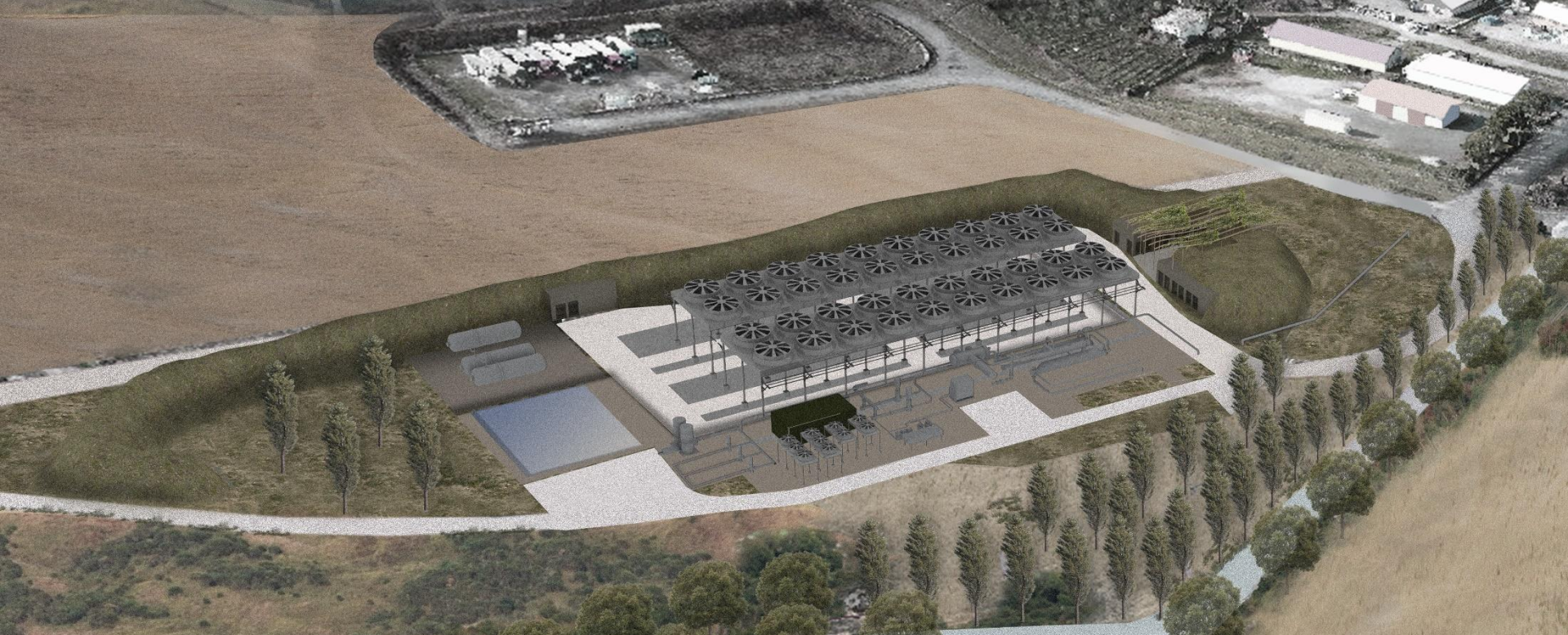




**Geotermia a ciclo binario:
Impianto geotermico “Val di Paglia”
*MONITORAGGIO SISMICO E LINEE GUIDA***

Dott. Geol. Adolfo Fiordelisi

Abbadia San Salvatore, 31 Gennaio 2020

➤ MONITORAGGIO SISMICO

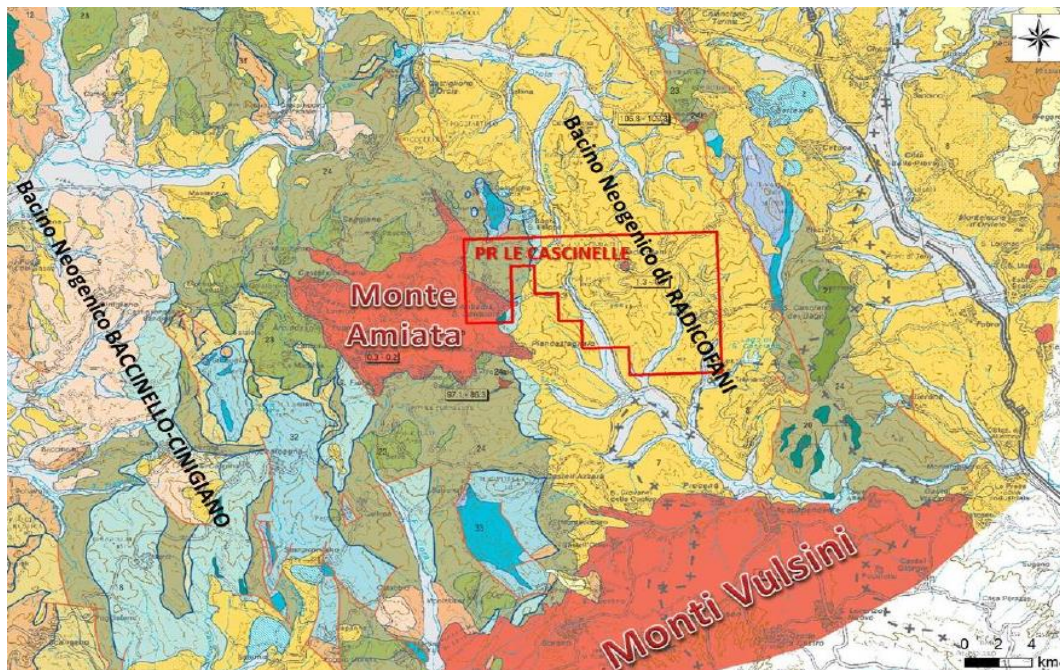
- ✓ Caratterizzazione sismologica
- ✓ Linee Guida
- ✓ Monitoraggio bianco imperturbato
- ✓ Programma monitoraggio futuro

- **le attività di coltivazione di un campo geotermico possono provocare fenomeni di sismicità indotta** (stimolazione/reiniezione di fluidi geotermici e solo in particolari condizioni termo-fluido-dinamiche).
- la sismicità indotta è comunque di tipo essenzialmente microsismico (**scosse frequenti e magnitudo al disotto della percectibilità umana**).
- le aree geotermiche sono storicamente caratterizzate da una **significativa attività sismica naturale**. e' quindi probabile che si possa verificare un evento sismico, anche avvertibile dalla popolazione, ma non connesso all'attività di produzione/reiniezione.
- le procedure di analisi disponibili non permettono di **discriminare in modo certo la sismicità indotta da quella naturale**, né esistono metodologie che consentano la previsione deterministica dei fenomeni sismici (naturali e/o indotti).
- **l'unico criterio attendibile** per ipotizzare il possibile rapporto causa-effetto tra coltivazione geotermica e sismicità indotta è la **correlazione spazio-temporale tra operazioni di reiniezione nei pozzi e l'insorgere di eventi sismici**.
- gli strumenti più utili e indispensabili per la corretta osservazione e valutazione della fenomenologia sismica sono studi approfonditi sulle caratteristiche sismologiche dell'area interessata e la predisposizione di un **adeguato sistema di monitoraggio sismico locale**.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE DELL'AREA INTERESSATA

L'area di interesse:

- è ubicata immediatamente ad Est del complesso vulcanico del Monte Amiata
- si estende all'interno del Bacino Neogenico di Radicofani
- è bordata pochi km verso Sud dal sistema vulcanico dei Monti Vulsini



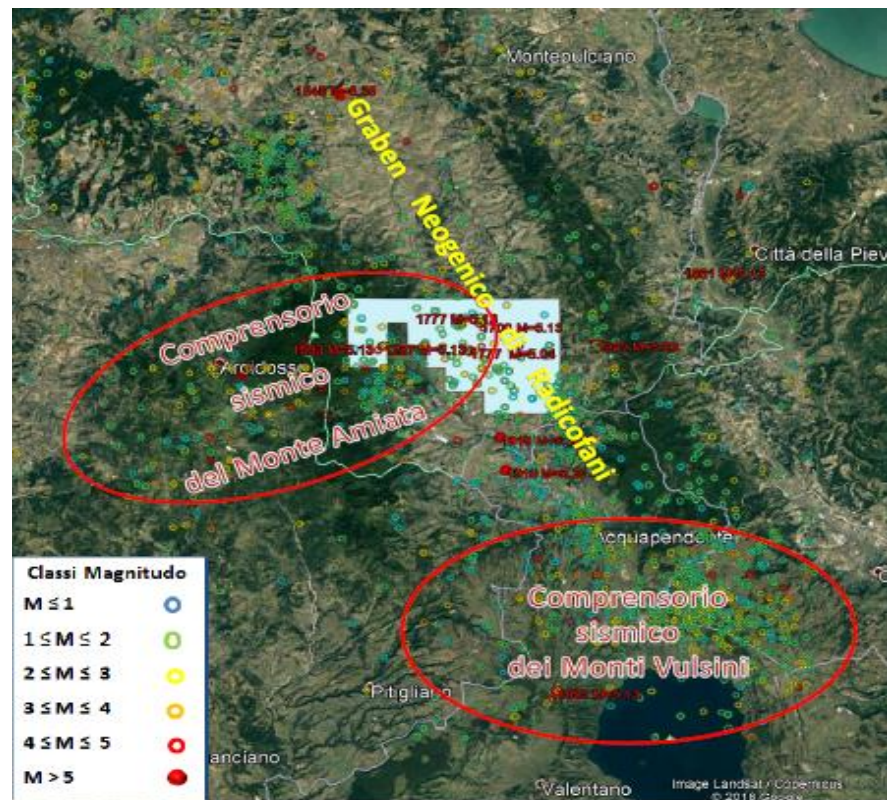
elementi, di origine tettonico-strutturale e vulcano-tettonica, storicamente caratterizzati da un'elevata attività sismica con eventi molto frequenti, ma generalmente di media-bassa intensità.

DATABASE SISMOLOGICO

- Estrazione di dati, da vari cataloghi INGV, per tutta la Toscana centro-meridionale.
- Caratterizzazione sismologica del **periodo 1000-15/3/2019** (ultimo aggiornamento).
- Analisi più specifica e dettagliata delle caratteristiche sismologiche dell'area del PR "Le Cascinelle" (DB degli **eventi ricadenti entro 30 km dall'area stessa**).
- Nel periodo coperto dal DB sismico e all'interno della suddetta area di 30 km si sono verificati **2.842 eventi sismici**.

**ELEVATA SISMICITÀ ORIGINATA
NEL COMPENSORIO SISMICO DEL MONTE AMIATA
LUNGO IL GRABEN DI RADICOFANI
NEL COMPENSORIO SISMICO DEI MONTI VULSINI**

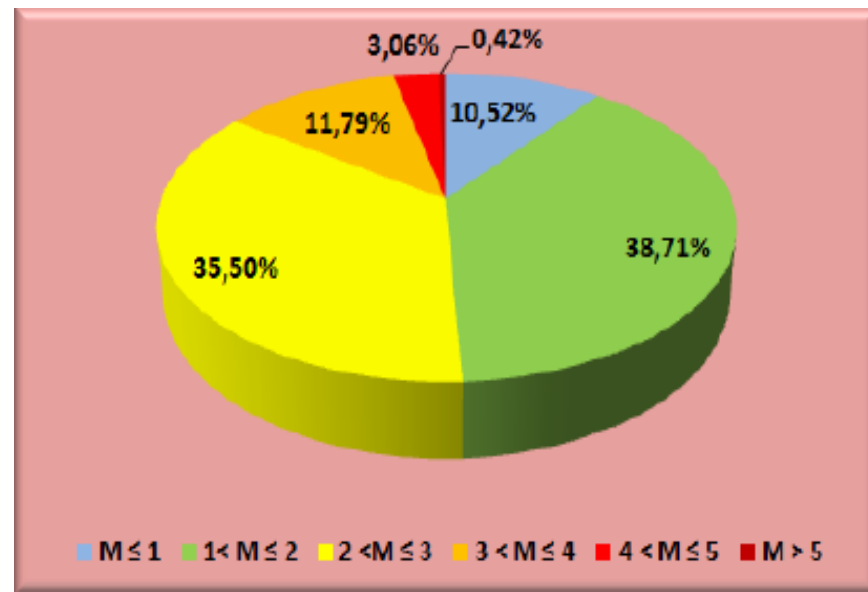
MAPPA DEGLI EPICENTRI



Distribuzione in classi di magnitudo della sismicità circostante il PR “Le Cascinelle”

- $M \leq 1$ circa 10%;
- $M > 1$ e ≤ 2 circa 39%;
- $M > 2$ e ≤ 3 circa 35%;
- $M > 3$ e ≤ 4 circa 11%;
- $M > 4$ e ≤ 5 circa 3%;
- $M > 5$ circa 0,4% ($M_{max} \approx 5,5$).

La bassa percentuale di eventi con $M \leq 1$ (poco più del 10%) è chiaramente dovuto alla mancanza di tale grado di sismicità nei cataloghi storici disponibili, prima della seconda metà del XX secolo.

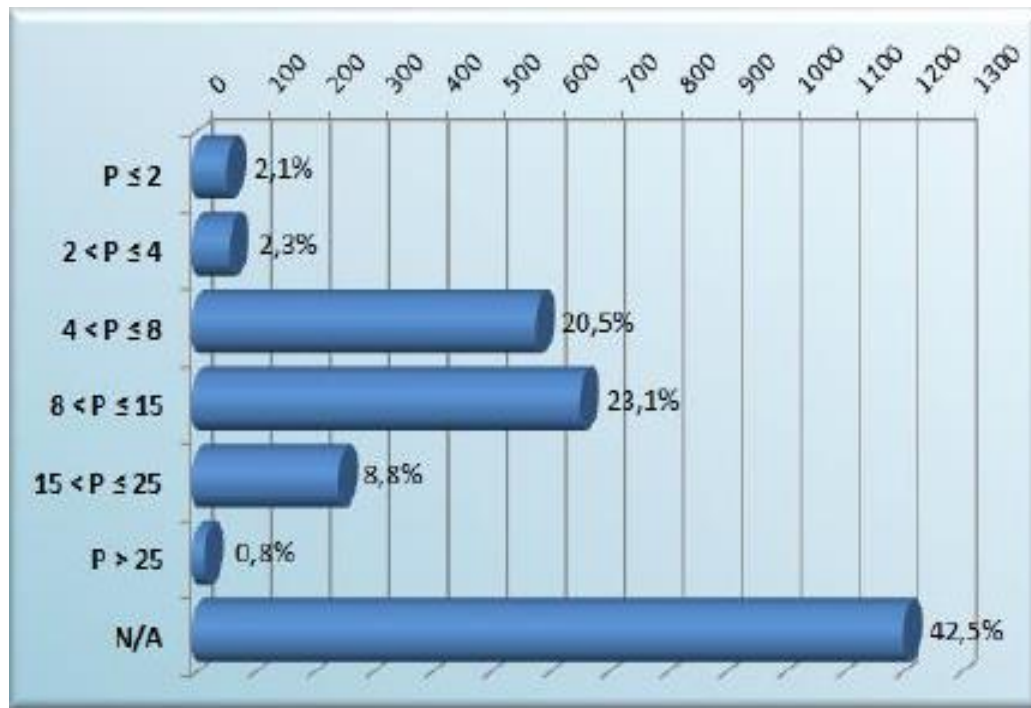


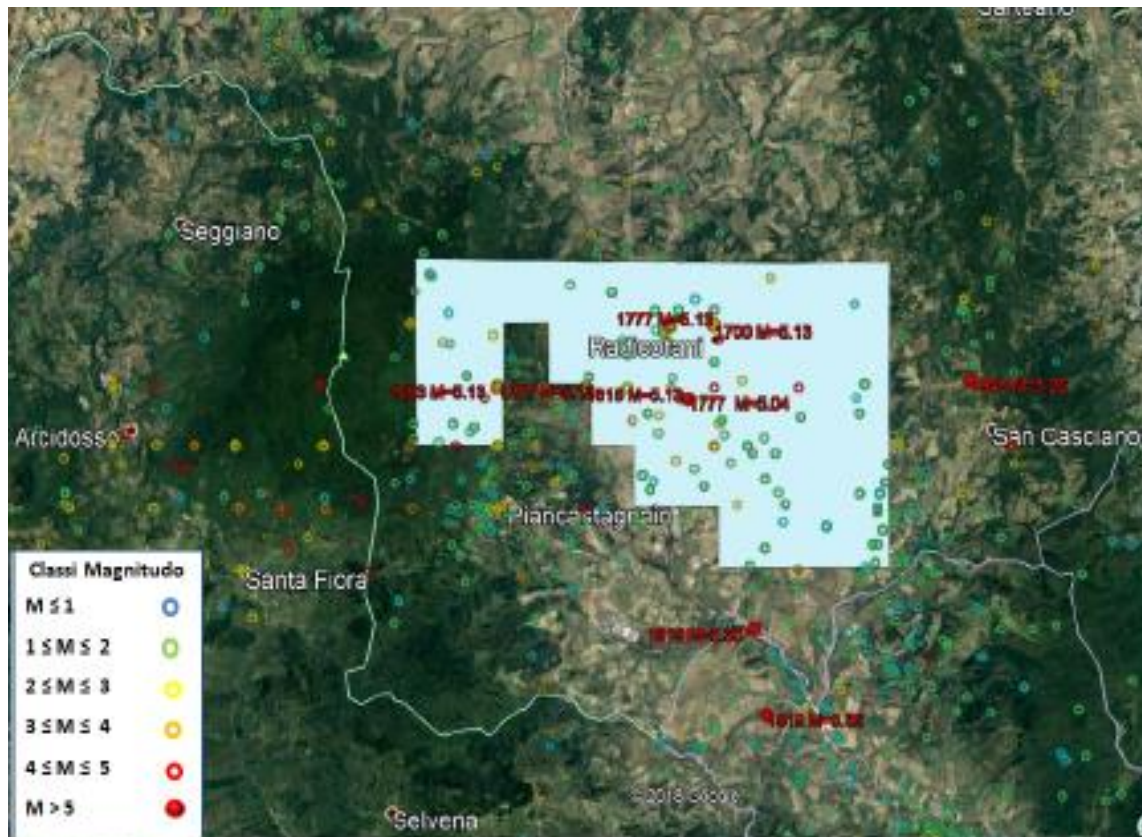
OLTRE L'84% DI TALI EVENTI È CARATTERIZZATA DA $M \leq 3$, MA ALCUNI EVENTI CON $M > 5$ HANNO INTERESSATO L'AREA IN OGGETTO E PRECISAMENTE NEL 1287, 1593, 1777, 1815, 1861, 1882, 1919, 1940

CARATTERIZZAZIONE SISMOLOGICA

Profondità non determinata per oltre il 40% degli eventi entro 30 km dall'area del PR “Le Cascinelle”
La caratterizzazione della **distribuzione in classi di profondità** è possibile solo su poco più della metà dei dati disponibili.

- ❖ Bassa ricorrenza (2%) di eventi superficiali (entro i primi 2 km e tra 2 e 4 km)
- ❖ Ripartizione abbastanza omogenea tra 4 e 8 km (circa 20%) e tra 8 e 15 km (circa 23%), che è l'intervallo di profondità con maggiore presenza di ipocentri.
- ❖ Al di sotto dei 15 km la sismicità decresce fortemente, fino ad estinguersi quasi del tutto al disotto dei 25 km.





La sismicità interna all'area del PR
“Le Cascinelle” e nelle sue
immediate vicinanze
risulta caratterizzata in larga
massima da valori di $M \leq 2$.

Solo nove sismi hanno avuto $M \geq 5$

- 6 interni al PR Le Cascinelle (tra Abbazia S.S. e Radicofani) nel 1287, 1593, 1700, 1777 e nel 1815;
- 2 eventi del 1919 (a S-E di Piancastagnaio);
- 1 evento del 1940 (San Casciano dei Bagni)

(Ministeri dello Sviluppo Economico e dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare)

Scopo del monitoraggio sismico :

- ☐ Rilevare, localizzare e determinare i principali **parametri di sorgente della sismicità e microsismicità**,
- ☐ **Migliorare a scala locale il livello di magnitudo di completezza degli eventi sismici** rilevati all'interno del ***dominio di rilevazione***;
- ☐ Misurare con accuratezza velocità di oscillazione e accelerazione del suolo prodotte in superficie da terremoti in prossimità dell'area di coltivazione;
- ☐ Realizzare un **catalogo di eventi sismici** per valutare l'evoluzione nel dominio spazio-tempo-magnitudo della sismicità nel dominio di rilevazione, e analizzare la pericolosità dell'eventuale sismicità indotta, anche in relazione alla sua evoluzione temporale.

Dominio di rilevazione: volume all'interno del quale si ritiene che possano potenzialmente verificarsi fenomeni di sismicità indotta o di deformazione del suolo associati all'attività svolta (volume che si estende per 2 km intorno al pozzo stesso, ampliato di un'ulteriore fascia di 5 km)

La **Rete di Monitoraggio Sismico Locale (RMSL)** deve soddisfare i seguenti requisiti:

- rilevare e localizzare i terremoti a partire da **ML compresa tra 0 e 1 ($0 \leq ML \leq 1$)** e con errori nella localizzazione dell'ipocentro non superiori a poche centinaia di metri;
- determinare l'accelerazione e la velocità del moto del suolo provocata da eventuali terremoti presso i punti di misurazione;
- **integrarsi opportunamente con le reti di monitoraggio esistenti** (ovvero: rete nazionale, reti regionali e ulteriori eventuali reti locali).

Tempistiche del monitoraggio sismico

- ✓ un anno prima dell'inizio dell'attività di coltivazione o reiniezione, al fine di poter verificare e misurare la **sismicità naturale di fondo in condizioni “non perturbate”**.
- ✓ per **tutto il tempo dell'attività di coltivazione prevista**, e protrarsi per almeno **un anno dopo la conclusione delle attività**.

Caratteristiche tecniche della RMSL

- sismometri triassiali ad elevata sensibilità
- eventuale accelerometro per la fase di coltivazione
- acquisizione in continuo
- in fase di coltivazione, trasmissione dei segnali in tempo “quasi-reale” al centro di controllo
- acquisitore dotato di un sistema di temporizzazione di precisione (tecnologia GPS) per la stima corretta dei tempi di arrivo delle fasi e l'integrazione con le altre reti esistenti

Sistema di riconoscimento della sismicità e condivisione risultati

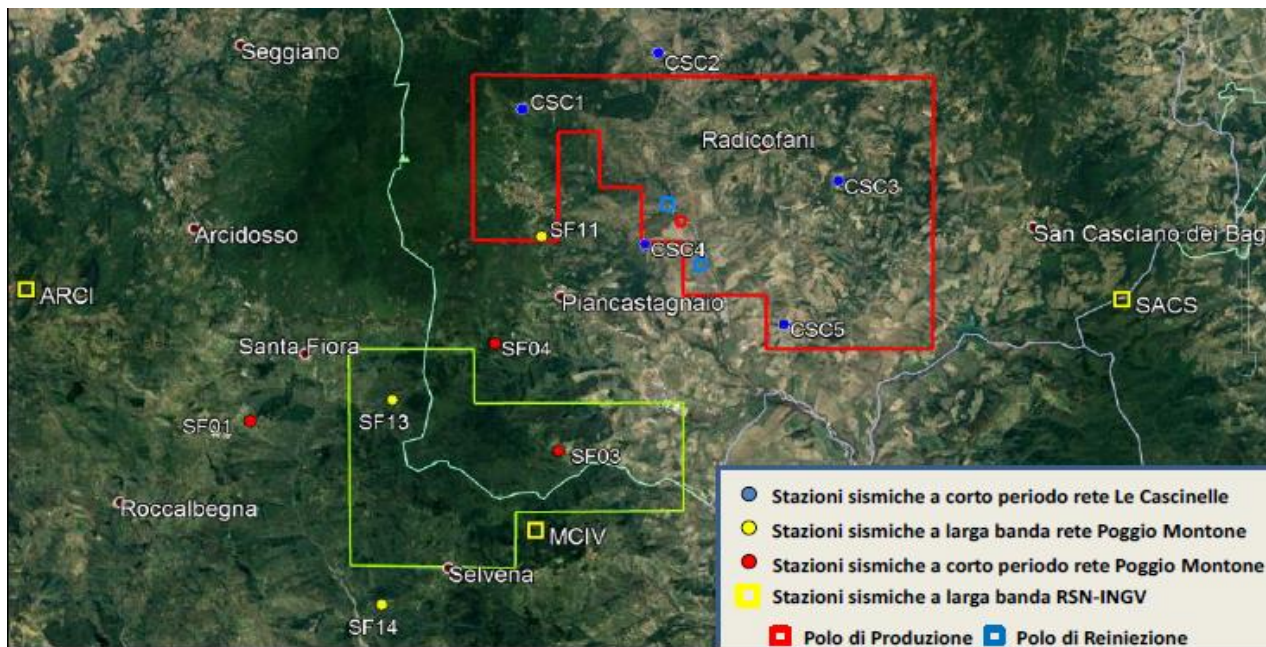
- sistema di riconoscimento automatico (modalità “quasi reale”) per una tempestiva segnalazione di eventuale attività sismica anomala
- sistema di riconoscimento e revisione dei dati off-line per le analisi di dettaglio
- Redazione di rapporti periodici semestrali da fornire all'Amministrazione competente e agli Enti eventualmente individuati dalla stessa

DECISIONI OPERATIVE E GESTIONE DEI PARAMETRI DI PRODUZIONE

E' necessaria una più profonda maturazione delle conoscenze e delle metodologie scientifiche su alcuni impianti,
per definire opportune procedure di gestione e controllo delle attività di coltivazione con adeguati livelli di
attivazione (eventuale sistema sperimentale a semaforo) in funzione dei risultati del monitoraggio

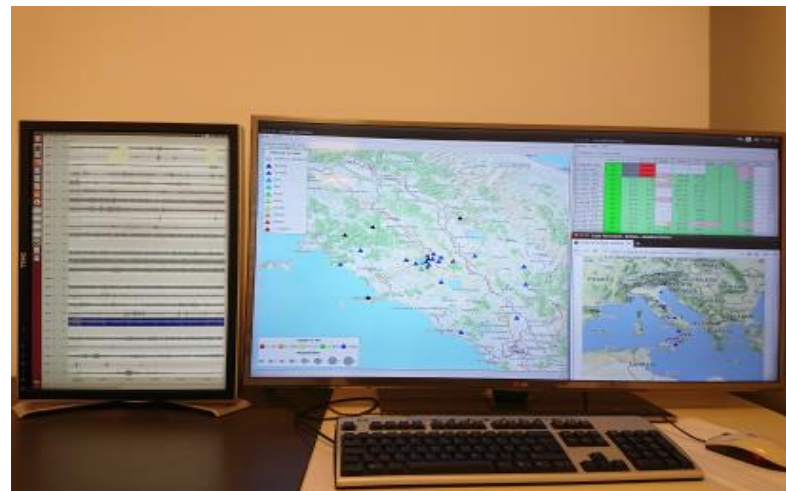
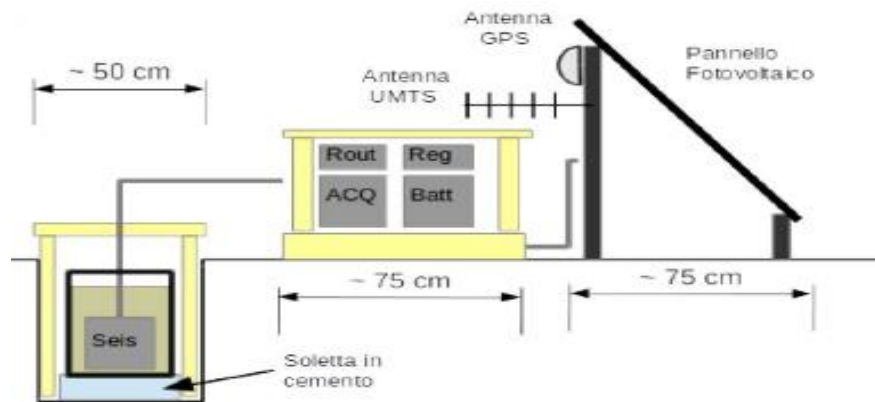
LA RETE DI MONITORAGGIO – Fase 1 (BIANCO IMPERTURBATO)

La rete è composta da **5 stazioni** di rilevamento sismico **di nuova installazione** a corto periodo ed è integrata dalle **6 stazioni** installate per un **precedente monitoraggio** della vicina area di Poggio Montone



TRE STAZIONI DELLA RSN (INGV) COMPLETANO LA COPERTURA DELLA RMSL E I DATI SONO STATI INTEGRATI NELLE PROCEDURE DI ANALISI.

LA RETE DI MONITORAGGIO – Fase 1 (BIANCO IMPERTURBATO)



Centro di acquisizione e analisi
Allestito presso INGV - Pisa

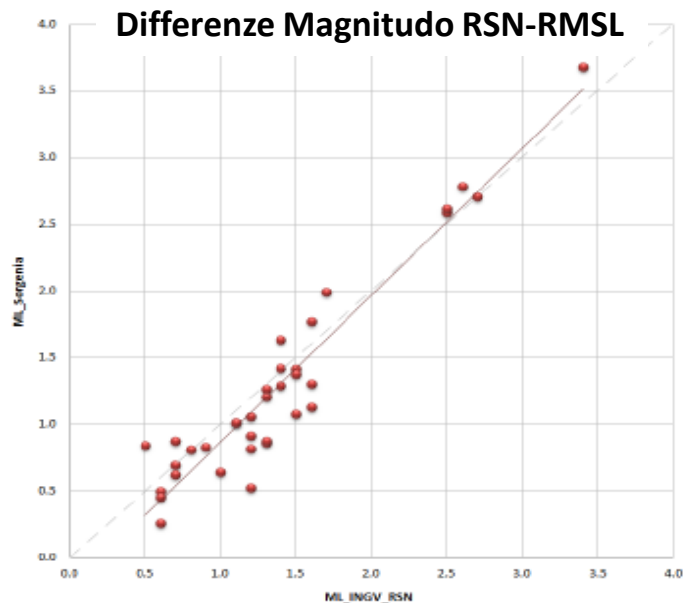
I RISULTATI

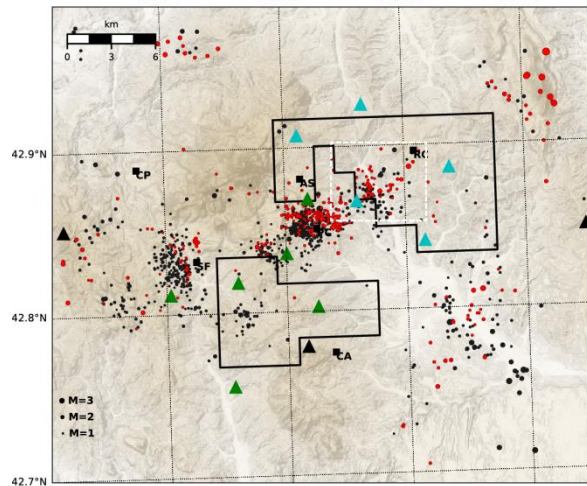
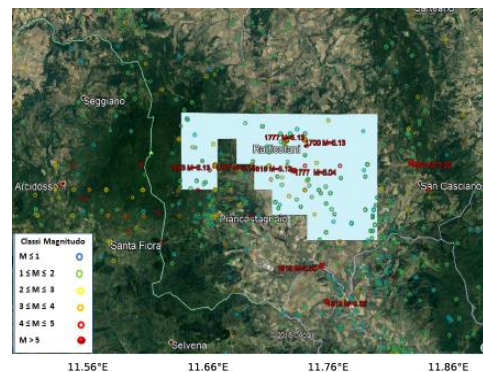
- La rete ha rilevato la sismicità locale dal **20 Settembre 2018 al 20 Settembre 2019**
- I dati sono stati acquisiti, trasmessi, archiviati ed elaborati in **accordo con le LG**
- L'analisi dei dati è stata integrata anche con i dati rilevati dalla rete locale di Poggio Montone che è rimasta in funzione a partire dal 25/3/2016
- le stazioni hanno funzionato in modo quasi continuo (97.7% - 100%).

DATA SET

Periodo	#LOC	#SEL	#RSN
20/9/2018 20/9/2019	641	341	35
25/3/2016 20/9/2019	2399	1142	92

- *#LOC = numero totale eventi individuati e localizzati*
- *#SEL = numero eventi selezionati per l'area di interesse*
- *#RSN = numero di eventi registrati anche dalla RSN*





I RISULTATI

**Localizzazione epicentrale dei 341 eventi del catalogo selezionato
(eventi interni o nelle immediate vicinanze del PR LE CASCINELLE)**

- CONFERMA DELLE AREE EPICENTRALI DEL DB STORICO
- SOSTANZIALE CONFORMITÀ TRA LE LOCALIZZAZIONI DEGLI EVENTI RILEVATI DALLE RETI DI P.MONTONE (25/3/16-20/9/18) E LE CASCINELLE (20/9/18/20/9/19)
- RETE LOCALE CARATTERIZZATA DA ELEVATA SENSIBILITA'

*In nero la sismicità pregressa
registrata nel periodo
25/3/2016 – 20/9/2018*

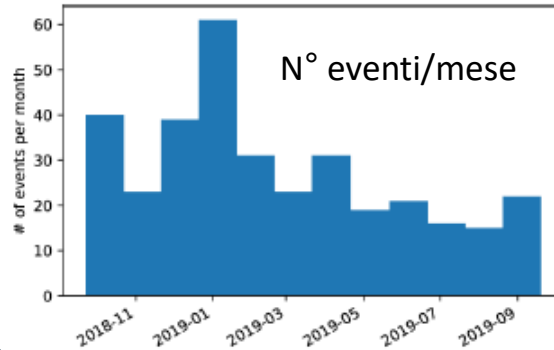
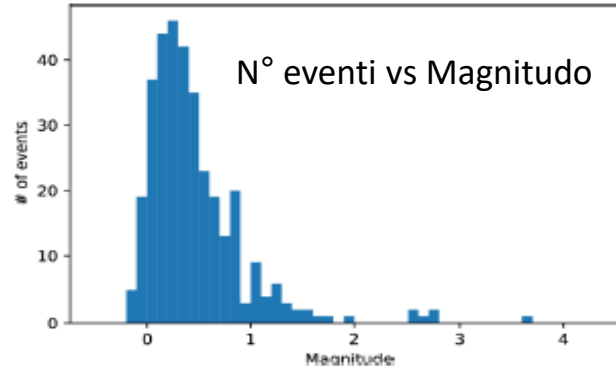
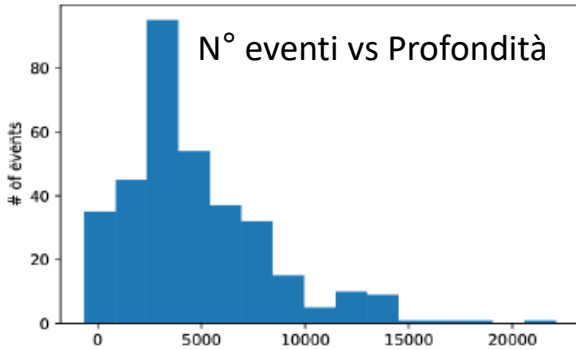
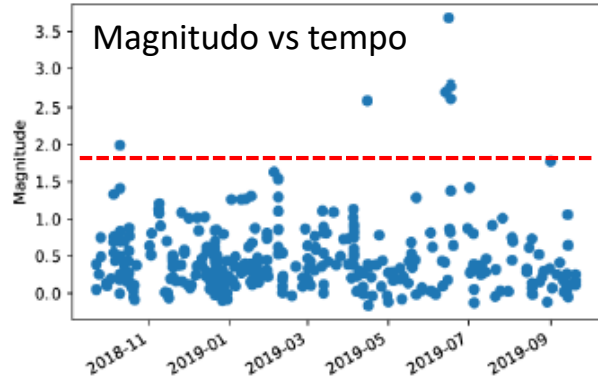
*in rosso gli eventi registrati e
localizzati nel periodo
20/09/2018 al 20/09/2019*

- In verde le stazioni di Poggio Montone
- In celeste le stazioni di Le Cascinelle

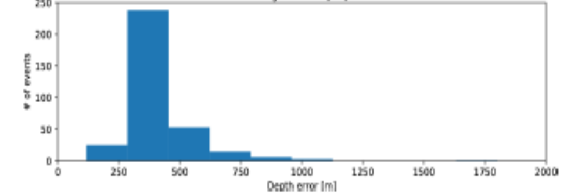
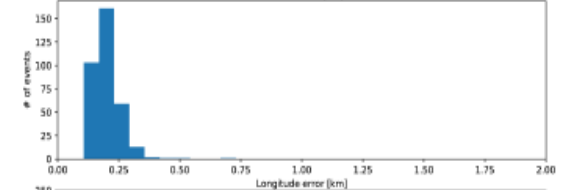
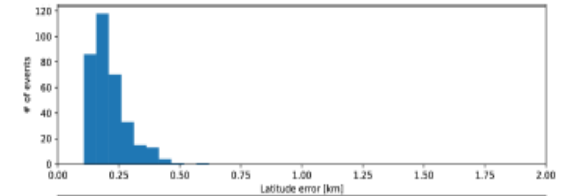
LA RETE DI MONITORAGGIO – Fase 1 (BIANCO IMPERTURBATO)

I RISULTATI

20/09/2018 - 20/09/2019



Errori di localizzazione



“Il monitoraggio microsismico svolge un ruolo chiave per una migliore comprensione dei meccanismi fisici che regolano la eventuale sismicità indotta. È lo strumento fondamentale per i responsabili delle decisioni per valutare se e come modificare la gestione delle attività industriali monitorate» (Grigoli et al. 2017)

Sostanziale incertezza nel definire una fenomenologia sismica sicuramente indotta. Molti lavori scientifici associano ad una stessa fenomenologia una causa indotta ed una assolutamente naturale.

Così come indicato dalla Linee Guida Ministeriali, la soluzione più razionale non è la sospensione di qualsiasi attività industriale per principi precauzionali, ma la realizzazione di sistemi di monitoraggio locale con reti tecnologicamente avanzate e ad elevata sensibilità che consentono di rilevare ed elaborare eventi ad ampio spettro energetico, integrando ed ampliando la completezza dei cataloghi sismici e la comprensione dell'eventuale fenomenologia indotta.

PROGRAMMA DI MONITORAGGIO FUTURO

Costituzione gruppo di controllo inerente al tema della microsismicità, SPM (soggetto tecnico-scientifico individuato dall'Amministrazione competente - Regione Toscana), Comuni interessati, Settore Sismico della Regione Toscana, Sorghena. Divulgazione dati acquisiti al costituendo gruppo, che collaborerà alla definizione del sistema di gestione del campo geotermico in modo da operare in piena sicurezza.

Scelta progettuale di **suddividere la portata di reiniezione tra una pluralità di pozzi** per operare in piena sicurezza. La portata totale da reiniettare sarà ripartita nei 7 pozzi di reiniezione previsti dal progetto, **garantendo la migliore gestione del campo e riducendo drasticamente l'eventualità di eventi microsismici indotti** (se presenti, sono comunque attesi con livelli di energia che non altera il quadro sismico storico)

Ogni pozzo di reiniezione sarà testato con aumenti gradualmente della portata reiniettata.

Grazie alla rete microsismica installata (più performante rispetto alle LG nazionali), sarà possibile studiare anche con perturbazioni minime (minime portate reiniettate) il comportamento dei pozzi e l'eventuale microsismicità indotta.

MONITORAGGIO CONGIUNTO DELLA SISMICITÀ E DEI PARAMETRI DELLA REINIEZIONE

strumento fondamentale per analizzare l'eventuale correlazione sito specifica tra reiniezione ed eventuale sismicità indotta, ottimizzando la gestione della reiniezione stessa.