



**IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO CASTEL GIORGIO (TR)**  
**Studio di Impatto Ambientale**

**ALLEGATO F**  
**PROGRAMMA DI MONITORAGGIO GEOCHIMICO E**  
**SISMICO**



## **Impianti geotermici pilota di Castel Giorgio e di Torre Alfina**

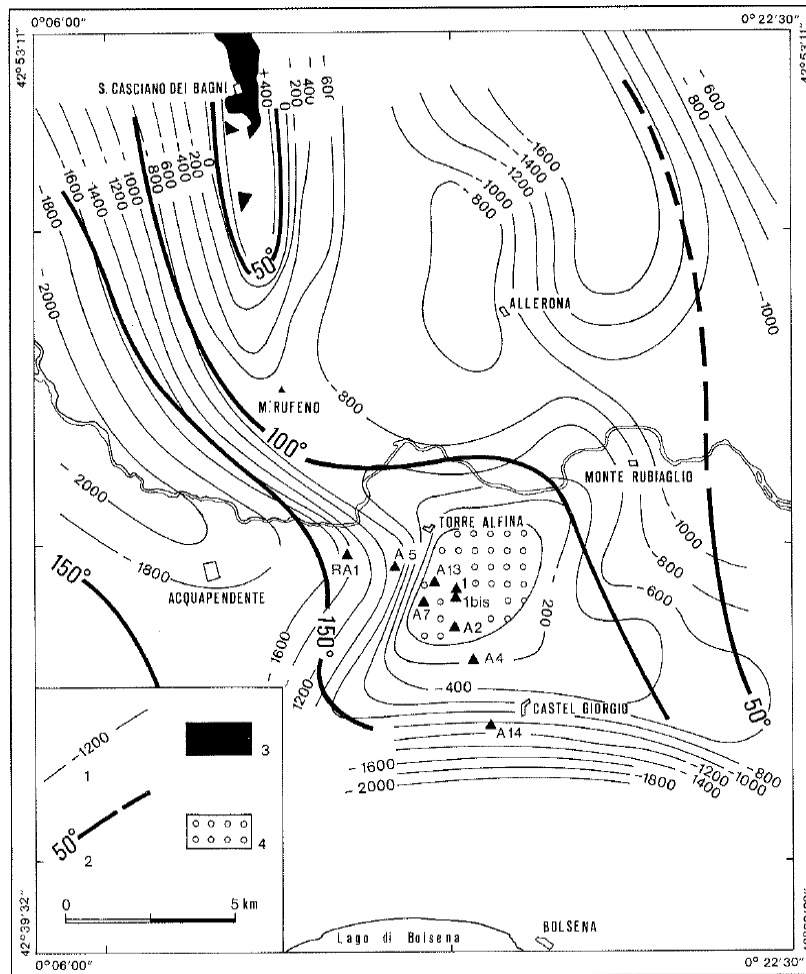
### **(Progetto di ITW&LKW Geotermia Italia SpA)**

#### **Programma di monitoraggio geochimico e sismico**

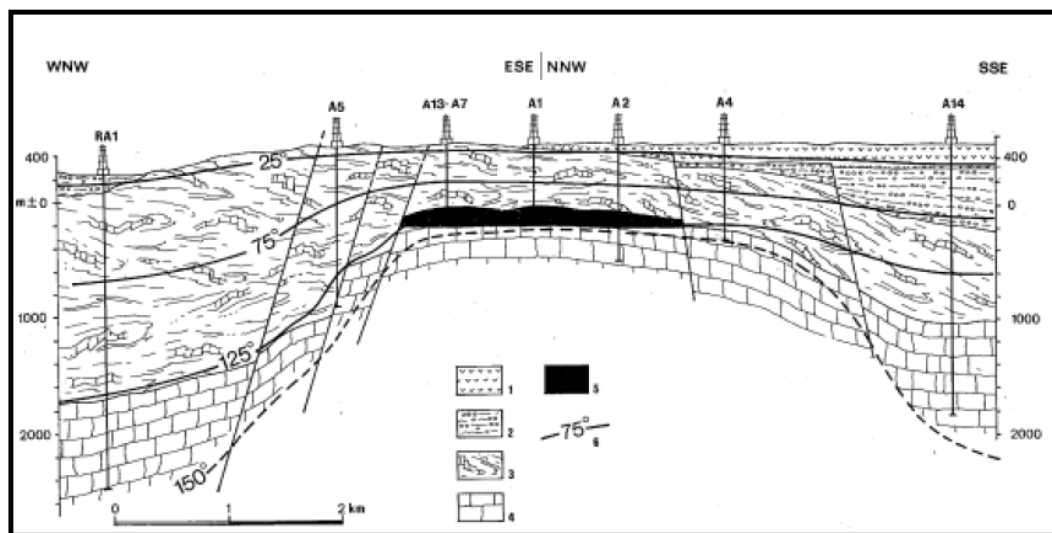
#### *1. Premessa*

Conformemente alle prescrizioni dell'art. 9 del D. Lgs. 3 marzo 2011 n. 28, gli impianti geotermici pilota devono essere a emissione nulla e con reiniezione totale del fluido estratto nella formazione geologica di provenienza. Impianti di questo tipo richiedono pertanto la messa a punto, installazione e gestione di strumenti idonei al controllo delle eventuali emissioni di fluido endogeno associate all'intero processo industriale che prevede l'estrazione del fluido geotermico da pozzi di produzione; la generazione di elettricità in impianti binari di tipo ORC; la reiniezione del fluido. Il progetto di ITW&LKW Geotermia Italia SpA (nel seguito ITW&LKW) prevede la realizzazione di due impianti geotermici pilota, ubicati uno nel Comune di Castel Giorgio (Umbria) e l'altro in quello di Acquapendente (indicato nel seguito come impianto di Torre Alfina, Lazio).

Il serbatoio geotermico della zona è ospitato nelle rocce carbonatiche mesozoiche della serie Toscana, permeabili per fratturazione e la copertura impermeabile è assicurata da rocce flyschoidi delle unità Liguri e austroalpine e dalle argille neogeniche sovrastanti. L'esplorazione geotermica condotta da Enel negli anni '70 (Buonasorte et al., 1988) ha mostrato che alla sommità dell'alto strutturale del serbatoio geotermico di Torre Alfina, esiste una cappa di gas (essenzialmente CO<sub>2</sub>) che è stato estratto fino a pochi anni fa a scopo industriale nel pozzo A13 (Figg. 1 e 2).



**Fig. 1.** Profondità del top del serbatoio carbonatico e limiti della cappa di gas (4) (da Buonasorte et al., 1988).



**Fig. 2.** Sezione geologica attraverso il campo geotermico di Torre Alfina (da Buonasorte et al., 1988). 1. Complesso vulcanico; 2. Complesso dei depositi marini pliocenici; 3. Complesso in facies ligure ed australpina interna; 4. Complesso in facies toscana; 5. Estensione della cappa di gas; 6. Isotherme in °C.

Il contenuto di CO<sub>2</sub> disciolta nell'acqua del serbatoio geotermico è riportato intorno al 2%. Il gas rilasciato dai pozzi perforati dall'Enel era costituito essenzialmente da CO<sub>2</sub> (fino a circa il 99 vol.%) con bassissimi tenori di N<sub>2</sub> (max 1,6 vol.%), H<sub>2</sub>S (max 0,91 vol.%) e CH<sub>4</sub> (max 0,2 vol.%) (Buonasorte et al., 1988). La composizione è molto simile a quella del gas della manifestazione naturale che si trova a sud del centro di Torre Alfina, vicino al pozzo A13 (Fig. 3), dove però non si osserva alcuna emissione di H<sub>2</sub>S. Nella perforazione del pozzo profondo A15 sono riportate emissioni di gas da una profondità di 4.600 m fino a fondo pozzo (4.826 m) consistenti essenzialmente di CO<sub>2</sub> (Buonasorte et al., 1991).

## 2. *Controllo delle emissioni di fluido geotermico*

Sia nel progetto di Castel Giorgio che in quello di Torre Alfina si prevede che il fluido geotermico estratto dai pozzi di produzione (acqua a circa 140°C) venga convogliato, attraverso tubi interrati, alla centrale elettrica ORC e da qui, dopo l'utilizzazione di parte del suo calore, venga inviato, sempre attraverso tubi interrati, al pozzo (o ai pozzi) di reiniezione.

L'ubicazione dei pozzi produttivi e di reiniezione, della centrale e il percorso delle tubazioni sono stati finora definiti solo per l'impianto di Castel Giorgio (vedi Studio d'Impatto Ambientale, nel seguito SIA).

Per evitare emissione di gas dal fluido geotermico estratto, in tutto il circuito dai pozzi di produzione a quelli di reiniezione verrà mantenuta una pressione sufficiente a mantenere tutto il gas in soluzione nel liquido (circa 45 bar, da stimare con precisione quando si disporrà di nuovi dati più precisi sul chimismo del fluido del serbatoio geotermico).

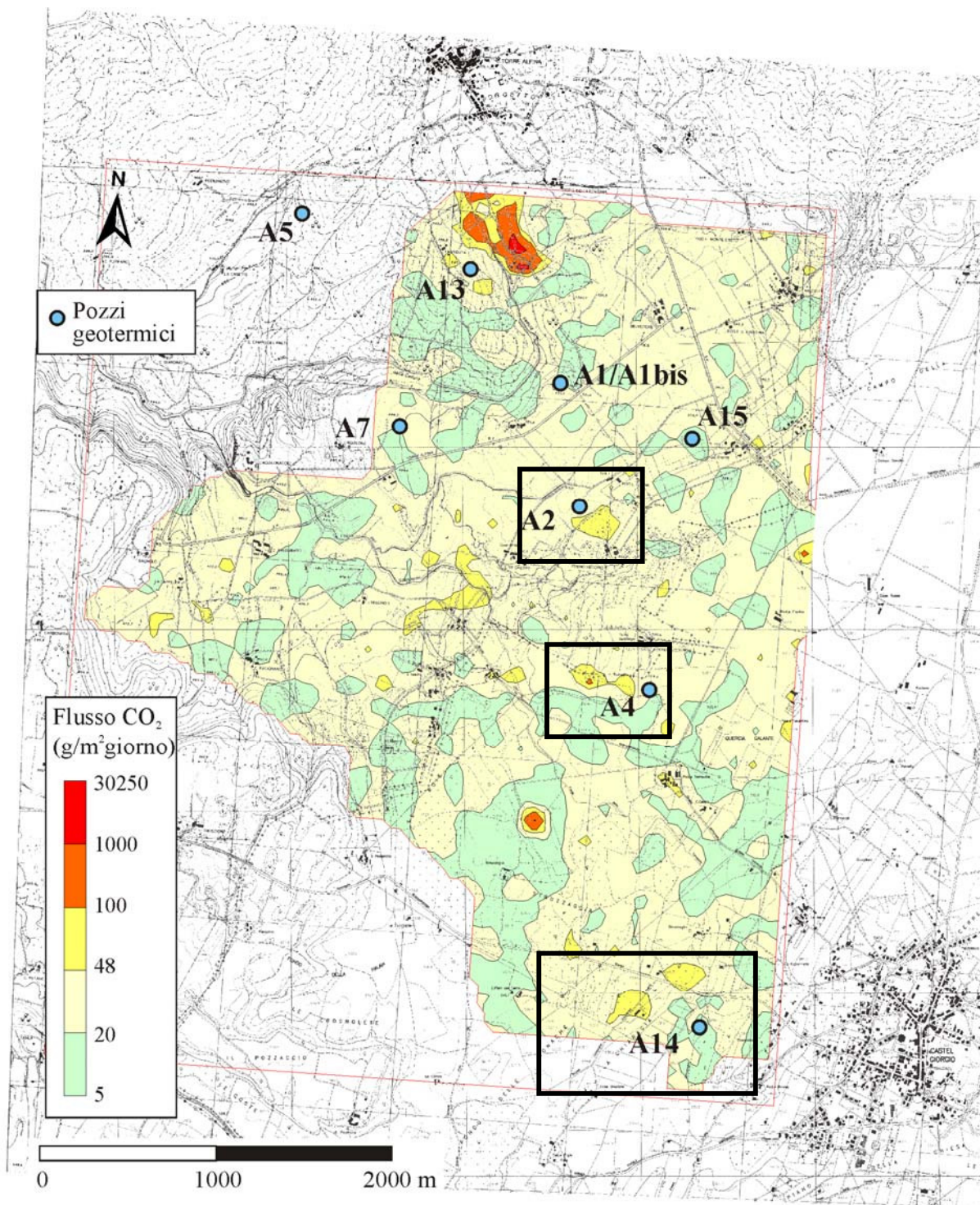
Il primo e più importante controllo delle eventuali emissioni riguarda pertanto la verifica delle perdite lungo tutto il circuito del fluido dall'estrazione alla reiniezione. Nel SIA presentato alla Regione Umbria è descritto il sistema di controllo delle eventuali perdite delle condotte di trasporto del fluido geotermico che permetterà l'immediata interruzione dell'erogazione del fluido e l'identificazione dell'ubicazione della perdita.

### 2.1 *Controllo delle emissioni di gas dal suolo*

Allo scopo di identificare la presenza eventuale di zone di rilascio naturale di gas dal serbatoio geotermico dell'area di Castel Giorgio-Torre Alfina, nel maggio-giugno 2011 è stata eseguita per conto di ITW & LKW Geotermia Italia SpA una dettagliata campagna di misure del flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo (1.336 misure su 12,2 km<sup>2</sup>) con camera di accumulo (Carapezza et al., 2011a). I risultati, riportati in Fig. 3, indicano chiaramente che nella maggior parte dell'area indagata il rilascio di CO<sub>2</sub> dal suolo è basso, inferiore a 48 g/m<sup>2</sup>giorno, a conferma dell'efficacia della

copertura impermeabile. Il maggior rilascio di gas dal suolo avviene in corrispondenza della manifestazione naturale vicina al pozzo A13 (flusso di CO<sub>2</sub> da 100 a 30.250 g/m<sup>2</sup>giorno). Un'altra piccola anomalia con flussi tra 100 e 1.000 g/m<sup>2</sup>giorno è stata trovata circa 1.500m a NW del pozzo A14. Anomalie più deboli (tra 48 e 100 g/m<sup>2</sup>giorno) sono state trovate poche centinaia di m a N-NW del pozzo A14 e vicino ai pozzi A2 e A4. Il totale del flusso naturale diffuso di CO<sub>2</sub> (trascurando l'emissione viscosa della manifestazione) emesso dall'area indagata varia da 101,9 a 368,5 ton/giorno a seconda che si consideri un valore di background di 48 o di 20g/m<sup>2</sup>giorno (Carapezza et al., 2011a).

E' da sottolineare tuttavia che il flusso naturale di CO<sub>2</sub> dal suolo di aree vulcaniche o geotermiche varia nel tempo anche di oltre un ordine di grandezza (Carapezza et al., 2011b).



**Fig. 3.** Mappa del flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo dell'area di Torre Alfina-Castel Giorgio (survey del maggio–giugno 2011; da Carapezza et al., 2011a). Nei riquadri neri sono indicate le aree target da monitorare per controllare eventuali aumenti del rilascio di gas durante lo sviluppo dei progetti geotermici dell'area.

Poiché i pozzi A2, A4 e A14 sono ubicati sia nelle zone di estrazione del fluido (A2, A4) di entrambi i progetti, sia in quella di reiniezione (A14) del progetto Castel Giorgio, il monitoraggio delle emissioni di CO<sub>2</sub> dal suolo nella fase di sviluppo e gestione dei progetti

Castel Giorgio e Torre Alfina, verrà realizzato in corrispondenza delle anomalie naturali identificate nella prospezione del 2011.

Nella Fig. 3 sono indicati i limiti di tre aree target in prossimità di questi pozzi, con le caratteristiche di seguito descritte:

<i>Area target</i>	<i>N. punti di misure</i>	<i>Dimensioni (m<sup>2</sup>)</i>
Vicino pozzo A2	48	350.000
Vicino pozzo A4	48	350.000
Vicino pozzo A14	117	960.000

In corrispondenza delle tre aree target, e su punti fissi, verranno eseguite tre campagne di misura l'anno del flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo con camera di accumulo, del tipo di quella utilizzata nella prospezione del 2011.

Le campagne verranno essere eseguite rispettivamente nella stagione primavera-estate, autunno e inverno, comunque in periodi secchi (per evitare suoli umidi che influenzano il flusso di CO<sub>2</sub>). Contemporaneamente alle misure di gas del suolo verranno misurati i parametri ambientali (P atmosferica, T aria e suolo, umidità aria e suolo, velocità e direzione del vento) mediante stazione meteo portatile. Almeno una campagna di misura verrà eseguita prima dell'inizio delle operazioni di perforazione dei nuovi pozzi.

Si precisa che potrà essere necessario identificare una quarta area target, una volta che ITW&LKW abbia deciso l'ubicazione della zona di reiniezione del progetto Torre Alfina.

Allo scopo di avere una "fotografia" oggettiva delle emissioni naturali prima dell'esercizio industriale dell'impianto di Castel Giorgio, verrà eseguita anche una campagna di misura del flusso di CO<sub>2</sub> su punti spazati circa 20m lungo tutto il percorso delle tubazioni (circa 3,3 Km) prima che in esse venga immesso il fluido geotermico.

Analogo studio verrà poi realizzato anche lungo le tubazioni di Torre Alfina.

## *2.2 Controllo della concentrazione in aria di H<sub>2</sub>S nelle centrali elettriche*

Le due centrali elettriche che saranno ubicate rispettivamente nel territorio del Comune di Castel Giorgio e in quello del Comune di Acquapendente (Torre Alfina), sono altri siti dove è più possibile avvenga un eventuale rilascio di fluido geotermico. È infatti in queste centrali che avviene lo scambio termico tra fluido geotermico e fluido organico di servizio; il fluido geotermico raffreddato viene poi avviato alla reiniezione.

Poiché l'idrogeno solforato, anche se in abbondanza minore della CO<sub>2</sub>, è il più caratteristico

dei gas geotermici e ha concentrazione pari a zero nell'aria normale (contro i 350ppm per la CO<sub>2</sub>) e non ha altre sorgenti naturali, all'interno di ciascuna delle centrali elettriche verrà installato uno strumento per la misura automatica della concentrazione di H<sub>2</sub>S in aria. In condizioni normali lo strumento verrà configurato per eseguire una misura ogni 30', con possibilità di aumentare la frequenza in caso di necessità fino a una misura al minuto. I dati verranno registrati in situ e teletrasmessi automaticamente all'INGV, dove verranno analizzati, processati e inseriti in una banca dati. Verrà creato un segnale di allarme che avverta con immediatezza l'eventuale raggiungimento di una concentrazione prefissata di H<sub>2</sub>S in aria.

Lo strumento indicato è già stato ripetutamente utilizzato dall'INGV in attività di monitoraggio della concentrazione indoor in locali di aree geotermiche del Lazio e di Vulcano (Carapezza et al., 2011b e 2012) e ha dimostrato la sua ottima affidabilità.

### 3. *Monitoraggio sismico*

Lo scopo principale del monitoraggio sismico da realizzare nell'area dove sorgeranno gli impianti geotermici pilota di Castel Giorgio e di Torre Alfina è il controllo dell'eventuale sismicità indotta dalle operazioni di reiniezione. Nel programma dei lavori per l'impianto di Castel Giorgio, la reiniezione è prevista in prossimità, o in corrispondenza, del vecchio pozzo A14, in pozzi verticali o deviati verso il settore occidentale. In questa zona il tetto del serbatoio geotermico è stato trovato a 1.560 m di profondità, mentre in corrispondenza del pozzo A4 (zona produttiva più a Nord) il tetto del serbatoio è circa 800 m più alto (736 m di profondità) (Buonasorte et al., 1988).

Il modello sismico ricavato da un profilo di sismica a rifrazione attraverso il campo geotermico di Torre Alfina (Biella et al., 1987) è caratterizzato da velocità delle onde compressionali relativamente elevate (4,1-4,5 km/s) in un livello superficiale costituito dalle rocce vulcaniche e dalle formazioni flyschoidi (il metodo usato non consente di discriminare tra i due livelli). Nel livello successivo, corrispondente principalmente alle rocce carbonatiche del serbatoio geotermico, la velocità cresce a valori di 5,4-5,6 km/s e infine sale ulteriormente a 6,8-7,1 km/s nel sottostante livello costituito probabilmente da rocce metamorfiche, il cui top è intorno a 5 km di profondità (mai raggiunto dalle perforazioni). Nella zona è stato perforato da Enel nel 1987 un pozzo molto profondo (A15, prof 4.826 m) che ha incontrato, al di sotto del flysch ligure, tre scaglie tettoniche sovrapposte di rocce carbonatiche a serie Toscana non metamorfiche che a loro volta ricoprono rocce carbonatiche a facies umbra (Buonasorte et al., 1991) dimostrando che il serbatoio geotermico della zona ha uno spessore notevole (almeno 3.700 m). Un log sismico nel pozzo ha trovato una velocità circa costante intorno a 6-6,1 km/s



nelle rocce carbonatiche, con valori che scendono a 5-5,5, km/s nelle intercalazioni marnose o dei cosiddetti “scisti policromi” (velocità più elevata di quella trovata nel profilo sismico prima citato).

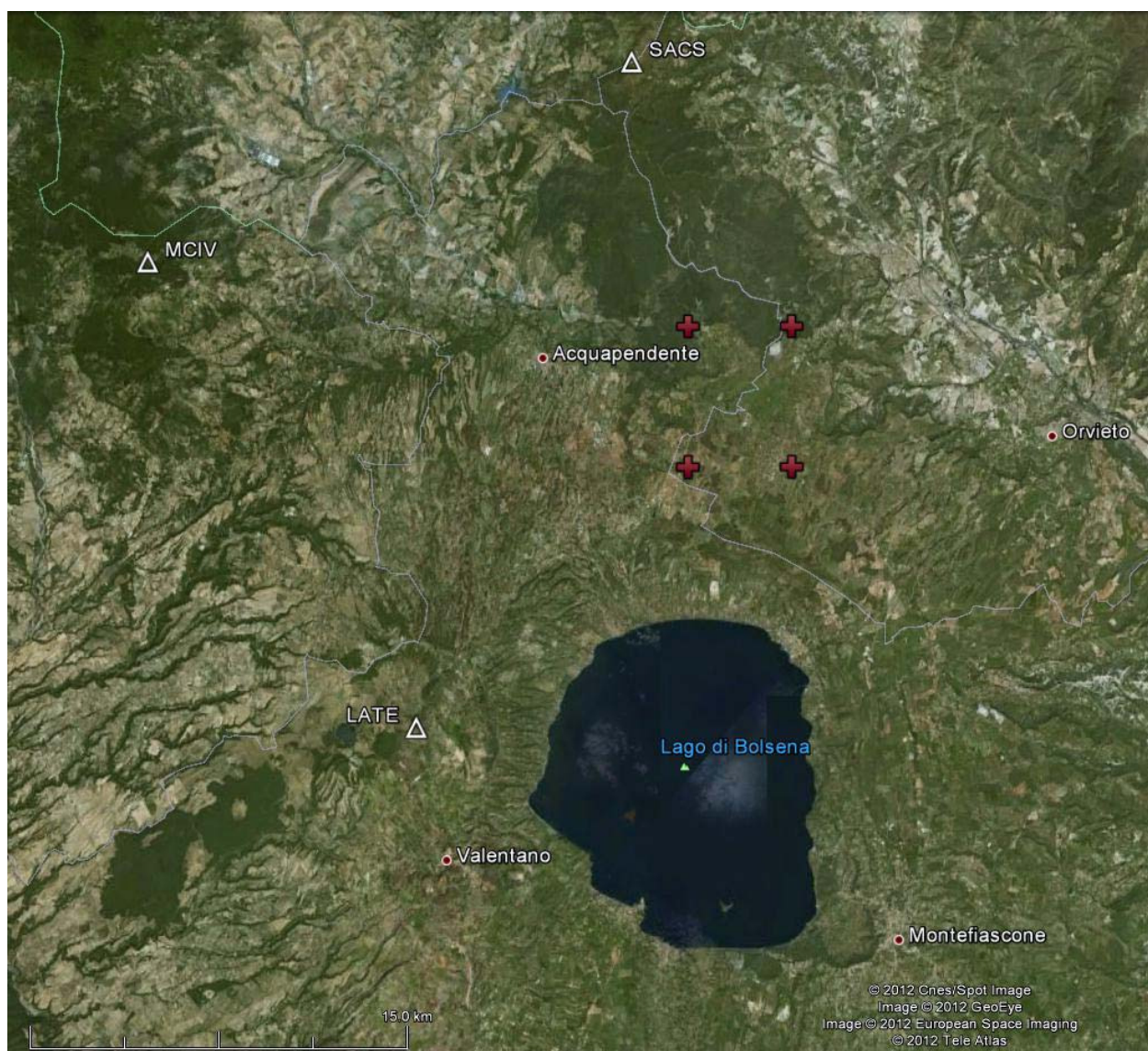
### *3.1 Sismicità naturale e indotta della zona di Torre Alfina-Castel Giorgio*

Nel programma lavori presentato da ITW&LKW al MISE per l’ottenimento del permesso di ricerca, sono sintetizzati i dati degli eventi sismici locali registrati nel periodo 1977-1981 da una rete microsismica dell’Enel e nel periodo 1983-2011 dalle stazioni della rete sismica dell’INGV. La profondità di questi eventi varia tra 22 e 3 km, la magnitudo massima registrata è di 3.2, con 38 scosse con  $M > 2$ . Considerato che l’area di Castel Giorgio rappresenta un centro sismico storico, sia pure con eventi di energia relativamente bassa, si ritiene utile eseguire uno studio più accurato degli eventi sismici registrati in quest’area, con particolare riferimento alla distribuzione epicentrale, alla profondità ipocentrale e alla magnitudo, in modo da avere una descrizione oggettiva della sismicità naturale prima dell’inizio delle operazioni di reiniezione dei fluidi geotermici. Questo studio comprenderà anche l’analisi della debole sismicità indotta dalle operazioni di stimolazione-iniezione eseguite da ENEL negli anni ’70 nel pozzo RA1 (Batini et al., 1980).

Ovviamente anche i dati registrati dalla nuova rete microsismica (vedi par. 3.2) prima dell’inizio delle operazioni minerarie, contribuiranno a fornire il background della sismicità naturale della zona. Per questo motivo è importante che la rete venga resa operativa prima possibile e si procederà alla sua realizzazione non appena ottenuta l’approvazione della VIA.

### *3.2 La rete di monitoraggio microsismico*

Nel raggio di circa 20 km dai limiti del permesso di ricerca geotermico Castel Giorgio-Torre Alfina, si trovano tre stazioni sismiche appartenenti alla rete nazionale permanente dell’INGV (LATE, MCIV, SACS; Fig. 4). Le stazioni sismiche della rete dell’Osservatorio sismico Bina di Perugia si trovano invece tutte al di fuori dell’area indicata in Fig. 4 e pertanto non si prestano allo studio della microsismicità dell’area del progetto.



**Fig. 4.** Ubicazione delle stazioni sismiche della rete permanente dell'INGV (triangoli bianchi) più vicine all'area del permesso di ricerca i cui vertici sono indicati dalle croci rosse.

Per monitorare in maniera continua la microsismicità eventualmente legata all'attività industriale geotermica di Castel Giorgio-Torre Alfina è necessario realizzare una rete sismica locale. A questo scopo occorre in primo luogo stabilire la migliore configurazione della rete, e scegliere la distribuzione geografica delle stazioni, al fine di ottimizzare la qualità dei dati microsismici che verranno acquisiti.

In base alle attuali conoscenze si progetta di impiegare 9 stazioni sismiche (più una di riserva) equipaggiate con velocimetri ad alta sensibilità, per descrivere le caratteristiche cinematiche del moto del suolo nel caso di eventi di piccola magnitudo in prossimità della stazione.

La scelta di 9 stazioni è legata al fatto che il livello di detezione di una stazione sismica, misurata a partire dalle registrazioni velocimetriche, dipende dalla distanza tra la stazione e

l'ipocentro dell'evento: un evento sismico di piccola magnitudo può essere registrato, localizzato e analizzato soltanto se il suo epicentro è prossimo alla stazione.

Le stazioni ritenute idonee verranno acquisite da Sara Electronic Instrument Srl di Perugia.

Ciascuna stazione sismica sarà equipaggiata da:

- sensori a tre componenti con frequenza naturale di 0,5 Hz (una stazione con frequenza di 40s);
- digitalizzatori a 24 bit in grado di registrare eventi con un passo di campionamento di 200 Hz;
- antenna GPS per marcare il tempo;
- regolatore di carica;
- batteria da 60 Ah;
- pannelli fotovoltaici;
- sistema wi-fi di trasmissione.

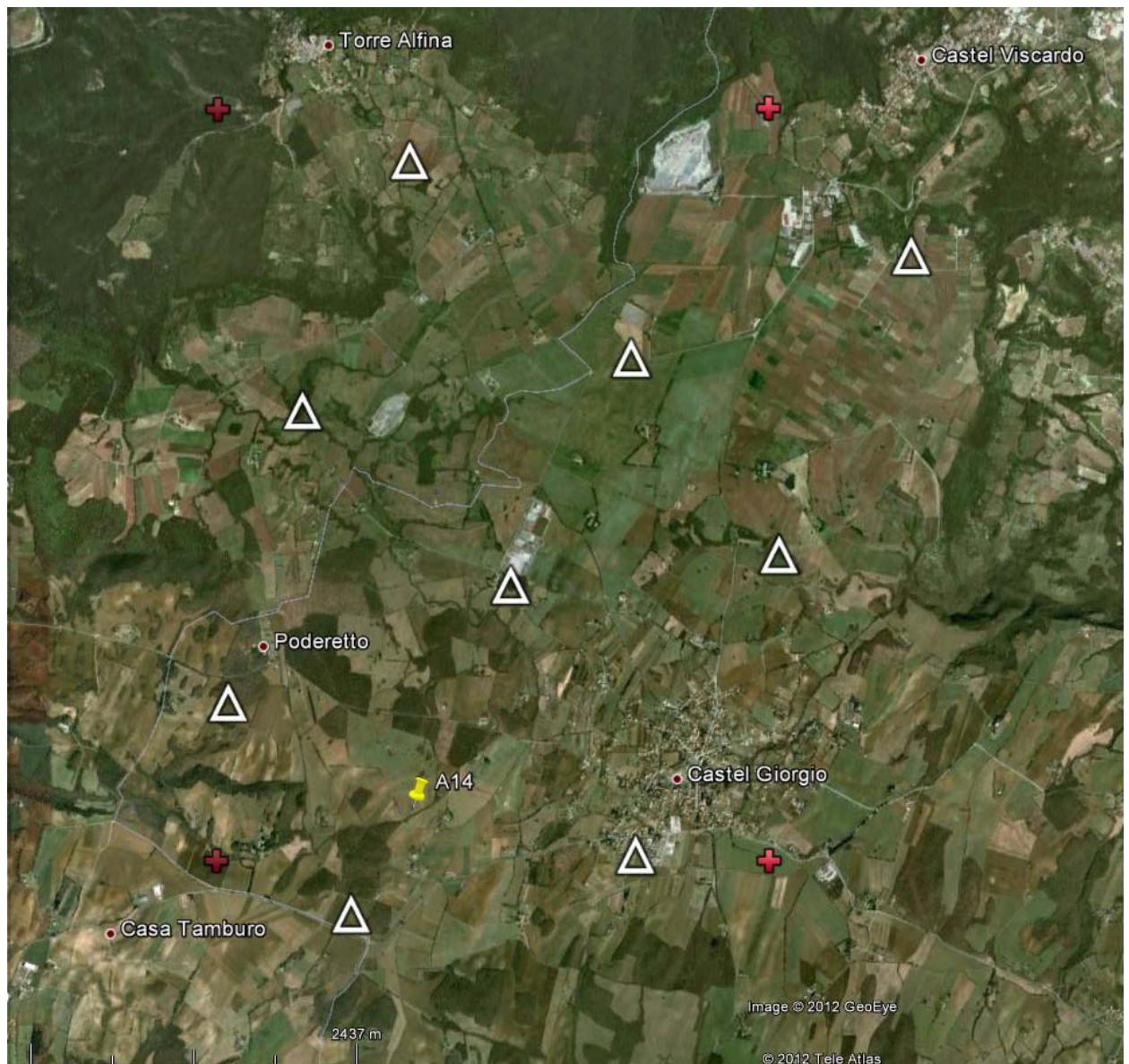


**Fig. 5.** Stazione sismica tipo.

La strumentazione verrà in parte installata all'interno di uno shelter di piccole dimensioni (circa 1x1,5 m vedi Fig. 5), con all'esterno due pannelli fotovoltaici. Per ridurre l'effetto del vento che produce fenomeni di risonanza e ridurre il livello di rumore ad alte frequenze, la strumentazione velocimetrica sarà ospitata in un vicino pozzetto di circa 2 metri di profondità, con una piccola gettata di cemento nel fondo. Il tutto sarà opportunamente recintato. Sarà quindi necessario effettuare piccoli lavori di muratura per fissare lo shelter e i pannelli.

Le stazioni verranno distribuite, in base anche a dei vincoli di natura logistica, in ellissi intorno

ai pozzi di reiniezione con la configurazione di massima illustrata nella Fig. 6.



**Fig. 6.** Configurazione di massima delle rete microsismica locale da realizzare nella zona di Castel Giorgio-Torre Alfina. Le stazioni sono indicate da triangoli bianchi. Sono indicati anche la posizione della zona di reiniezione intorno al vecchio pozzo A14 e i vertici del permesso di ricerca (croci rosse).

Disponendo le stazioni a distanze comprese tra 2 e 3 km, la rete copre un'area di circa 5 x 5 km<sup>2</sup>.

La scelta definitiva dei siti sarà effettuata dopo una serie di sopralluoghi sul terreno per esaminare gli aspetti tecnici connessi (eventuale affioramenti di rocce laviche, distanza da sorgenti di rumore che potrebbero influenzare la qualità del segnale sismico) oltre che per ottenere dai proprietari del terreno il consenso all'installazione delle singole stazioni.

I dati sismici acquisiti dalla rete verranno inoltrati tramite telemetria wi-fi ad una postazione computer ubicata nella centrale elettrica di Castel Giorgio dove saranno memorizzati in un apposito database, disponibile su un PC appositamente dedicato, per poi essere trattati con un adeguato software al fine di ricavare i vari parametri utili al monitoraggio dei fenomeni sismici (variazioni temporali nell'attività sismica, distribuzione delle magnitudo degli eventi registrati, localizzazione degli eventi nello spazio e nel tempo e informazioni circa i meccanismi sorgente).

I dati acquisiti dalle stazioni della rete microsismica saranno integrati con quelli delle stazioni sismiche della rete nazionale permanente dell'INGV operanti entro un raggio di circa 20 km dall'area in esame, per migliorare le informazioni sulle caratteristiche sismo-strutturali di questa regione.

### *3.3. Processamento dei dati e bollettini sismici durante la gestione operativa degli impianti geotermici*

Le stazioni della rete permanente INGV presenti in prossimità della zona di interesse (Fig. 4) verranno utilizzate per il monitoraggio in tempo reale della sismicità.

Nel caso di insorgenza di sismicità anomala all'interno dell'area del permesso di ricerca (definito "stato di allarme" solo ai fini del progetto) si procederà al processamento immediato dei dati della rete microsismica locale provvedendo alla redazione di un bollettino sismico con frequenza da giornaliera a settimanale a seconda della frequenza di accadimento delle scosse. Contemporaneamente verrà realizzata una campagna di misura dell'emissione di CO<sub>2</sub> dal suolo nelle aree target indicate nel paragrafo 2.1. Verrà elaborato un rapporto con la valutazione dell'attività.

In caso di assenza di attività sismica anomala nell'area di interesse, verrà elaborato un bollettino bimestrale entro le prime due settimane del mese successivo al bimestre.

*Lavori citati*

- Batini F., Cameli G. M., Carabelli E., Fiordelisi A. (1980) – *Seismic monitoring in Italian geothermal areas. II Seismic activity in the geothermal fields during exploration*. Second DOE-ENEL Workshop for cooperative research in geothermal energy, Berkeley (California).
- Biella G., De Franco R., Lozey A., Amato A. (1987) – *Is there a shallow body of lower crust under the Vulsinian volcanic complex?* Per. Mineral. 56, 303-318.
- Buonassorte G., Cataldi R., et al. (1988) – *Ricerca ed esplorazione nell'area geotermica di Torre Alfina (Lazio – Umbria)*. Boll. Soc. Geol. It. 107, 265-337.
- Buonassorte G., Pandeli E., Fiordelisi A. (1991) – *The Alfina 15 well: deep geological data from northern Latium (Torre Alfina geothermal area)*. Boll. Soc. Geol. It. 110, 823-831.
- Carapezza M. L. et al. (2011a) – *Studio del flusso diffuso di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S nell'area geotermica di Torre Alfina-Castel Giorgio (Lazio e Umbria)*. Rapporto finale della Convenzione di ricerca fra ITW Geotermia Italia e INGV.
- Carapezza M. L., F. Barberi, M. Ranaldi, T. Ricci, L. Tarchini, A. Gattuso, et al. (2011b). *Diffuse CO<sub>2</sub> soil degassing and CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S concentrations in air and related hazards at Vulcano Island (Aeolian arc, Italy)*. J. Volcanol. Geotherm. Res., doi: 10.1016/j.jvolgeores.2011.06.010.
- Carapezza M. L., F. Barberi, M. Ranaldi, T. Ricci, L. Tarchini, et al. (2012). *Hazardous gas emissions from the flanks of the quiescent Colli Albani volcano (Rome, Italy)*. Special Vol., Appl. Geochem. In press.