con cui si presentano gli eventi microsismici.

Il documento dovrà essere validato da INGV.

La società Gesto Italia s.r.l. intende ottemperare, con il presente documento, alle prescrizioni A.5 e A.6 del MATTM realizzando una Rete di Monitoraggio Locale (RML) con caratteristiche tecniche coerenti alle indicazioni delle Linee Guida per la Geotermia (LGG) emanate dal Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) nel mese di Ottobre 2016. In ottemperanza alle LGG ed alle prescrizioni del decreto MATTM, il controllo della sismicità nell'area di Montenero sarà articolato secondo due distinte fasi di monitoraggio:

- **Fase 1** - consistente nella registrazione della sismicità di fondo dell'area in esame, prima dell'inizio delle attività di coltivazione, al fine di determinare il cosiddetto "bianco imperturbato";
- **Fase 2** - consistente nel monitoraggio continuo ed elaborazione dati in real-time per il controllo durante le attività di perforazione, produzione-reiniezione e per tutto il periodo di coltivazione.

La Fase 2, come da LGG, si protrarrà per almeno un anno dopo la conclusione delle attività di coltivazione, ma potrebbe essere interrotta anticipatamente nel caso non fosse definitivamente accertata la coltivabilità della risorsa geotermica reperita.

Per affrontare i punti A6-A8 del DM citato nelle premesse, sono però necessarie alcune specifiche.

Nella fase antecedente l'entrata in esercizio dell'impianto (Fase 1), la rete sismica è dedicata alla valutazione della sismicità di fondo ante operam ('bianco imperturbato'), per un periodo di almeno un anno. Per questo motivo, non è necessaria alcuna determinazione in tempo reale dei parametri dei terremoti registrati, quanto una valutazione complessiva circa livelli e caratteristiche della sismicità nell'area al termine del periodo di osservazione. Per le medesime ragioni, non è necessario che nella Fase 1 la condivisione di dati ed informazioni con l'INGV avvenga in tempo reale. Questa specifica assume carattere sostanziale: per quanto la condivisione delle informazioni con il sistema di monitoraggio nazionale dell'INGV sia fondamentale, effettuarla in tempo reale presuppone accordi amministrativi e tecnici che non possono essere risolti in questo stadio.

E' senz'altro opportuno che la rete sismica impiegata per il monitoraggio ante operam rimanga invariata anche durante le fasi di operatività dell'impianto (Fase

2) a meno di aggiustamenti necessari in caso di criticità evidenziate nella Fase 1; tuttavia, le modalità di analisi dei dati raccolti durante le due fasi debbono essere affrontate separatamente, in quanto rivolte a finalità differenti.

Con queste premesse, di seguito si descrivono le caratteristiche del sistema di monitoraggio per le due fasi.

CARATTERISTICHE DELLA RETE (COMUNE ALLE 2 FASI)

Una preliminare configurazione della RML prevede l'installazione di 8 nuove stazioni sismiche a 3 componenti che saranno così ubicate:

- la prima nelle immediate vicinanze del polo di produzione/reiniezione, che costituisce anche il centro della rete;
- le altre distribuite più o meno concentricamente rispetto al suddetto polo e a distanze crescenti.

La Rete Sismica Nazionale (RSN) gestita da INGV è stata progressivamente ampliata, specialmente negli ultimi tre anni, ed oggi è costituita da oltre 300 stazioni sismiche, 25 delle quali ubicate in Toscana (*Figura 2a*). Alcune di queste ultime sono certamente utili per il rilevamento della sismicità proveniente anche dall'area di progetto. In particolare, la stazione ARCI è sufficientemente vicina per essere adatta al monitoraggio della microsismicità locale e può integrare le stazioni di nuova installazione che costituiranno la RML (*Figura 2b*).

La stazione ARCI della RSN, integrata nella configurazione della RML, costituirà la nona stazione e sarà la più distante dal polo di produzione/reiniezione (circa 8 km).

La fattibilità di tale configurazione sarà verificata mediante una preliminare attività di scouting con prove di rumore, in cui la potenza spettrale del rumore sismico ai vari siti di misura sarà comparata ai modelli di rumore ricavati a scala globale (*Peterson, 1993*). A questa fase seguirà il design finale della rete e la relativa installazione.

Secondo le recenti indicazioni delle LG emanate dal MISE, il monitoraggio sismico delle aree geotermiche deve essere predisposto in modo tale da "Rilevare e localizzare terremoti con magnitudo locale minima compresa tra 0 ed 1" all'interno di un dominio circolare di 7 km di raggio, centrato sui poli di produzione/reiniezione, che rappresenta il "dominio esterno di rilevamento". Come indicato nella suddetta figura 2b, oltre al dominio esterno è indicato anche il "dominio interno di rilevamento" di raggio di 2 km centrato sui poli di produzione/reiniezione.

Sempre in ottemperanza delle LG, le otto stazioni di nuova installazione della RML di "Montenero" saranno allestite con:

- 6 sensori triassiali a elevata sensibilità, costituiti da un sismometro a corto periodo ($T=1s$) e intervallo di sensibilità 1-100Hz;
- 2 sensori a larga banda, con frequenza di rilevazione estesa nella banda 0.033Hz - 80 Hz;

Figura 2a Ubicazione del Permesso Pilota 'Montenero' (quadrato verde) e posizionamento delle stazioni sismiche della RSN dell'INGV (cerchi viola)

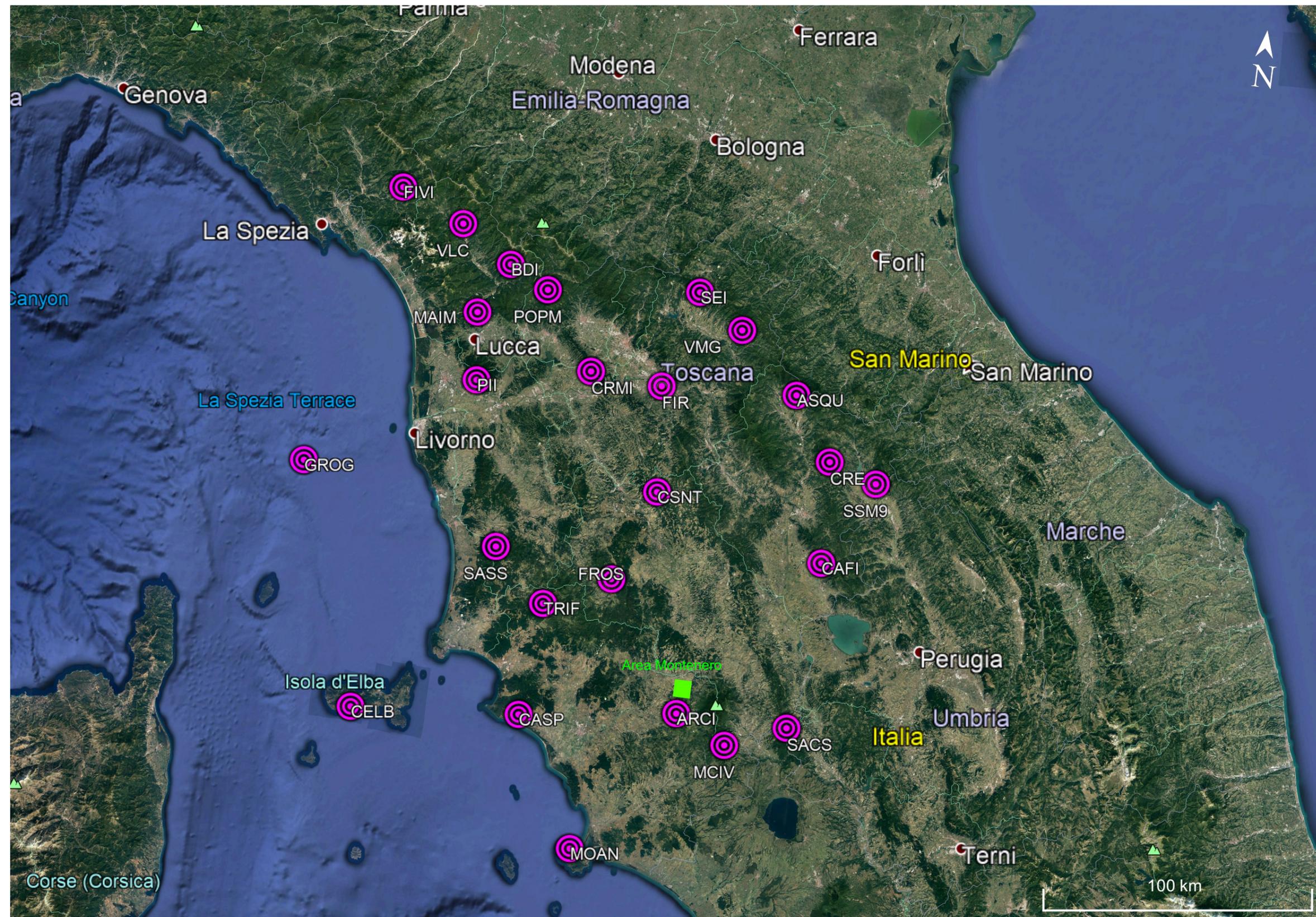
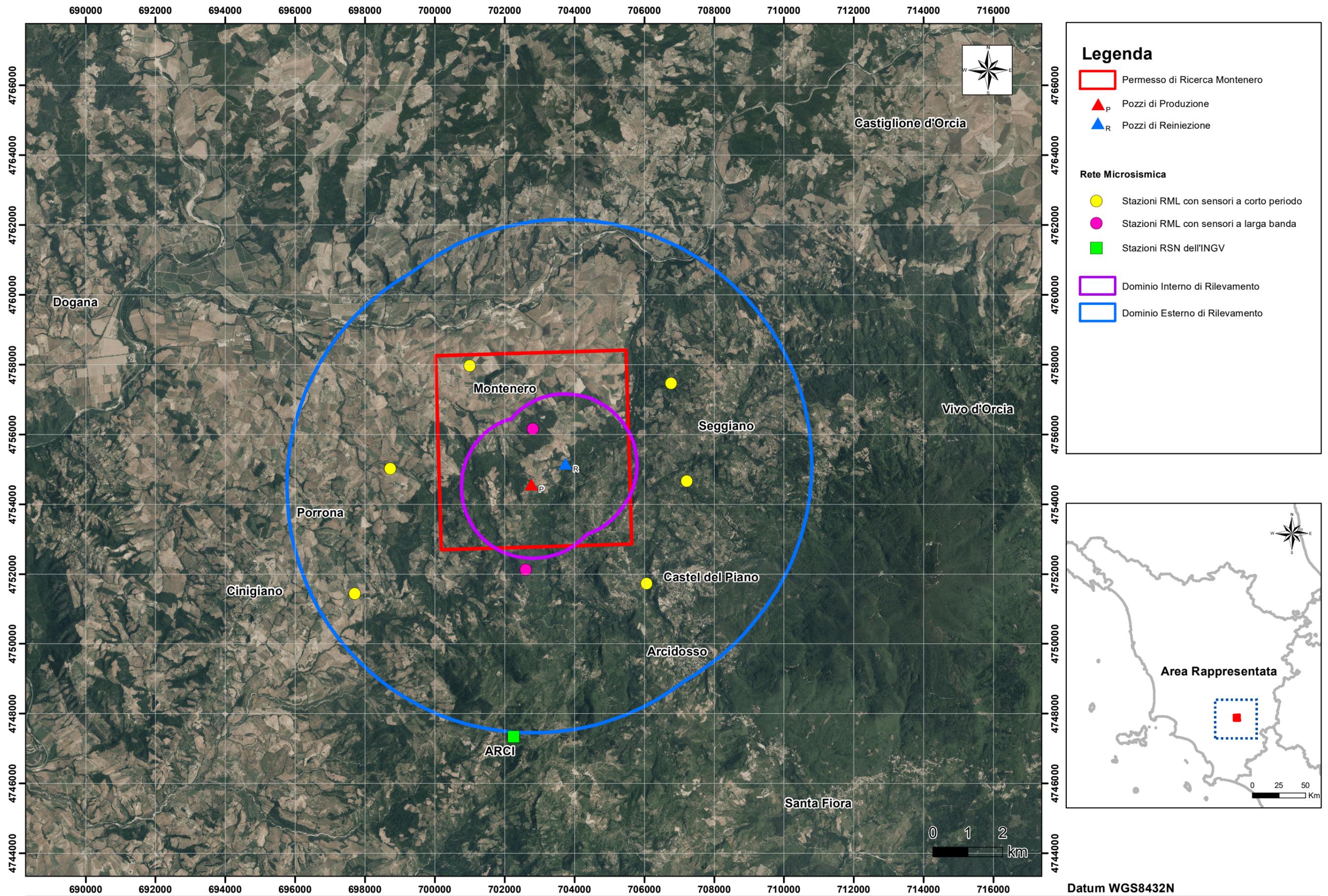


Figura 2b

Configurazione di Massima della Rete Microsismica Locale di Montenero

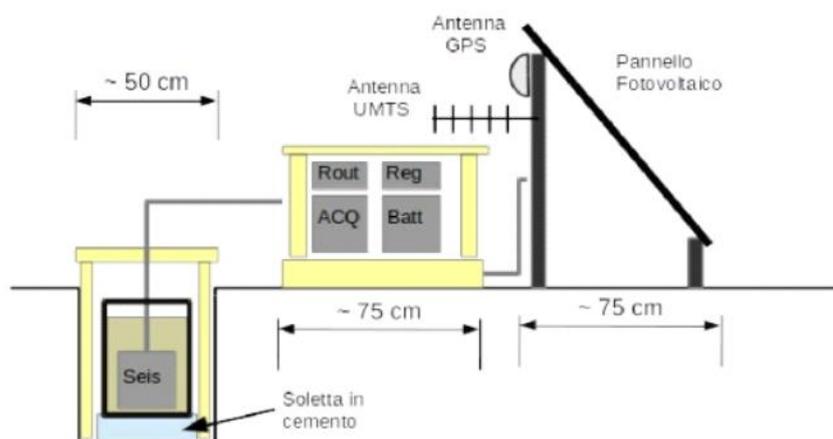


- acquisitori/registratori digitali con dinamica 24 bit e frequenza di campionamento (*sampling rate*) di 200 Hz;
- ove possibile sarà allestito un sistema di trasmissione dati in tempo reale via telemetria UMTS verso un centro remoto di acquisizione;
- ogni stazione sarà equipaggiata da un ricevitore GPS per la sincronizzazione dei segnali acquisiti, permettendo l'integrazione con le altre reti esistenti;
- ogni stazione sarà equipaggiata di un sistema di alimentazione composto da pannello solare, batteria e regolatore di carica.

Per tutte le stazioni sismometriche saranno realizzate le opere civili necessarie a garantire un'adeguata protezione della strumentazione installata. Ogni stazione sarà provvista di un pozzetto parzialmente interrato per l'alloggiamento del sensore, di un box per l'alloggiamento dei sistemi di alimentazione e di acquisizione/trasmissione dati, di una struttura per l'installazione dei pannelli solari (Figura 2c).

Figura 2c

Schema dell'allestimento di campagna di una Stazione di Rilevamento Sismico



Sulla base dell'esperienza già maturata per analoghi monitoraggi in aree geotermiche, una rete con la configurazione e le caratteristiche sopra descritte è in grado di rilevare eventi microsismici con caratteristiche conformi alle richieste del decreto MATTM.

In accordo con gli standard sismologici internazionali, i dati registrati dalla rete saranno memorizzati in formato *MSEED* su server ridondati la cui condivisione potrà avvenire tramite protocollo FTP ad accesso riservato.

3 ANALISI DEI DATI

3.1 FASE 1 (ANTE OPERAM)

3.1.1 Analisi (off-line)

- Discriminazione eventi via STA/LTA;
- Revisione manuale con picking fasi P e S;
- Integrazione off-line dei segmenti di registrazione delle stazioni RSN di rilevanza (e.g., ARCI), tramite interrogazione di data server (EIDA-ORFEUS);
- Determinazione ipocentrale dall'inversione dei tempi di arrivo delle fasi P e S;
- Determinazione magnitudo locale utilizzando la medesima scala di RSN;
- Database parametrico degli eventi sismici in formato QUAKEML;
- Database delle forme d'onda in formato *MSEED* accessibile via ftp ad utenti registrati.

Per gli eventi sismici rilevati da un numero sufficiente di stazioni, sarà eseguito il calcolo del meccanismo focale mediante inversione delle polarità dei primi arrivi.

Si specifica che per la procedura di autopicking e la conseguente inversione dei tempi per determinare le coordinate spaziali dell'evento, si intende utilizzare metodi probabilistici non-lineari, che permettono una definizione esaustiva delle incertezze della localizzazione conseguenti gli errori sia nel calcolo delle travel time teoriche che nella stima dei tempi di arrivo.

Ad integrazione di quanto già descritto Per quanto riguarda la descrizione puntuale di procedure e metodi che si intendono adottare si può ulteriormente specificare che:

- per le stazioni con trasmissione dati in tempo reale verso un centro remoto, l'acquisizione avverrà mediante il software Seiscomp3, permettendo così la rapida integrazione con i dati di altre reti eventualmente presenti sul territorio; tale integrazione potrà avvenire sia in tempo reale, mediante ricezione dei relativi stream, che in tempo differito, mediante aggiunta delle registrazioni nel database del sistema di acquisizione;
- in accordo con gli standard sismologici internazionali, come già detto, i dati saranno memorizzati in formato SEED;
- la valutazione delle buone condizioni di acquisizione delle diverse stazioni e della bontà dei siti prescelti sarà effettuata mediante la produzione continua di spettri di rumore.

3.1.2 *Reportistica e Database*

Tutti i dati rilevati e analizzati saranno raccolti e illustrati in un Report tecnico prodotto con cadenza trimestrale, al quale sarà allegato un bollettino sismico con l'indicazione, per ogni evento rilevato, dei seguenti parametri:

- Tempo origine;
- Coordinate epicentrali e profondità;
- Magnitudo locale e Magnitudo momento;
- Tempi di arrivo a ciascuna stazione;
- Errori di localizzazione;
- PGV (Peak Ground Velocity) ai siti di misura;
- Ove calcolabili, parametri del meccanismo focale.

Seguendo gli standard in uso nella comunità sismologica internazionale, i dati parametrici della sismicità registrata saranno anche memorizzati nel formato QUAKEML, in modo da consentire una rapida integrazione con quanto prodotto da INGV.

Assieme ai dati di sismicità storica, questi prodotti serviranno alla determinazione delle soglie di sismicità anomala.

3.2 *FASE 2 (MONITORAGGIO DELLA PRODUZIONE/REINIEZIONE)*

3.2.1 *Analisi (real-time):*

- Inclusione degli stream di dati della RSN di rilevanza per il monitoraggio (**soggetto ad accordo preventivo con INGV**);
- Trigger e localizzazione automatica;
- Revisione da parte di operatori esperti;
- Localizzazione in tempo quasi-reale con metodi basati sulla retro-propagazione di funzioni caratteristiche (e.g., *Grigoli et al., 2014*).

3.2.2 *Reportistica e Database*

Tutti i dati rilevati e analizzati saranno raccolti e illustrati in un catalogo aggiornato con cadenza giornaliera, con indicazione dei seguenti parametri:

- Tempo origine;
- Coordinate epicentrali e profondità;
- Magnitudo locale e Magnitudo momento;
- Tempi di arrivo a ciascuna stazione;
- Errori di localizzazione;
- PGV (Peak Ground Velocity) e PGA (Peak Ground Acceleration) ai siti di misura.

Come indicato nelle LGG, tutti i dati acquisiti ed elaborati saranno forniti non solo all'Amministrazione competente e agli Enti eventualmente individuati dalla stessa, ma anche alla struttura preposta al monitoraggio (SPM) di comprovata esperienza in materia indicata dal MISE come proprio organo tecnico. Infine, tutti i risultati riportati nel bollettino sismico verranno comunque inseriti in una banca dati dedicata, il cui accesso verrà consentito a tutte le strutture pubbliche interessate che ne facciano richiesta.

DEFINIZIONE SOGLIE DI SISMICITÀ ANOMALA

Relativamente alle indicazioni del decreto MATTM riportate al punto A.8, i parametri di base delle soglie di sismicità anomala saranno definiti in accordo con la Regione Toscana, ovvero:

- parametri rilevati dalla rete di monitoraggio locale di prossima realizzazione, ed in particolare:
 - profondità e coordinate epicentrali;
 - magnitudo;
 - frequenza di accadimento degli eventi sismici;
- parametri ipocentrali ricavati dai cataloghi storici e strumentali dei sismi rilevati nell'area.

I criteri di definizione delle soglie di sismicità anomala, come da indicazioni MATTM, assumono una particolare importanza in quanto il superamento di tali soglie può comportare pesanti ricadute industriali sulla produzione di energia dell'impianto pilota di "Montenero", prevedendo:

- la riduzione delle attività secondo modalità da definire;
- la sospensione dell'attività di coltivazione sino all'esaurimento della crisi microsismica rilevata.

Considerando che per la definizione delle soglie sono necessari i risultati delle osservazioni complessive della Fase 1, si ritiene opportuno e necessario rimandare alla fase finale del monitoraggio "ante operam" la formulazione del relativo documento da concordare con la Regione Toscana e da sottoporre alla validazione da parte di INGV.

5 **TEMPISTICHE**

Come sintesi conclusiva di tutte le argomentazioni sopra esposte, il Piano di Monitoraggio Microsismico per il progetto geotermico pilota di “Montenero” sarà articolato secondo il seguente programma cronologico.

Figura 5a Cronoprogramma

	mesi												anni											
Validazione Piano di Monitoraggio	■																							
Scouting, design finale rete e installazione	■	■	■																					
Monitoraggio Fase 1				■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Definizione soglie di sismicità anomale													■											
Monitoraggio Fase 2													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		

BIBLIOGRAFIA

Grigoli F., Cesca S., Amoroso O., Emolo A., Zollo A. & Dahm T., 2014. Automated seismic event location by waveform coherence analysis. *Geophysical Journal International*, 196, 1742–1753, <https://doi.org/10.1093/gji/ggt477>

Nakata & Beroza (2016). *GEOPHYSICS*, VOL. 81, NO. 2; P. KS113–KS122, 10.1190/GEO2015-0278.1)

Drew et al. (2013) (*Geophys. J. Int.* 195, 1773–1785)

Gharti et al. (2010) *GEOPHYSICS*, VOL. 75, NO. 4; P. MA27–MA46, 10.1190/1.3432784

Lacroix & Helmstetter (2011) *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 101, No. 1, pp. 341–353, doi: 10.1785/0120100110)

Kao & Shuan (2004) *Geophys. J. Int.* (2004) 157, 589–594

Langet et al. (2014) *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 104, No. 1, pp. 229–246, February 2014, doi: 10.1785/0120130107).

Peterson, J. (1993). *Observation and modeling of seismic background noise*, U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 93-322.