

Problematiche presentate da impianti geotermici binari in contesti geologici complessi

1) Introduzione

A fronte delle criticità ambientali degli impianti geotermoelettrici a ciclo aperto (“a vapore secco” nella zona di Larderello, “flash” nella zona dell’Amiata) – di cui i principali sono emissioni di gas climalteranti e di gas e sostanze tossico-nocive, l’industria geotermica mondiale punta sempre di più sulle centrali “a ciclo chiuso” (dette “binarie”) con totale reiniezione del fluido estratto.

A lungo questi impianti sono stati considerati la soluzione ideale a tutti i problemi, e pubblicizzati come centrali “a zero emissione”, a “zero sismicità” e globalmente a “zero impatto ambientale”. In verità, la scienza aveva da molto tempo rilevato certe criticità ambientali i cui vari aspetti sono emersi sempre più distintamente negli ultimi anni. È ormai acquisito, che impianti a ciclo chiuso possono avere impatti ambientali anche gravi soprattutto in funzione del contesto geologico e sismo-tettonico in cui sono realizzati.

Tutto ciò ha portato a una rivalutazione critica di questo tipo di impianti, la quale in vari modi ha trovato riscontro nella comunità scientifica, per esempio nella valutazione del loro impatto ambientale così come nei tentativi di esplorare la natura di questi impatti e di modellarne numericamente meccanismi e conseguenze.

In quanto segue tentiamo di indicare le tappe più significative di questa progressiva rivalutazione (tutt’ora in corso), dall’immagine della centrale ideale che appartiene ormai al passato verso una concezione realistica delle centrali binarie reali.

2) Elementi di rivalutazione progressiva

- Fino al 2013:

Rappresentativi per la visione iniziale della centrale ideale senza impatti, sono gli studi di impatto ambientale presentati per gli impianti pilota di Castel Giorgio e Torre Alfina. Sono documenti dove ogni possibile impatto ambientale viene negato sulla base di argomenti non pertinenti, di una modellazione numerica del sistema geotermico insufficiente e di una simulazione degli effetti dell’esercizio delle centrali su questo sistema tranquillizzante ma senza alcun valore scientifico (vedi documento di approfondimento 1). Pertanto, sul piano pratico, reale, già dall’inizio delle esplorazioni dei campi dell’Alfina e di Latera circa 50 anni fa, erano stati rilevati indizi per una struttura vulcano-tettonica non omogenea, complessa e fortemente fagliata del sottosuolo, e sono stati osservati sismi indotti dall’iniezione di fluidi, fenomeno non previsto dai modelli ideali. In parallelo era stato dimostrato l’esistenza di un’estesa struttura tettonico profonda legata all’orogenesi degli Appennini, capace di generare un’importante sismicità in tutto il margine tirrenico della penisola. La parte di questa struttura che interessa la zona Vulsina appartiene al cosiddetto graben Siena-Radicofani-Cimino.

- 2013

Il primo lavoro che ha riassunto questi indizi e discusso i problemi ambientali che tale struttura reale del sistema geotermico potrebbe causare è quello di Vignaroli et al. (2013)ⁱ, che dimostra la suddivisione in compartimenti stagni del campo geotermico dell'Alfina e illustra la possibilità di flussi di scambio tra il serbatoio geotermico e l'acquifero superficiale attraverso i piani di faglia presenti.

- 2014 – 2017

Nelle osservazioni ai progetti di impianti geotermici pilota di Castel Giorgio (2014ⁱⁱ) e Torre Alfina (2017ⁱⁱⁱ), presentate dalle associazioni ambientaliste locali, sono stati sottolineati i pericoli che squilibri pressori indotti dall'esercizio delle centrali in questo contesto disomogeneo possano provocare terremoti, che possano spingere del fluido geotermico nell'acquifero superficiale per inquinarlo e che possano aspirare acque potabili nel serbatoio profondo. Queste osservazioni sono state in larga misura ignorate dalla Commissione di valutazione d'impatto ambientale e la CT VIA ha espresso parere positivo in merito alla realizzazione degli impianti.

- 2015

Allo stesso tempo, in un'altra parte dell'Italia, il dott. Giuseppe Mastrolorenzo (vulcanologo e primo ricercatore dell'INGV) ha presentato (a titolo personale), nell'anno 2015, argomenti dettagliati e convincenti circa i possibili rischi sismici e vulcanici presentati da impianti binari, riassunte nelle sue osservazioni rispetto ai progetti geotermici di Scarfoglio (Campi Flegrei^{iv}) e Serrara Fontana (Isola d'Ischia^v). In questo caso, lo spessore scientifico dell'autore e la sua idea di allertare la Protezione Civile Nazionale sui rischi incombenti hanno costretto all'ascolto le autorità, e hanno permesso l'inizio di una valutazione realistica dei rischi legati alla struttura reale del sottosuolo.

Riconosciuta la fondatezza degli argomenti avanzati e avendo constatato che è impossibile escludere tali rischi a causa della scarsa conoscenza del sottosuolo, uno dei progetti è stato ritirato dalla ditta proponente, e quello di Serrara Fontana (dove il contesto geomorfologico e sismo-tettonico è molto simile a quello del campo geotermico Alfino) è stato rifiutato dal CT VIA del MATTM.

- 2017 – 2018

Il Gruppo di Lavoro INGV "Perforazioni Geotermiche", costituito nel 2017 da massimi esperti nazionali in materia, è stato chiamato ad analizzare questa stessa tematica. Ha autorevolmente confermato nella sua relazione finale (presentata ad agosto 2018) le conclusioni di Mastrolorenzo, rilevando le numerose carenze dei progetti nell'analisi dei quadri sismo-tettonici, geomorfologici e idrogeochimici (vedi documento di approfondimento 2).

- 2017

Il forte terremoto di Pohang (2017), con una magnitudo di $M = 5,5$, è considerato dalla comunità scientifica internazionale evento "gamechanger", evento capace di rovesciare le precedenti valutazioni del rischio connesso a progetti geotermici. L'elemento di novità sta nel fatto che per la [comunità scientifica è dimostrato](#) che questo terremoto fu **innescato** dalla stimolazione di un pozzo geotermico,

Prima di questo evento, l'unico meccanismo riconosciuto scientificamente in cui estrazione e iniezione di fluido nel sottosuolo possono provocare terremoti, era stato quello dell'induzione di

sismi, dove l'energia rilasciata nel terremoto non supera l'energia introdotta nel sottosuolo dalla stimolazione, e dove quindi la magnitudo dei terremoti indotti di solito non supera $M = 4$.

Non c'era ancora certezza scientifica circa la possibilità che questi stimoli possano provocare sismi di intensità più grande tramite il meccanismo di innesco sismico, dove anche una stimolazione piccola può provocare un terremoto in cui viene rilasciata un'energia più grande di quella investita nello stimolo, con una magnitudo che corrisponde a quella massima della zona in cui avviene. Concluse ancora [il rapporto ICHESE](#) nel 2012: *“la possibilità che le attività umane inneschino terremoti non è oggi provata, ma può neanche essere esclusa”*.

Oggi, dopo Pohang, sappiamo che è reale e concreto il rischio, che operazioni geotermiche provochino sismi distruttivi in contesti sismo-tettonici comparabili a quelli di Pohang, cioè dove sono presenti strutture sismogeniche già cariche e capaci di provocare sismi potenti.

- 2020

Nelle osservazioni presentate nel mese di gennaio 2020 alla Regione Toscana sul progetto di una centrale geotermica con tecnologia binaria “Le Cascinelle” (vedi documento di approfondimento 3), il dott. Mastrolorenzo ha evidenziato le intrinseche criticità del complesso geologico strutturale denominato bacino di Siena Radicofani, il quale si distingue per una elevata sismicità dell'area legata alla sua struttura tettonica profonda, con il rischio di induzione e di innesco di terremoti con magnitudo anche prossima al 6 grado Richter e con effetti anche superiori al 9 grado MCS. Ha precisato come, data la localizzazione del complesso geologico tra le Regioni Lazio, Umbria e Toscana, eventi sismici produrrebbero effetti di portata ultra-regionale, e quindi emergenze di tipo C, di competenza governativa nazionale, nell'intero Graben di Siena-Radicofani e segnatamente nel distretto Vulsino.

Le osservazioni rilevano, analogamente a quanto già segnalato per simili progetti di centrali geotermiche pilota nell'area napoletana (vedi sopra), gravi ed incolmabili carenze di conoscenze delle caratteristiche e proprietà del sottosuolo rendono imprevedibili gli effetti di trivellazione, estrazioni e reiniezioni di fluidi.

Negli studi di impatto ambientale, le previsioni di tali effetti disastrosi e la simulazione numerica del comportamento delle strutture sollecitate si basano su assunzioni del tutto arbitrarie e su semplificazioni drastiche che tralasciano la intrinseca complessità ed eterogeneità spaziale del sistema geologico-idrogeologico e strutturale, così come dei processi meccanici e termofluidodinamici dei sistemi idrotermali. È tralasciato inoltre il loro comportamento non lineare e difficilmente prevedibile.

Mastrolorenzo conclude che, considerando l'insieme di queste carenze, i proponenti dei progetti non possono in alcun modo garantire la sicurezza delle attività, con conseguente violazione del principio di precauzione.

- 2020

Una recente pubblicazione di [Schivavone et al. \(2020\)](#) (vedi documento di approfondimento 4) studia semplici modelli di contesti geotermici non omogenei. I risultati confermano la possibilità che iniezione di fluidi e cicli di estrazione/reiniezione possano provocare terremoti di magnitudo notevole e sottolineano il ruolo della struttura reale dei serbatoi: *“... è di massima importanza ... che ... i pozzi di produzione e re-iniezione siano in connessione idraulica”* - condizione che in tutta probabilità non è soddisfatta per i progetti italiani proposti o in via di realizzazione. Commentando il sisma innescato di Pohang, gli autori spiegano la sua magnitudo eccezionale

con il carattere particolare delle operazioni che hanno prodotto il terremoto e che consistevano nel “*pompare acqua a grande pressione direttamente in una estesa faglia*”: operazioni che sono parte essenziale del progetto geotermico di Castel Giorgio e degli altri progetti nazionali.

- 2020

Venuti a conoscenza di questi rischi e avendo approfondito la tematica tramite incontri, studi e consultazioni con esperti tra cui il dott. Mastrolorenzo, 29 sindaci del comprensorio del Lago di Bolsena riuniti in un “Comitato Geotermia” si sono rivolti alla Protezione Civile Nazionale con un duplice obiettivo:

- di riportare all'attenzione della Protezione Civile il rischio di induzione e innesco sismico, da attività di esplorazione - trivellazione - estrazione - reiniezione di fluidi in sistemi idrotermali, con magnitudo rilevante e potenzialmente distruttiva che incombe sul distretto vulcanico Vulsino e più in generale sull'area transregionale interessata dal Graben di Siena – Radicofani;
- di sollecitare i destinatari a porre in atto ogni possibile intervento di prevenzione dei rischi e pericoli, dovuto per le loro specifiche competenze al fine della tutela, della sicurezza e dell'incolumità delle comunità e dei territori da noi amministrati.

È avvenuto uno scambio di lettere dove i sindaci hanno ulteriormente approfondito la tematica, in merito alle valutazioni sui rischi da sismicità indotta e innescata, alla struttura definita Graben di Siena-Radicofani, alla sismicità dell'intero complesso geologico-strutturale di Siena-Radicofani e alla discussione scientifica attualmente in corso sulle valutazioni di pericolosità sismica, ai cataloghi DISS e ITHACA e all'induzione e all'innescò di terremoti (vedi documento di approfondimento 5).

- 2020

La sequenza sismica di ottobre, novembre e dicembre 2020 nei pressi di Vendenheim nell'agglomerato urbano di Strasburgo ha dimostrato che in sistemi idrotermali, i terremoti indotti da attività geotermiche e in particolare dalla reiniezione del fluido in sistemi a ciclo chiuso, possono raggiungere una magnitudo vicino a quella massima tipica per la zona.

In sito di sfruttamento della risorsa geotermica profonda a Vendenheim gestito dalla società Fonroche, a ottobre 2020 sono iniziati test di iniezione che da subito hanno provocato una serie di microsismi di crescente magnitudo. Dopo una scossa di $M = 2,8$, il 28 ottobre, i test sono stati interrotti mantenendo una circolazione di “sicurezza”.

L'attività sismica però è continuata per più di un mese, e il 4 dicembre si è prodotto un terremoto di $M = 3.6$ seguito da un altro di $M = 2.8$. Le scosse hanno provocato paura tra gli abitanti e danni materiali a più di 400 case della zona. Sia la Rete Nazionale di Sorveglianza Sismica che l'impresa gestrice stessa hanno dichiarato che i terremoti erano legati alle attività di iniezione. Di conseguenza, la Prefetta del Dipartimento del Basso Reno ha decretato il 7 dicembre l'arresto definitivo dei lavori di geotermia profonda a Vendenheim effettuati dall'impresa Fonroche perché il progetto “non presenta più le garanzie di sicurezza indispensabili” (vedi documento di approfondimento 6).

- 2020 (da elaborare)

Nuove pubblicazioni internazionali:

- C. Lord-May, J. Baró, D. W. Eaton, J. Davidsen (2020): Seismic hazard due to fluid injections; PHYSICAL REVIEW RESEARCH 2, 043324;
- D. Szfranski, B. Duan (2020): Exploring Physical Links between Fluid Injection and Nearby Earthquakes: The 2012 Mw 4.8 Timpson, Texas, Case Study; Bull. Seismol. Soc. Am. 110, 2350-2365;
- G.M. Atkinson (2020): The Intensity of Ground Motions from Induced Earthquakes with Implications for Damage Potential; Bull. Seismol. Soc. Am. 110, 2366-2379;
- R. Schultz, G. Beroza, W. Ellsworth, J. Baker (2020): Risk-Informed Recommendations for Managing Hydraulic Fracturing-Induced Seismicity via Traffic Light Protocols, Bull. Seismol. Soc. Am. 110, 2411-2422;

- 2020 (da elaborare)

Risposta alle Contro-Osservazioni per il progetto delle Cascinelle

3) Conclusioni

Fino ad oggi, tutti i progetti di impianti a ciclo chiuso (“binari”) per lo sfruttamento della geotermia profonda che sono stati presentati alle commissioni di valutazione di impatto ambientale nazionali e regionali, evidenziano gravi carenze di caratterizzazione dei contesti geologici, geomorfologici, geochimici, geofisici e sismo-tettonici in cui si vogliono realizzare, e corrispondenti gravi difetti della valutazione dei rischi.

Alcuni di questi progetti hanno ottenuto un parere positivo dalle rispettive commissioni di valutazione di impatto. Ciò è avvenuto all’inizio del percorso di evoluzione delle conoscenze scientifiche circa i possibili impatti ambientali e i rischi connessi tracciato qui sopra. Tali valutazioni positive sono ormai superate dall’acquisizione di importanti elementi di novità emersi nei lavori scientifici degli ultimi anni.

Qualora questi progetti fossero realizzati, presenterebbero, secondo l’attuale stato di conoscenze, rischi reali e non quantificabili di provocare danno alle persone, al patrimonio edilizio e all’ambiente.

ⁱ G.-L. Vignaroli, A. Pinton, A.A. De Benedetti, G. Berardi, G. Giordano, F. Rossetti, M. Soligo (2013) - Structural compartmentalisation of a geothermal system, the Torre Alfina field (central Italy). Tectonophysics 608; 482–498.

ⁱⁱ Impianto Pilota Geotermico Castel Giorgio: <https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1373/1855>; osservazioni pag. 13 e 14.

ⁱⁱⁱ Impianto Pilota Geotermico Torre Alfina: <https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1566/2544>; osservazioni pag. 13 e 14.

^{iv} Impianto Pilota Geotermico Scarfoglio: <https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1542/2486>; osservazioni pag. 9 e 10;

^ Impianto Pilota Geotermico "Serrara Fontana": <https://va.minambiente.it/IT/Oggetti/Documentazione/1547/2501>; osservazioni pag. 12 e 13.