

Oggetto: osservazioni aggiuntive alle integrazioni e alle risposte del proponente del 30/11/20, in merito al progetto Val di Paglia, presentato dalla società Sorgenia le Cascinelle srl , ai sensi dell'art 27bis del d.lgs 152/2006, art 73 bis della L.R 10/2010, DPGR 19/R/2017 Capo II bis. Procedimento finalizzato al rilascio del provvedimento autorizzativo unico regionale

Dott. Giuseppe Mastrolorenzo
Primo ricercatore
Vulcanologo
Osservatorio Vesuviano
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

PREMESSA

La presente nota sintetica rappresenta le valutazioni scientifiche, espresse a titolo personale dallo scrivente, e non rappresenta le posizioni istituzionali dell'INGV.

Tuttavia, i contenuti riportati in varie forme, nonché, le precedenti osservazioni, sono stati rappresentati all'INGV ed ad altre istituzioni competenti, con rapporti interni e comunicazioni nel corso degli ultimi anni

CONSIDERAZIONI GENERALI

Criticità e rischi connessi alle attività di trivellazione, estrazione e reiniezione di fluidi, per lo sfruttamento di energia geotermica, nel distretto vulcanico del Monte Amiata e in Val di Paglia, in relazione al progetto di centrale geotermica con tecnologia binaria

Nelle presenti osservazioni, che integrano quelle già presentate dal sottoscritto in data 12 gennaio 2020 alla Regione Toscana, si forniscono ulteriori evidenze sulle criticità già segnalate, tenendo conto delle integrazioni e delle risposte fornite dalla Sorgenia Le Cascinelle srl in data 30/11/20.

Sulla base di dette integrazioni e risposte, in generale, si ritiene che non sia stato dato adeguato riscontro con ulteriori chiarimenti o risultanze tecnico- scientifiche alle gravi e non ovviabili criticità, e ai rischi potenzialmente associati alla realizzazione del progetto .

Tali problematiche risultano, altresì, ulteriormente confermate, non solo dalle evidenti incongruenze e inesattezze riportate in dette integrazioni, ma anche da nuovi e rilevanti evidenze e risultanze tecno-scientifiche sulla tematica dei rischi, emerse nei mesi recenti .

Pertanto, si confermano le valutazioni negative del progetto, più specificamente, in merito al rischio sismico e idrogeologico, con conseguente potenziale e grave impatto sulle comunità locali e sul patrimonio abitativo, storico, artistico-archeologico.

Le problematiche generali, evidenziate nelle precedenti osservazioni e ulteriormente confermate nelle presenti, comprendono in sintesi i seguenti punti, in accordo con la vasta letteratura scientifica disponibile (Axtman et al 1975, Majer et al 2007, NRC-National

Research Concil 2012, Davies et al 2008 , Bolton et al 2009, Hansell et al 2005, BSSA 2020) Grasso 1992, Buttinelli et al 2016 , McGarr 1991) e specificamente :

Induzione o innesco di sequenze sismiche;

Alterazioni chimico-fisiche di falde idriche e idrotermali;

Deformazioni del suolo;

Innesco di processi franosi;

Dispersione di sostanze dannose nelle falde acquifere, nei suoli e in atmosfera;

Esplosioni dei pozzi;

Esplosioni di gas (freatiche);

Fuoriuscita per periodi prolungati di gas, liquidi e/o fanghi da sorgenti profonde.

Più specificamente, in relazione al progetto “Val di Paglia “, sono state evidenziate le seguenti problematiche :

- Pericolosità universalmente riconosciuta delle attività di trivellazione, estrazione e reiniezione di fluidi, in generale, ma particolarmente in aree sismicamente attive, popolate e ad alta vulnerabilità intrinseca;

-Inadeguato livello di conoscenza di dettaglio dell’assetto geologico, geologico- strutturale, di stratigrafia profonda dell’area del progetto;

- Inadeguato livello di conoscenza degli aspetti sismo- tettonici superficiali e profondi del Graben di Siena-Radicofani;

- Scarso livello di conoscenza delle caratteristiche geometriche, e delle proprietà petrofisiche, geomeccaniche e termo-fluidodinamiche delle diverse formazioni costituenti il sistema geotermico oggetto del progetto “ Val di Paglia”;

- Estrema semplificazione del modello di riferimento per l’applicazione della simulazione numerica per lo studio delle condizioni statiche e dinamiche, inadeguatezza dei vincoli al modello e arbitrarietà nella scelta dei parametri geomeccanici e termo- fluidodinamici del modello;

-Arbitrarietà nella delimitazione del sistema geotermico di riferimento per la simulazione numerica;

-Inadeguatezza della discretizzazione in celle del volume di acquifero adottata nella simulazione numerica ;

-Eccessiva dimensione delle celle ai fini della valutazione di possibili condizioni critiche, meccaniche e termo-fluidodinamiche nel sistema ;

- Assenza di valutazioni, anche solo qualitative, dei potenziali rischi, derivanti dalle attività di trivellazione, produzione e reiniezione, e particolarmente del rischio di induzione e di innesco di terremoti, a breve, medio e lungo termine ;

-Omissione di qualsiasi valutazione in merito all’effetto cumulativo dell’esercizio di più impianti insistenti sul medesimo sistema idrotermale o su sistemi adiacenti;

-Assenza di qualsiasi valutazione della pericolosità da incidenti, dovuti a cedimenti strutturali di parti meccaniche degli impianti e/o delle formazioni geologiche, nelle quali sono installati gli impianti stessi, anche a seguito di eventi sismici indotti o naturali.

In merito alle criticità generali delle attività di sfruttamento dell’energia geotermica, e più specificamente, per il progetto “Val di Paglia “, altre evidenze, emerse negli scorsi mesi, forniscono ulteriori elementi di riscontro, alla problematiche già denunciate, che meritano opportuna considerazione.

Di particolare rilevanza sono le risultanze emerse da :

Incidente, con prolungata fuoriuscita di gas e particolato da un pozzo a bassa profondità del progetto Geogrid nell'area di Agnano- Pozzuoli nell'estate del 2020 (Graded 2018)

Sequenza sismica indotta a seguito di test di iniezione in un impianto geotermico con tecnologia binaria a Vendenheim (Fonroche Géothermie 2006)

Pubblicazione di un rapporto ufficiale INGV, dal titolo "Valutazioni sulla pericolosità sismica inducibile dallo sfruttamento dell'energia geotermica nei siti di Bagnoli, Scarfoglio (Campi Flegrei) e Serrara Fontana (Isola di Ischia) (GdL INGV 2018).

Pubblicazione del volume speciale monografico del BSSA (bollettino della società sismologica Americana), su meccanismi e pericolosità da sismicità indotta (BSSA 2020)

In aggiunta, nel corso dell'anno, si sono verificate altre **sequenze sismiche nel bacino di Siena-Radicofani**, tra le quali una lunga sequenza da maggio e agosto 2020, con magnitudo fino a 2.5, ed area epicentrale, tra Grotte di Castro, Castel Giorgio e San Lorenzo Nuovo.

Altre scosse di magnitudo modesta si sono state registrate, più in prossimità dell'area del progetto Val di Paglia, tra Monte Cetona e Radicofani .

Nel mese di ottobre 2020, nell'area di Castel Giorgio, si è verificato, inoltre, un cedimento del suolo, lungo le principali strutture tettoniche del Graben, che si estendono fino al distretto dell'Amiata (Borgia 2020) .

L'evento di una prolungata eruzione del pozzo Geogrid, per geotermia di bassa entalpia, a una profondità di 88 metri, può essere considerata una evidenza significativa delle problematiche delle pratiche geotermiche, anche a piccola scala.

L'eruzione di pozzo è stata definita dall'Unione Geotermica Italiana (UGI 2020), come un incidente, dovuto a inadeguate procedure operative.

La vicenda dimostra incontrovertibilmente come, anche un impianto di minima entità, realizzato con il coordinamento delle maggiori università e centri di ricerca nazionali, possa risultare totalmente fuori controllo, con dispersione per oltre un mese di vapore, gas e particolato al suolo e in atmosfera, e con necessità di chiusura e ritiro del progetto da parte delle autorità regionali e l' intervento della Procura della Repubblica competente.

Il 4 dicembre scorso, sequenze sismiche con magnitudo fino a 3.5, indotte in test di iniezione, di modesta entità, in una centrale geotermica con tecnologia binaria (non EGS) a Vendenheim presso Strasburgo (Fonroche géothermie 2006) hanno causato danni diffusi al centro abitato

Tali eventi sono stati ufficialmente riconosciuti dalla rete nazionale di sorveglianza sismica francese (Rèness) come **eventi indotti**.

Gli eventi si manifestavano durante test di iniezione, con flusso modesto, di acqua con traccianti, finalizzati alla verifica della continuità idraulica fra pozzi di iniezione ed estrazione.

Detti test erano stati ordinati dalla Prefettura di come indagini complementari, a fini di sicurezza, successivamente all'accadimento di altre scosse di magnitudo anche superiori al terzo grado Richter, nel mese di novembre 2019, durante altri test preliminari.

In seguito agli eventi del 4 dicembre scorso, che producevano diffuso danneggiamento del centro abitato, la Prefettura Bas-Rhin, ordinava l'immediata cessazione delle attività e chiusura di tutti gli impianti della società geotermica.

Nel caso specifico, si tratta di un impianto realizzato dalla nota società Fonroche geotermie, con lunga esperienza nella progettazione e realizzazione di impianti con diverse tecnologie.

La costruzione dell'impianto, sul bordo della fossa tettonica del Reno, era stata preceduta da una lunga fase di indagini preliminari, nell'ambito di un progetto esecutivo di ricerca approvato, e basato su una cospicua documentazione ed esperienza su pozzi ad alta profondità.

L'obiettivo della sfruttamento era una sorgente geotermica a profondità di circa 4 chilometri, per una portata dell'impianto di 350 metri cubi/ora, e una temperatura di 150 gradi.

Nello stesso contesto geologico strutturale erano già presenti altri impianti, che avevano manifestato analoghe problematiche.

In particolare l'impianto di Landau, la prima centrale realizzata con una potenza di 3 MW, e pozzi a 3 km di profondità e temperatura di esercizio di 160°, con una portata di 70 l/s, aveva manifestato terremoti di magnitudo fino a $M=2.7$ nel 2008.

In quel caso, l'analisi con sostanze traccianti avevano rivelato che il tempo necessario per la filtrazione tra il pozzo di iniezione e quello di estrazione era di 650 giorni.

Il rapporto del gruppo di lavoro INGV (Gdl INGV 2018), già trasmesso ai Vertici del Dipartimento della Protezione Civile nel 2018, ma reso pubblico soltanto nel luglio 2020, a seguito dell'incidente del pozzo Geogrid di Agnano, costituisce una fondamentale posizione ufficiale dell'INGV, che conferma il rischio da induzione e innesco sismico da impianti geotermici binari, non EGS, di potenza di soli 5 MW (contro i 9.9 MW del progetto "Val di Paglia"), anche in aree di sismicità molto inferiore a quella del bacino di Siena-Radicofani.

In particolare il Gruppo di lavoro incaricato dal Presidente INGV, conclude le valutazioni come : *"... Studi condotti altrove, e relativi all'impatto delle attività di estrazione e reiniezione di fluidi nel sottosuolo, indicano come possibili conseguenze di tali attività l'occorrenza di deformazioni del suolo e di sismicità indotta, nonché variazioni dell'estensione e delle caratteristiche delle aree esalanti..."*

E in riferimento alle sequenze sismiche, dichiarano : *"... Questa sostanziale somiglianza impedirebbe di fatto di distinguere i segnali antropici da quelli vulcanici, rendendo ancora più complessa l'interpretazione dei dati di monitoraggio..."*.

La pubblicazione di un volume speciale monografico della prestigiosa rivista BSSA (BSSA 2020), massimo riferimento nella sismologia mondiale, sulla sismicità indotta o innescata, **conferma l'estrema diffusione di terremoti di origine antropica nei più svariati contesti.**

Dai processi di estrazione e reiniezione di fluidi, a pressione di equilibrio o in sovrappressione, di varia natura, in diversi contesti geologico-strutturali, si evince come, i processi di induzione siano del tutto comuni, con magnitudo, anche eccedenti il quinto grado Richter.

Nei contesti tettonici attivi, tali procedure possono innescare terremoti anche a distanze di decine di chilometri, e l'attività sismica, indotta o innescata, può perdurare per decenni (

In merito ai meccanismi di induzione e innesco, lo stato dell'arte è elevato, ma ancora molti problemi restano irrisolti, di conseguenza la problematica della valutazione dei fattori che influenzano la sismicità indotta, in alcuni casi può essere affrontata solo in termini probabilistici.

Tali criticità, nel contesto specifico del Graben attivo di Siena-Radicofani, sono aggravate dalla inadeguata conoscenza delle strutture tettoniche attive a diversa profondità, nonché, da una generale sottovalutazione del rischio sismico, riconosciuta da vari esperti, e da lacune dei cataloghi delle faglie attive e del catalogo DISS, che potrebbero tradursi in una sottovalutazione dei maggiori eventi potenzialmente inducibili dalle attività antropiche (S. Stein et al 2012 – Neri G. 2012).

CRITICITA FONDAMENTALI E NON OVVIABILI DEL PROGETTO VAL DI PAGLIA

La carenza fondamentale del progetto Val di Paglia, analogamente ad altri progetti simili, rigettati in precedenza, risiede nell' insufficiente livello di conoscenza del sottosuolo e della complessità ed imprevedibilità delle fenomenologie e dei rischi potenzialmente inducibili da attività antropiche, a breve, medio e lungo termine da attività di trivellazione, estrazione e reiniezione di fluidi geotermici in profondità.

Infatti, come ampiamente documentato dalla letteratura scientifica e dalle esperienze di fenomenologie indotte, modelli concettuali possono risultare adeguati per scopi puramente descrittivi e rappresentativi dei sistemi geologici-strutturali ed idrogeologici, ma non possono fornire adeguata affidabilità in termini di controllo dei processi e del rischio, a causa della natura complessa e intrinsecamente imprevedibile del sistema geologico, in relazione agli eventi naturali e maggiormente a quelli inducibili da interventi umani, da evitare, pertanto, in base al principio di precauzione.

Per l'inadeguatezza del livello di conoscenza nella previsione di eventi naturali, quali terremoti, deformazioni del suolo e dissesti idrogeologici, le strategie di Protezione Civile sono orientate prevalentemente alla prevenzione, e ovviamente l'azione preventiva deve governare, a più forte ragione, attività antropiche potenzialmente pericolose.

Ulteriore limite alla imprevedibilità degli effetti indotti dalla realizzazione dell'impianto " Val di Paglia ", deriva dalla totale inesperienza relativamente a centrali con tecnologia binaria, mai realizzate nel Graben di Siena-Radicofani, e nell'intero territorio italiano, a fronte dei vari progetti presentati.

Nell'area, infatti, con pur gravi, ma diverse implicazioni, si è sviluppata esclusivamente la tecnologia flash, nella quale non viene praticata alcuna attività di reiniezione.

La reiniezione, è, infatti, universalmente riconosciuta come causa primaria di sismicità indotta e innescata, nonché, di perturbazione e mescolamenti delle falde acquifere.

Pertanto, valutazioni della sismicità indotta e maggiormente di quella potenzialmente innescata in strutture attive, prossime alle condizioni critiche di stress, sono fortemente limitate dal livello di conoscenza del sottosuolo, nonché, del carico tettonico, e dai processi di induzione e

innesco, tutt'ora in fase di comprensione, e oggetto di considerazione in Italia soltanto a partire dalla costituzione della Commissione ICHESE nel 2013 (ICHESE 2014).

Particolarmente, in relazione ai processi di innesco statico, conseguenza di modificazioni del campo di stress, dovute a incremento o decremento della pressione nel sistema idrotermale o, di innesco dinamico dovuto alle sollecitazioni cicliche indotte da eventi sismici più superficiali, su faglie attive più profonde, prossime alla rottura.

Questo a fronte di una vasta bibliografia scientifica internazionale (Sibson 1990, Taira et al 2009, van der Elst et al 2013).

Per tali limiti, e per la scarsa conoscenza di dettaglio delle strutture tettoniche attive in profondità nel Graben di Siena-Radicofani, e del loro attuale stato di prossimità ai limiti critici di rottura, ogni valutazione di rischio di innesco, anche su base probabilistica risulta impossibile.

Dato il contesto del Graben di Siena-Radicofani, insistente su una più estesa sequenza di strutture tettoniche distensive a scala ultra-regionale dell'estensione di centinaia di chilometri e di sistemi vulcano-tettonici più superficiali, ogni valutazione quantitativa sui rischi potenziali di innesco o induzione, risulta puramente speculativa.

In generale, sulla base delle conoscenze su tali fenomenologie nei sistemi geotermici, si può ritenere che la magnitudo massima inducibile, possa essere compresa tra il quarto e quinto grado Richter .

In merito alla sismicità innescabile essa è prossima al valore massimo di sismicità storica dell'area, che è valutata poco al di sotto del sesto grado Richter.

Tutte le considerazioni riportate nel presente documento, in merito al progetto “ Val di Paglia”, in quanto affrontano aspetti più generali delle tecnologie, e del sistema geologico-geologico-strutturale e idrogeologico del Graben di Siena- Radicofani, sono estensibili ad analoghi impianti ed attività correlate, nell'ambito dell'intero Graben, che insiste tra Lazio, Umbria e Toscana.

Osservazioni integrative alle risposte della Sorgenia Le cascinelle srl alle osservazioni del 12/01/2020

Relativamente all'allegato 3 della Sorgenia Le Cascinelle srl, si rileva che in generale nelle diverse risposte da 2.1.1 al punto 2.1.9, in merito alle criticità osservate non vengono forniti in generale elementi oggettivi di rassicurazione riguardo ai rischi e alle problematiche evidenziati, ma al contrario si ostenta una infondata capacità di controllo e gestione del rischio.

Relativamente al punto 2.1.1, si osserva quanto segue:

In merito alle criticità intrinseche del contesto del complesso del bacino di Siena-Radicofani, e principalmente dei determinanti limiti di conoscenza di dettaglio su gli elementi geologici, stratigrafici, idrogeologici, geomeccanici, delle diverse formazioni a varie scale dimensionali, **il proponente non è in grado di aggiungere alcun ulteriore livello di dettaglio rispetto al semplice modello concettuale del sistema considerato nel progetto di sfruttamento dell'energia geotermica.**

Tale modello certamente valido a fini scolastici di descrizione a grande scala del sistema, non può essere ritenuto adeguato a fini operativi .

Ciò in quanto, come ampiamente documentato da una vasta letteratura e più recentemente, specifico oggetto di numerosi articoli nella monografia del BSSA dell'ottobre 2020, gli effetti di iniezione ed estrazione di fluidi nel sottosuolo, dipendono fortemente dalle proprietà degli orizzonti attraversati e dalla presenza di strutture e discontinuità anche a piccola scala, (anche di estensione metrica o inferiore) e solo più in generale, ed in condizioni di equilibrio, dall'assetto geologico- strutturale e idrogeologico a grande scala (Pruess e Narasimhan 1985) Disastri come quello di Pohang in Corea del Sud (Palgunadi et al 2020), le recenti sequenze a Vendenheim nei pressi di Strasburgo e la sismicità indotta nella quasi totalità dei siti di estrazione e/o iniezione di fluidi, tra i più noti, quello dell'Oklahoma (Karanen et al 2011-Ries et al 2020) o Paradox Valley in Colorado (Ake et al 2005- Roger et al 2020), così come Timpson in Texas (Szafranski e Duan), non sarebbero contemplabili nell'assunzione di mezzi, continui, omogenei e con valori di permeabilità e proprietà meccaniche favorevoli, come quelli assunti nella modellistica numerica allegata dal proponente.

Relativamente al punto 2.1.2, in merito alla sismicità indotta o innescata, il proponente afferma in modo perentorio, quanto erroneo che, questa sarebbe prerogativa dei sistemi EGS , ma tale affermazione è in contrasto con la stessa teoria della rottura in mezzi poro-elastici, con la comune pratica di impianti geotermici binari non EGS, per i quali viene comunemente valutata la magnitudo massima inducibile su base modellistica, nonché, con lo stesso lavoro di Schiavone et al 2020, citato dai proponenti.

In tale pubblicazione recente, si sviluppa la modellistica numerica per la valutazione della sismicità inducibile in sistemi a reiniezione e a reiniezione totale, sempre di tipo non EGS , assumendo, ovviamente, che tale sismicità sia un comune effetto indotto da attività di estrazione e reiniezione del sottosuolo non EGS.

E su tale base **evidenzia come, condizioni di induzione sismica siano sempre presenti per gli scenari, seppure con magnitudo potenziali differenti, in funzione delle proprietà idrauliche considerate, fino a valori di $M= 4.8$, per valori di flusso di massa iniettata compresi entro 96 Kg/s** (quindi meno della metà del valore previsto per l'impianto "Val di Paglia ".

Ma ancora più incontrovertibile è la recentissima esperienza di sequenze sismiche indotte, anche solo in fasi iniziali di test con modesto flusso e massa totale iniettata, con tecniche non EGS, nell'impianto geotermico con tecnologia binaria di Vendenheim presso Strasburgo, come sopra riportato.

Gli eventi indotti con magnitudo fino a 3.5 Richter, con risentimento e danneggiamento del centro abitato, hanno reso necessaria l'immediata e definitiva chiusura dell'impianto da parte della Prefettura competente.

Va ricordato a tale proposito che il sistema geotermico di Vendenheim (Strasburgo), insiste in un contesto analogo, ma su un'area tettonicamente molto meno attiva di quella interessata dal progetto "Val di Paglia ", e che il danneggiamento è stato comunque significativo, benché, le attività di iniezione fossero effettuate a profondità molto superiore (di oltre 4 Km), rispetto al sistema geotermico della " Val di Paglia ".

Eventi analoghi a profondità dell'ordine di 2 Km, caratteristica del sistema geotermico coltivato dal progetto " Val di Paglia ", a parità di magnitudo, potrebbero produrre livelli di scuotimento del suolo e danneggiamento molto superiori a quelli registrati Vendenheim E', inoltre, da ricordare, come in detto impianto, già nel novembre 2019, test di iniezione, avevano indotto sequenze sismiche di magnitudo superiori al terzo grado Richter, mentre gli eventi indotti dai test più recenti, si sono manifestati, con energia, almeno dieci volte superiore.

La chiusura immediata e definitiva ordinata dalle autorità giudiziarie, dell'impianto di Vendenheim, suggerisce che, le decisioni delle autorità competenti in merito al progetto " Val di Paglia", così come ad altri analoghi nel bacino di Siena-Radicofani, tengano conto, oltre che, in modo prioritario dei rischi associati, anche delle potenziali perdite di risorse economiche derivanti dalla necessità della chiusura degli impianti per sismicità indotta o innescata e dei costi del ripristino dei luoghi .

Prive di qualsiasi fondamento scientifico, sono le rassicurazioni del proponente, in merito alla non comparabilità di fenomenologie di induzione e innesco in attività antropiche di diversa natura, con finalità differenti e in diverse aree geografiche, ciò in quanto, la meccanica dei mezzi poroelastici e più in generale, i processi fluidodinamici e termo-fluidodinamici non variano in funzione delle finalità e delle intenzioni degli operatori, ma dipendono nel caso specifico dalle proprietà geomeccaniche e idrauliche delle rocce e dalla tipologia dei processi. Di fatto, indipendentemente dai contesti geologici, fenomenologie analoghe si possono produrre con analoghi processi.

Dall'iniezione o estrazione di acqua, o idrocarburi nel sottosuolo, all'estrazione di fluidi geotermici, le fenomenologie inducibili, quali sismicità indotta o innescata, deformazioni del suolo e dispersione incontrollata di fluidi, avvengono secondo processi del tutto analoghi e descrivibili dalle stesse formulazioni fisiche.

Tale tematica è proprio oggetto della recente monografia del BSSA citata e delle migliaia di pubblicazioni scientifiche sul tema, prodotte nell'ultimo decennio.

Ancora più priva di qualsiasi senso scientifico, è l'affermazione della non comparabilità del campo geotermico del progetto Val di Paglia, con il sistema geotermico dei Campi Flegrei o di altri simili in diversi contesti .

Infatti, per quanto attiene alla fisica dei processi termo-fluidodinamici i sistemi sono assolutamente analoghi, e nello specifico dei Campi Flegrei, anche le caratteristiche progettuali, nonché le proprietà attribuite ai sistemi geotermici, sono compresi all'interno di un ristretto intervallo di valori, comuni a quelli del progetto "Val di Paglia ".

D'altra parte, nell'ipotesi di non comparabilità dei sistemi, sostenuta dal proponente, anche tutte le considerazioni in merito a una presunta casistica mondiale, relativa ai piccoli impianti, o della affidabilità dell' esperienza professionale non avrebbero alcun senso.

Ogni singolo progetto risulterebbe un caso a sé stante, e non potrebbe trarre alcun contributo dalle esperienze in contesti differenti e dalla lettera tecnico-scientifica disponibile (Wang et al 2020).

Verosimilmente, il proponente intende prendere le distanze da progetti analoghi a quello “ Val di Paglia “, ma rigettati o ritirati , per il riconoscimento degli inaccettabili rischi connessi, come il progetto di centrale binaria denominato “ Scarfoglio “, nei Campi Flegrei o il progetto denominato “ Forio” a Serrara Fontana sull’Isola di Ischia (MATTM 2018).

Ma in questo azzardato tentativo è costretto a rinnegare i fondamenti della ricerca scientifica in meccanica delle rocce, poroelasticità, idraulica e sismologia.

Relativamente alle risultanze della Commissione ICHESE (ICHESE 2014), e alla presunta non comparabilità dei contesti geologici in merito al rischio da sismicità innescata, si rileva come, questa derivi da sollecitazioni su faglie attive, in condizioni di carico tettonico critico, per effetto di perturbazioni, anche minime, dovute ad interventi di origine antropica, indipendentemente dal tipo di attività.

Tale tematica è oggetto solo da pochi anni, di studi approfonditi, e permangono molte lacune nelle conoscenze (Wang et al 2020).

Ma, è da sottolineare che, la Commissione ICHESE si sia espressa in merito alla probabilità di innesco per i terremoti nel 2012 in Emilia, quindi in un territorio storicamente molto meno attivo, rispetto a quello del bacino di Siena-Radicofani.

Di fatto, nella comparazione tra il contesto del Graben attivo di Siena-Radicofani e altre aree a livello mondiale, come ad esempio le aree di coltivazione geotermica in centro Europa, è senz’altro il primo a presentare le maggiori criticità .

Il Graben è un complesso geologico strutturale ed idrogeologico, tettonicamente attivo, ed è stato interessato da una prolungata attività vulcanica, con risalita di magma lungo direttrici note solo in parte, con strutture vulcano-tettoniche, sovrapposte a più complesse e meno note strutture tettoniche attive (Acocella et al 2002, 2006, Vignaroli et al 2013).

Tali strutture sono potenzialmente sempre prossime alle condizioni di rottura.

Il livello di instabilità del sistema, almeno per quanto riguarda le strutture più superficiali, che attraversano i sistemi geotermici, è anche controllato ai processi poroelastici, che possono influenzare i coefficienti di attrito lungo il piano di faglia e i valori di sforzo effettivo, in funzione di variazioni della pressione di fluido di poro .

Il sistema geotermico risulta discontinuo e con proprietà ampiamente variabili .

Queste sono, purtroppo, le condizioni ideali per l’induzione di eventi sismici e per l’innesco di terremoti potenzialmente distruttivi (Joeng et al 2020, Palgunadi et al 2020, Szafranski e Duan 2020).

Paradossalmente, le aree vulcaniche attive della Campania, pur presentando altri rischi, per la minore estensione dei campi geotermici e l’assenza di importanti strutture tettoniche attive, a scala regionale, al di sotto di quelle vulcano-tettoniche, sono esposte a valori di magnitudo massime attese, notevolmente inferiori, rispetto a quelle del bacino di Siena-Radicofani.

Ciò nonostante, nella valutazione di impatto ambientale, per tali aree si è ritenuto inaccettabile il rischio di innesco o induzione di eventi sismici (MATTM 2018).

In merito all’estesa trattazione sulle tecniche di monitoraggio preventivo e in corso di produzione, presentata dal proponente, indipendentemente dalle tecniche adottate, dall’affidabilità delle procedure e della qualità dei dati prodotti, va considerato che, tali attività

hanno il solo valore di documentazione degli eventi e delle modificazioni geofisiche e geochimiche rilevate nel tempo, ma non possono in alcun modo essere assunte a fini di prevenzione verso fenomenologie critiche o eventi potenzialmente disastrosi.

In altre parole forniscono informazioni su ciò che è avvenuto fino all'ultima frazione di secondo trascorsa, ma non sulla successiva frazione di secondo, nella quale potrebbe manifestarsi un terremoto disastroso o rotture con mescolamento o estrusione di fluidi in profondità o in superficie.

Di fatto, l'eventuale cessazione delle attività produttive, nel caso di rilevazione di sismicità indotta o di altre fenomenologie, non potrebbe in alcun modo garantire il ripristino delle condizioni iniziali nel sistema geotermico, relativamente ai possibili eventi innescati in faglie attive e prossime alle condizioni di scorrimento, per effetto di sollecitazioni statiche o dinamiche, anche minime, dovute alle attività produttive.

In presenza di un carico tettonico elevato, si potrebbero generare eventi sismici di elevata magnitudo, in assenza di qualsiasi possibile evento precursore, rilevabile dal sistema di monitoraggio installato .

Ma anche nell'ipotesi favorevole della registrazione di sequenze anomale di eventi di minore magnitudo da possibile innesco, l'immediata cessazione delle attività produttive potrebbe risultare irrilevante in relazione ai processi di propagazione di frattura in corso, o di modificazione del campo di sforzo locale, e al fine di prevenire eventi di maggiore magnitudo.

Relativamente al punto 2.1.3 , in risposta alle osservazioni in merito alle fenomenologie di deformazioni del suolo, il proponente non da alcun riscontro valido, limitandosi ad accennare brevemente e solo qualitativamente alle condizioni di deformazioni del suolo in aree di coltivazione.

Riconosce l'incidenza a livello mondiale dei fenomeni di deformazione del suolo, ma sostiene, senza riscontro scientifico, che questi si manifestano nelle prime fasi di coltivazione, quando non sia prevista reiniezione .

E indica la reiniezione come un fattore mitigativo dei processi di deformazione. Quindi, descrive le tecniche di monitoraggio che intende adottare .

Le argomentazioni risultano, però, totalmente insoddisfacenti, in quanto presuppongono la capacità di riequilibrare in tempo reale il sistema geotermico , tra i pozzi di estrazione e reiniezione, nell'assunzione di perfetta continuità idraulica tra questi.

Ma l'assunzione di continuità idraulica, non è mai stata verificata, e al più potrebbe manifestarsi dopo un prolungato esercizio. Ciò, implica il rischio che, in caso di inadeguata continuità, si genererebbero sovrappressioni crescenti, e quindi sismicità indotta, con magnitudo crescente in funzione del volume totale di fluidi iniettati ed estratti.

Proprio la deformazione che si verifica in quello che genericamente il proponente definisce come “ *...primi periodi della coltivazione...*”, deriva da una mancata compensazione dei fluidi estratti, e quindi della variazione della saturazione del mezzo poroso, e quindi della pressione di fluido di poro.

Processi analoghi, ma di segno opposto, interesserebbe la zona di reiniezione. Pertanto, per l'inadeguata permeabilità e continuità idraulica, si genererebbero contemporaneamente due

zone perturbate meccanicamente, nelle quali si potrebbero innescare processi di rottura e quindi sismicità.

La perturbazione meccanica o statica, si estenderebbe secondo una simmetria sferica a distanze anche chilometriche dalle zone di produzione e reiniezione, con potenziali innesco di eventuali faglie attive (Gobel e Shirzaei 2020)

Studi di sistemi geotermici con permeabilità tipiche (Gaeta et al 1998, Castagnolo et al 2001), hanno evidenziato come la velocità di filtrazione in tali sistemi possano assumere valori tipici da 0.001 a 0.00001 m/s.

In tali condizioni la filtrazione dei fluidi iniettati dai pozzi di reiniezione a quelli di estrazione richiederebbe un periodo di tempo compreso tra settimane ed anni , con conseguente potenziale grave scompenso di bilancio del sistema geotermico.

Ciò in condizioni di continuità e ordinaria permeabilità del mezzo poroso.

Tali velocità tipiche sono documentate, sperimentalmente in impianti binari, come riportato in precedenza.

Mentre, nel caso di compartimentazione per drastiche variazioni di porosità o di discontinuità tettoniche, tale squilibrio progredirebbe inesorabilmente con l'esercizio dell'impianto.

Tale eventualità può essere ritenuta probabile in considerazione di quanto emerso in studi dettagliati del vicino campo geotermico di Torre Alfina (Ferrara e Stefani 1978) , solo più a sud nel Graben di Siena-Radicofani, fortemente compartimentato, con proprietà idrauliche e geomeccaniche molto variabili in zone a breve distanza tra loro (Vignaroli et al 2013)

L'assenza di qualsiasi esperienza di impianti geotermici binari in Italia, e specificamente nel bacino di Siena-Radicofani , renderebbero l'impianto un esperimento dall'esito incerto.

Per quanto riguarda i sistemi di monitoraggio della deformazione del suolo previsti, valgono le considerazioni già fatte in precedenza sulla funzione di rilevazione degli eventi, ma non di prevenzione e mitigazione del rischio .

Al punto 2.1.4 , in merito alla probabilità di innesco di fenomeni franosi, vengono fornite a riscontro solo generiche rassicurazioni in assenza di qualsiasi valutazione oggettiva dei fattori geomorfologici e delle caratteristiche geotecniche.

D'altra parte, i rilievi e le valutazioni svolte dal Prof. Borgia (Borgia 2020), a seguito di recenti cedimenti del suolo nel Comune di Castel Giorgio, hanno evidenziato la diffusa instabilità di un ampio settore del Graben e il rischio di fenomeni gravitativi nell'area del bacino del Paglia, per effetto combinato di una tettonica gravitativa, di alti gradienti topografici e delle caratteristiche geomeccaniche delle formazioni liguridi, e di possibili sollecitazioni sismiche.

Per tali condizioni, e in assenza di qualsiasi dato in merito, va considerata la possibilità che in versanti in condizioni di equilibrio critico, si possano manifestare dissesti anche per effetto di modeste sollecitazioni, dovute all'attività di coltivazione. Ovviamente, tali fenomenologie potrebbero assumere notevole rilevanza nel caso di induzione o innesco di sequenze sismiche che, come documentato storicamente, per la bassa profondità ipocentrale, producono effetti al suolo notevoli, già con valori modesti di magnitudo (Vittori et al 2000)

Per quanto riguarda le risposte ai punti 2.1.5, 2.1.6, 2.1.7, 2.1.8, dispersioni di fluidi nelle falde acquifere, nel suolo e in atmosfera e possibili eruzioni di pozzo, le fenomenologie possono

essere raggruppate in una unica categoria di effetti indesiderati, ma incontrollabili e imprevedibili, con potenziali gravi conseguenze.

Tali fenomenologie possono derivare dall'inadeguato livello di conoscenza delle proprietà geomeccaniche e idrauliche degli orizzonti attraversati, nonché, dall'impossibilità di indagare preventivamente su discontinuità e strutture tettoniche a piccola scala, non investigabili attraverso le ordinarie tecniche di prospezione geofisica.

In aggiunta ai fattori geologici e idrogeologici, dispersione di fluidi ed eruzioni di pozzo derivano comunemente da non idonee procedure esecutive e/o incidenti, che di fatto, pur adottando le procedure adeguate non sono eliminabili.

Tra i fattori scatenanti di possibili incidenti, date le caratteristiche di sismicità medio-alta dell'area, con ipocentri relativamente poco profondi, eventi sismici naturali potrebbero produrre effetti in superficie.

Questi sono documentati nella storia sismica e anche più recentemente (Borgia 2020) e potrebbero avere ripercussioni sugli impianti, con possibile perdita di tenuta delle tubazioni profonde e dispersioni di fluidi nel sottosuolo, al suolo e in atmosfera.

A tale proposito, e più specificamente in merito alle fenomenologie da esplosione o eruzione di pozzi (blow-out) nell'ambito di una rilevante casistica a livello mondiale è opportuno citare l'esplosione del pozzo Torre Alfina nel 1973 (Ferrara e Stefani 1978), con prolungata dispersione di fluidi e particolato al suolo e in atmosfera, in un contesto del tutto analogo a quello dell'impianto " Val di Paglia " .

Incidenti con blow-out, oltre che in trivellazioni in pozzi geotermici in Campania, sono documentati anche in pozzi estremamente superficiali, quale quello di Fiumicino, Ciampino nell'estate 2020 e in modo più eclatante nel mese di giugno 2020, durante le attività di perforazione di un pozzo geotermico nell'ambito del progetto Geogrid, ad Agnano, nel territorio comunale di Pozzuoli (Graded 2018).

Il pozzo che raggiungeva una profondità massima di 88 metri, manifestava blow.out, già da una profondità valutata in circa 5 metri e produceva una colonna di vapore, gas e particolati dell'altezza stimata in circa 50 metri che perdurava per circa 40 giorni, fino alla chiusura definitiva del pozzo. Questo, nonostante che, nel progetto fosse stato impiegato il massimo livello di autorevolezza tecnico scientifica istituzionale.

Nell'incidente venivano emesse decine di migliaia di tonnellate di fluidi e particolato, e si rendeva necessario l'intervento delle autorità comunali, regionali, di Protezione Civile Nazionale e dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, che a seguito di approfondite indagini e attività di monitoraggio, esprimeva preoccupazione per possibili gravi conseguenze derivanti dalla fuoriuscita incontrollata di fluidi sulla stabilità del suolo e sulla possibile apertura di un campo fumarolico.

Gli incidenti sono insiti in qualsiasi attività, ma che nel caso specifico di sistemi naturali, con elevatissime energie in gioco, risultano totalmente fuori dalle possibilità di gestione e controllo. Possono essere definiti "disastri naturali di origine antropica".

Per tale motivo richiedono un'attenzione prioritaria nella valutazione di impatto ambientale e da parte degli organi governativi e di Protezione Civile, nel rispetto del principio di precauzione.

In merito alla risposta di cui al punto 2.1.9, gli effetti cumulativi di diversi impianti insistenti nel medesimo sistema idrotermale o su sistemi adiacenti, il proponente non esprime alcuna valutazione, ma esclude possibili interazioni con gli impianti già esistenti che operano nel sistema geotermico più profondo.

A tale proposito, si fa presente che, a parte gli impianti già operanti nel distretto vulcanico del Monte Amiata, tutti con tecnologia flash, e quindi senza reiniezione, sono in corso di valutazione e di decisione da parte delle autorità competenti, altri progetti di centrali binarie, anche pilota, e quindi con priorità, operanti sullo stesso sistema geotermico o sistemi contigui. Inoltre, una analoga situazione in prospettiva di progetti in corso di valutazione insiste poco più a sud nell'area centro-meridionale del Graben di Siena-Radicofani, nel distretto vulcanico vulsino, nel quale è già in fase avanzata la procedura di decisione riguardo il progetto di centrale geotermica pilota di Castel Giorgio.

Pertanto, la problematica degli effetti combinati di più impianti necessita la massima attenzione

Sui rischi connessi a tali attività sono in atto contenziosi, e un comitato di trenta sindaci, dell'area vulsina, ha recentemente sollecitato l'intervento delle autorità di governo e del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale.

In merito alle considerazioni, circa l'assenza di interazione tra i diversi sistemi geotermici e di questi con le falde idriche superficiali esiste un dibattito scientifico aperto, e la questione risulta ancora irrisolta.

A tale proposito si vedano le osservazioni integrative riportate nel presente documento, a riscontro alle risposte del dott. De Natale.

MODELLO NUMERICO

In merito alle risposte fornite dalla Terra Energy srl per la Sorgenia Le Cascinelle srl, non si rileva alcun significativo elemento di valido riscontro alle osservazioni del 12/01/2020, in quanto vengono semplicemente ribadite le metodologie, le assunzioni e le valutazioni riportate nell'allegato 2 al progetto del 22/5/2019.

La debolezza dell'approccio modellistico deve essere considerata determinante ai fini della valutazione negativa del progetto .

Questo in quanto, a fronte di tutte le altre considerazioni, le garanzie fornite dal proponente, in merito alla sicurezza delle attività produttive , in relazione a possibili disastri, sono fondamentalmente basate sulla modellistica numerica del sistema geotermico, in condizioni statiche e dinamiche.

Come specificato nelle precedenti osservazioni, l'attendibilità dei risultati della simulazione numerica, per la quale sia verificata l'adeguatezza della formulazione fisica e del calcolo numerico, dipende esclusivamente dalla adeguatezza del modello adottato, al sistema reale, e quindi dal livello di dettaglio con il quale descrive le sue proprietà e la sua evoluzione termo fluido-dinamica e meccanica.

Come evidenziato nelle precedenti osservazioni e ribadito nelle presenti , il livello di conoscenza di dettaglio dell'assetto geologico strutturale profondo, termofluido-dinamico e

delle proprietà geomeccaniche e idrauliche dei diversi orizzonti attraversati e particolarmente del primo serbatoio geotermico, è inadeguato a fini previsionistici.

Infatti, i pochi dati disponibili sono quelli ricavati da prospezioni geofisiche lungo singoli profili e da alcuni sondaggi.

Di contro, l'insorgenza di condizioni critiche di sovrappressione e rottura in profondità, per effetto di attività di estrazione o reiniezione, più che dalle proprietà a grande scala del sistema, dipende dalle proprietà locali del mezzo poroso.

Il modello adottato di reiniezione totale, presuppone che il mezzo sia caratterizzato da doppia porosità (Press e Narasimhan 1985), cioè da un reticolo di frattura che attraversa la matrice porosa.

In particolare, la velocità di filtrazione dei fluidi dipende strettamente dall'abbondanza, concentrazione, estensione ed orientamento degli eventuali reticoli di fratture all'interno del mezzo poroso.

Di fatto, indipendentemente dalla matrice porosa, il flusso di fluidi nel mezzo doppio poroso, varia di ordini di grandezza in funzione del grado di fratturazione.

Nello specifico della tecnologia binaria il fluido reiniettato in un mezzo poroso non fratturato o caratterizzato da un basso livello di micro-fratturazione, potrebbe richiedere un tempo di filtrazione dei fluidi dai pozzi di iniezione a quelli di estrazione, variabile da mesi ad anni, con gli ordinari valori di permeabilità.

In tali condizioni, ovviamente, non potrebbe essere garantita in alcun modo la continuità idraulica; e si genererebbero un incremento di pressione progressivo e proporzionale ai volumi di fluidi iniettati, ed un analogo incremento di decompressione, nelle zone di estrazione, con potenziali doppie condizioni di induzione e innesco di terremoti, nonché, di deformazione del suolo (NRC 2012).

Il proponente dichiarando la reiniezione totale, assume implicitamente di operare su un mezzo a doppia porosità, ma non dichiara esplicitamente che, tale assunzione è assolutamente vincolante per la modellistica adottata, ma non è in alcun modo supportata da evidenze oggettive o indagini dirette e dettagliate, sul primo sistema geotermico oggetto delle modellistica.

D'altro canto, l'assunzione di un mezzo poroso fratturato, in assenza di specifiche indicazioni sulle caratteristiche e sulla scala dei sistemi di fratture, non fornisce alcuna informazione in merito ad altre criticità connesse all'iniezione di grandi quantità di fluidi (Pruess e Narasimhan 1985).

Infatti, nel caso di estesi sistemi di fratture, con orientamenti da sub-orizzontali a sub-verticali, l'iniezione potrebbe produrre la diffusione di fluidi geotermici verso le falde acquifere idropotabili superficiali o verso altre strutture tettoniche di compartimentazione del primo sistema geotermico.

Tali caratteristiche, sono in realtà compatibili con la giacitura e la sovrapposizione delle diverse falde sovrascorse, che costituiscono l'unità toscana, ma che di fatto sono assunte nel modello come un mezzo omogeneo e continuo.

Nell'assunzione invece di un mezzo realmente discontinuo, tutti i presupposti del progetto e della modellistica, sarebbero totalmente invalidati.

Le evidenze in merito al drastico aumento delle sovrappressioni e quindi della magnitudo massima inducibile tra l'assunzione di mezzo doppio poroso (nel quale è valida l'assunzione di reiniezione totale) e la semplice reiniezione, è mostrata da Schiavone et al 2020.

Per un sistema geotermico, analogo a quello del progetto "Val di Paglia", con alte permeabilità e masse di flussi iniettati molto inferiori (da circa 1/3 a circa 1/2 dei valori assunti dal progetto "Val di Paglia"), la magnitudo massima attesa dei terremoti indotti, risulta sempre inferiore a $M=2$ per reiniezione totale, ma è compresa tra $M= 3.34$, già dopo solo un anno di iniezione e $M= 4.45$ in trenta anni di semplice iniezione.

E' escluso da tale valutazione, l'ulteriore possibile contributo ai processi di induzione e innesco derivanti dallo shock termico dovuto alla reiniezione di fluidi più freddi nell'acquifero geotermico.

Tale ulteriore fattore, possibile generatore di sforzi attraverso processi termoelastici, può essere estremamente rilevante per elevate differenze di temperatura tra i fluidi iniettati e le rocce nelle quali essi vengono iniettati.

Valori di differenze di temperature di 1° C, possono produrre sovrappressioni dell'ordine di 2 bar. Ciò rivela come, nel caso specifico del progetto Val di Paglia, con fluidi reiniettati a temperatura dell'ordine di decine di gradi inferiori rispetto a quelle dei fluidi estratti, i soli processi termoelastici, sono ampiamente sufficienti a produrre stress, ben oltre il limite di induzione dei terremoti.

Tale meccanismo è considerato responsabile della vasta sismicità indotta osservata nel campo geotermico di Geysers nel nord della California (NRC 2012).

In merito a tale determinante fattore di rischio, il proponente non fornisce alcun riscontro.

Anche trascurando questo determinante processo del controllo dello stato di equilibrio del sistema, e limitandosi solo ai fattori meccanici legati alla poro elasticità, dal lavoro di Schiavone et al 2020, si evidenzia come, ovviamente al diminuire della permeabilità, le magnitudo massime attese aumentano ulteriormente.

Diminuzione di permeabilità ulteriori nel Graben di Siena-Radicofani, analogamente a quanto osservato nei Campi flegrei, possono derivare da processi di riduzione della porosità e chiusura di eventuali microfrazture per processi di cristallizzazione, per effetto dei fluidi idrotermali circolanti nel mezzo poroso (Lowell et al 1993).

Tali processi sono particolarmente rilevanti in zone come quella del progetto, caratterizzata da diffusa risalita di fluidi termali.

Inoltre, dato il contesto di antico vulcanismo diffuso nel Graben di Siena- Radicofani, altre ulteriori discontinuità del mezzo poroso potrebbero essere dovute alla presenza di dicchi e antichi condotti vulcanici in profondità, di dimensioni ridotte e difficilmente rilevabili mediante prospezioni.

Presso tali strutture, la permeabilità diminuirebbe di molti ordini di grandezza, con conseguente deviazione totale dei flussi di filtrazione.

Tali considerazioni implicano che la modellistica fornita dal proponente non è sostenuta da alcun riscontro oggettivo o sperimentale, ed è basata su assunzioni arbitrarie ed eccezionalmente ottimistiche, mai verificate, in quanto nell'area (così come in tutto il territorio italiano a tutt'oggi), non sono mai state realizzate centrali geotermiche con tecnologia binaria .

Le risposte alle osservazioni, fornite dalla Terra Energy srl, queste sono correttamente raggruppate nei seguenti punti:

1.1.1 Scarso livello di conoscenza delle caratteristiche geometriche, e delle proprietà petrofisiche, geomeccaniche e termo-fluidodinamiche delle diverse formazioni costituenti il sistema geotermico oggetto del progetto “ Val di Paglia “,

1.1.2 Estrema semplificazione del modello di riferimento per l'applicazione della simulazione numerica per lo studio delle condizioni statiche e dinamiche, inadeguatezza dei vincoli al modello e arbitrarietà nella scelta dei parametri geomeccanici e termo-fluidinamici del modello,

1.1.3 Arbitrarietà nella delimitazione del sistema geotermico di riferimento per la simulazione numerica: “i risultati ottenuti nelle varie simulazioni numeriche sono stati di volta in volta condivisi con la committenza, la quale ha indicato i parametri da utilizzare per la definizione dello stato stazionario finale “

1.1.4 Inadeguatezza della discretizzazione in celle del volume di acquifero adottato nella simulazione numerica ;

1.1.5 Eccessiva dimensione delle celle ai fini della valutazione di possibili condizioni critiche, meccaniche e termo-fluido dinamiche nel sistema;

1.1.6 Dimensione inadeguata del rettangolo di simulazione di 26,7 Km²;

1.1.7 Applicazione del metodo trail-and-error per temperature ;

La risposta al punto 1.1.1. è ritenuta insoddisfacente , in quanto fa riferimento a dati stratigrafici, geologico-strutturali, geofisici, e da sondaggi, disomogenei non correlabili e con risoluzione inadeguata per la formulazione di un modello sufficientemente dettagliato, relativamente alle proprietà intensive, estensive, e delle condizioni al contorno, a fini operativi e previsionistici, attraverso il codice di simulazione numerica .

Di fatto, tale codice nasce con la finalità di valutare, nell'interesse delle imprese operanti in ambito geotermico, la sostenibilità delle attività produttive nel tempo, e non per valutare i rischi connessi a tali attività , ai fini di sicurezza delle comunità.

Pertanto, simula il modello a grande scala e su periodi decennali, tipici delle concessioni.

I possibili effetti indotti o innescati, disastrosi per le comunità, sarebbe di fatto ininfluenti sulle attività produttive a lungo termine.

Tale approccio potrebbero essere accettabile in aree disabitate e dedicate alle attività produttive, quali gran parte del territorio islandese, ma non per aree storicamente abitate, simicamente attive e con diversa vocazione.

In particolare, i dati stratigrafici, litologici e sulle proprietà geomeccaniche e idrauliche delle diverse formazioni attraversate hanno valore locale e non sono estrapolabili a distanze di centinaia di metri o chilometri dai pozzi, come è invece assunto dal proponente .

I dati da prospezioni sismiche, gravimetriche e magneto- telluriche lungo pochi profili, non forniscono adeguata risoluzione per l'individuazione di discontinuità a scala metrica o inferiore, determinanti nei processi di filtrazione, pressurizzazione e depressurizzazione, e sono comunque, rappresentativi al più del sottosuolo lungo il profilo esaminato.

L'affermazione che “il modello geologico-concettuale di partenza rappresenta quindi la migliore ricostruzione possibile del sottosuolo ...”, non fornisce alcuna garanzia di affidabilità a scopi operativi e previsionistici, ma indica al più, il limite conoscitivo del proponente .

La migliore ricostruzione possibile in base ai dati disponibili non è necessariamente sufficiente, e nel caso specifico come detto, risulta del tutto inadeguata a garantire la sicurezza nelle attività produttive .

Relativamente ai pochi pozzi disponibili e correlati dal proponente, è evidente come la comparazione del pozzo Paglia 1 , con quello del vicino campo geotermico di Piancastagnaio e del pozzo di esplorazione di Radicofani, non ha alcuna attendibilità, in termini geologici, geologico-strutturali e idrogeologici .

A tale proposito va ricordato come, in contesti analoghi, nello stesso Graben di Siena-Radicofani, studi interdisciplinari condotti da Vignaroli et al 2013, hanno evidenziato una estrema variabilità e compartimentazione per la presenza di discontinuità verticali nel sistema geotermico. Tali discontinuità sono evidentemente sufficienti ad inficiare qualsiasi assunzione di continuità laterale e quindi estrapolabilità dei dati da pozzo, a distanza dai punti di sondaggi, anche dell'ordine di decine di metri.

Inoltre, la presenza di impianti geotermici con tecnologia flash nell'area, pur operando in diversi serbatoi, certamente ha introdotto perturbazioni nel campo geotermico locale (fosse anche solo per il flusso di calore diffuso dai pozzi di estrazione), che rendono i diversi contesti non comparabili.

A tale proposito, va considerata la possibilità che si sia verificato e che sia tutt'ora in corso un complesso e diffuso rimescolamento tra i fluidi dei diversi sistemi geotermici e di questi con le falde più superficiali idropotabili.

Ciò è stato evidenziato nella relazione del dott. De Natale sull'impianto “ Bagnore 4”, riportata in stralcio nel paragrafo successivo.

Ancora più arbitraria è l'adozione di dati petrofisici ricavati da “.. letteratura di settore , informazioni riguardo la litologia, stratigrafia, prove di produzione, dati di permeabilità, misure di pressione dei pozzi geotermici e minerari nelle vicinanze...”, non fornendo alcun supporto valido per tale soluzione, non accettabile di fatto , in sistemi fortemente interessati da tettonica attiva e vulcano-tettonica.

La comparazione con campi geotermici diversi, distanti e da tempo interessati da intenso sfruttamento con tecnologie flash, non ha alcuna attendibilità scientifica, in termini modellistico-previsionistici.

Più in generale, date le scarse conoscenze sull'area e le citate evidenze di particolare discontinuità del sistema geotermico, qualsiasi comparazione, anche tra aree vicine non è giustificata.

In merito alla risposta al punto 1.1.2, valgono le considerazioni a riscontro delle risposte all'allegato 2 di Sorgenia Le Cascinelle, nonché, quanto riportato nella prima parte del presente paragrafo.

Relativamente all'assunzione arbitraria di reiniezione totale, e quindi di modello di un mezzo poroso fratturato.

Queste carenze sono da considerarsi al momento incolmabili e determinati nella valutazione negativa del progetto, in quanto gli scarsi vincoli disponibili rendono i risultati totalmente privi di attendibilità.

Nello specifico della modellazione a trenta anni, i valori riportati di sovrappressione, risultano poco al di sotto dei valori critici di innesco (8 bar), pur con assunzioni non dimostrate ed estremamente favorevoli al proponente.

E' evidente che, con minime differenze nei valori di input, si potrebbero facilmente raggiungere le soglie critiche per l'induzione sismica, fissate comunemente a 10 bar.

Relativamente al punto 1.1,3, valgono analoghe critiche di cui ai punti precedenti in merito all'attendibilità di dati sparsi provenienti da sondaggi in altre aree, già soggette da tempo a intense attività produttive, e quindi senz'altro perturbate, e verosimilmente per l'intensa tettonica e vulcano-tettonica, non in continuità con il serbatoio di interesse del proponente.

Relativamente alla ricostruzione dello stato stazionario, è chiaro che le temperature finali e i gradienti nei punti di misura, sono funzione di molti fattori, strutturali, stratigrafici, petrofisici, idrogeologici e termofluido-dinamici, nonché, delle proprietà estensive del sistema.

Ancorchè, detti parametri siano scelti arbitrariamente, esistono combinazioni dei valori di input, che possono fornire le condizioni desiderate.

Pertanto, in assenza di dati adeguati e attendibili dati di input, la simulazione si riduce ad un puro esercizio scolastico, di ottimizzazione numerica su un generico sistema geotermico

Ciò a più forte ragione, come riportato dal proponente, i valori determinanti “sono stati di volta in volta condivisi tra la società incaricata di realizzare le simulazioni numeriche e il team dell'ingegneria di serbatoio di Sorgenia Le Cascinelle”, o, come riportato ancora più esplicitamente a pg. 10 allegato 2 del progetto originale “...i risultati ottenuti nelle varie simulazioni numeriche sono stati di volta in volta condivisi con la committenza, la quale ha infine indicato i parametri da utilizzare per la definizione dello stato stazionario finale...”

In merito al raggiungimento e al mantenimento dell'equilibrio termico a lunga scala temporale si osserva che, il raggiungimento di un equilibrio termico nel sistema, attraverso un metodo trail and error, non potendo compensare la carenza di dati sul sistema, non riflette la conoscenza del sistema a piccola scala. Fornisce al più, una delle possibili soluzioni ottenuta attraverso un processo iterativo su valori di input decisi arbitrariamente, del comportamento termofluido-dinamico del sistema a grande scala.

Infatti, in tale approccio l'effetto di disomogeneità, discontinuità, quali faglie, microfratturazioni, intrusioni magmatiche, nei processi di trasferimento del calore e dei fluidi, risulta non risolvibile.

Ma proprio tali caratteristiche a scala minore, sono determinanti per l'evoluzione critica del sistema a seguito di perturbazioni prodotte dalle attività di coltivazione, quali induzione e innesco di sismicità, deformazioni del suolo, migrazione di fluidi tra le diverse falde idrotermali ed idropotabili.

Infatti, molto più generale, un qualsiasi sistema fisico approssimabile ad un sistema PVT, permane nelle sue condizioni di equilibrio in assenza di perturbazioni esterne, ma può modificare drasticamente il suo stato, con drastiche transizioni per effetto di cause esterne.

In estrema sintesi, dopo un tempo sufficientemente lungo il sistema geotermico raggiungerebbe comunque un equilibrio termico e meccanico, indipendentemente dalla quantità di terremoti e altri effetti a breve termine, che sono comunque trascurabili rispetto all'entalpia totale del sistema, ma possono essere disastrosi per le comunità residenti e per l'ambiente.

Relativamente ai punti 1.1.4 e 1.1.5, la discretizzazione scelta per quanto comunemente adottata nella modellistica di settore, riflette il bassissimo livello di conoscenza del sottosuolo. Infatti, la dimensione delle celle, e quindi l'elemento di volume minimo necessario per la modellistica, dovrebbe essere prossima all'ordine di grandezza delle strutture che controllano il processo che si va ad indagare.

Nella modellazione del sistema geotermico reale, che implicitamente è assunto come poroso-fratturato (che presupposto per l'assunzione di reiniezione totale, Pruess e Narasimhan (1985) indicano che **"... poiché nei mezzi porosi fratturati si manifestano gradienti estremamente elevati di pressione, temperatura e variabili termodinamiche, in prossimità delle fratture, per soddisfare i requisiti dell'equilibrio termodinamico, si devono adottare elementi di volume estremamente piccoli con dimensione dell'ordine di poche fratture..."**).

Nell'assenza assoluta di qualsiasi informazione di dettaglio sul sistema geotermico, il proponente, di fatto simula un sistema ideale del tutto omogeneo che poco ha a che fare con la realtà. Ciò a meno che, il proponente non presupponga un sistema con fratture di dimensione decametrica o superiore (modellabile con la discretizzazione adottata) che però implicherebbe tutte le conseguenze, in termini di rischio ed impatto ambientale esposte nei punti precedenti.

Di fatto, l'insorgenza di perturbazioni nella pressione e nella temperatura del mezzo poroso/fratturato, in piccoli volumi, in prossimità delle zone di estrazione o reiniezione, può innescare processi di propagazione dello stress a volumi maggiori, e quindi induzioni o innesco di eventi sismici.

Ma tali processi che iniziano alla scala delle singole fratture o di piccoli volumi di mezzo poroso, risultano assolutamente irrisolvibili dalla modellistica numerica, che assume unità di volume in equilibrio dell'ordine di grandezza di un milione di metri cubi, pari al volume medio di una cella.

Di fatto, anche l'eventuale riduzione delle dimensioni delle celle adottate nella discretizzazione, non contribuirebbe in alcun modo a una maggiore conoscenza sul comportamento del sistema e sul raggiungimento di condizioni critiche, pericolose, in assenza di un adeguato livello di conoscenza del sistema alla scala scelta.

Relativamente al punto 1.1.6, le dimensioni del rettangolo di simulazione sono scelte in modo arbitrario non avendo alcun riscontro geologico, geologico- strutturale e idrogeologico, tanto più, che il livello di interconnessione degli acquiferi, anche solo a grande scala è ancora questione non definita e dibattuta a livello scientifico, si vedano osservazioni aggiuntive alle risposte del dott. De Natale per Sorgenia Le Cascinelle.

La mancanza di tali vincoli non garantisce l'assunzione di un modello acquifero isolato, nella schematizzazione riportata da Schiavone et al 2020.

La comparabilità con altri modelli esistenti in letteratura non ha alcun significato scientifico, non potendosi invocare uno ipotetico "standard" dei campi geotermici.

Relativamente al punto 1.1.7, in merito all'adozione del metodo trial and error, si rinvia alle osservazioni ai punti precedenti.

OSSERVAZIONI AGGIUNTIVE IN MERITO ALLE RISPOSTE AL DOTT. GIUSEPPE DE NATALE

Preliminarmente, si osserva che, dati i vari ruoli ricoperti dal dott. Giuseppe De Natale, per quanto si evince dal curriculum allegato, ed in particolare quale membro del Comitato Tecnico per la Geotermia dell'Amiata (CTGA) a tutt'oggi, nonché, di dipendente INGV, non è chiaro a quale titolo sia formulata la sua relazione per Sorgenia Le Cascinelle srl “risposte alle osservazioni al dott. Giuseppe Mastrolorenzo” del novembre 2020.

Per quanto attiene alle questioni affrontate e alle argomentazioni fornite, non sono rilevabili ulteriori elementi significativi rispetto alle altre integrazioni e risposte prodotte da Sorgenia Le Cascinelle srl e Terra Energy srl.

Le tematiche sono affrontate in puramente assertivo e qualitativo, ponendosi il dott. Giuseppe De Natale, a suo stesso dire, quale supervisore delle risposte contestualmente fornite da Terra Energy srl.

Affronta vagamente gli aspetti epistemologici e di generiche problematiche, riguardo le scienze pure ed applicate, peraltro, irrilevanti relativamente alle contestazioni su specifici elementi tecnici-scientifici.

In merito alla garanzia che ritiene di poter fornire, sulla adeguatezza dei dati disponibili e dell'esperienza maturata nell'area attraverso la prolungata coltivazione dei campi geotermici, si osserva che, nell'area in oggetto sono operativi, esclusivamente impianti flash, che differiscono totalmente per tecnologia, per sistemi acquiferi interessati, per l'assenza di reiniezione, fattore determinante in termini di rischio di innesco ed induzione oggetto delle osservazioni contestate.

Per quanto riguarda l'adeguatezza e la trasferibilità dei dati acquisiti in siti e sondaggi distanti e ed in contesti diversi da quello del progetto “Val di Paglia”, valgono le osservazioni aggiuntive riportate nei precedenti paragrafi, in merito alla non comparabilità dei contesti.

La descrizione delle vicende, delle procedure e delle motivazioni di rigetto e ritiro dei due progetti di centrali geotermiche pilota, denominate Scarfoglio nei Campi Flegrei e Forio sull'isola di Ischia, risultano non veritiere e gravemente omissive in merito alla successione dei fatti citati e alle motivazioni addotte, per l'attribuzione di un parere negativo della parte della Commissione VIA Ministeriale competente, oltre che, del parere negativo della Regione Campania (MATTM 2018).

La pubblicazione dei due progetti di centrali geotermiche pilota da 5 MW, denominati Scarfoglio e Forio, risale al 2015 e termini per le presentazioni delle osservazioni del pubblico e delle Istituzioni venivano fissati, rispettivamente a luglio 2015 ed a agosto 2015 (Mastrolorenzo G. 2015, 2018).

Contrariamente a quanto riportato dal dott. De Natale, le motivazioni del rigetto per il progetto Scarfoglio risiedono nella mancata integrazione a riscontro alle diverse osservazioni riguardo la inadeguata conoscenza del sottosuolo e sul rischio connesso ad induzione e innesco di terremoti .

Mentre il rischio vulcanico è menzionato solo marginalmente, non rilevando possibili implicazioni della produzione sul vulcanismo.

Analoghe motivazioni erano addotte dalla Commissione VIA Ministeriale per il parere negativo in merito al progetto Forio .

E' significativo, che entrambi i progetti sostenuti da autorevoli consulenze istituzionali , del consorzio AMRA di Università e Istituti di ricerca e dallo stesso dott. De Natale , erano relativi ad aree tra le più indagate al mondo, per gli aspetti geologico,geologico-strutturali, sismo-tettonici, vulcano-tettonici, e sede da circa un secolo di intensa esplorazione delle risorse geotermiche, documenta da numerosissimi pozzi profondi estesi fino ad oltre tremila metri.

Le aree sono, inoltre, caratterizzate da campi geotermici limitati e ben noti in termini di estensione e caratteristiche termofluido-dinamiche. Sono sede di monitoraggio geofisico e geochimico h24 da almeno mezzo secolo, e oggetto di numerose campagne e prospezioni geofisiche e geochimiche di team scientifici nazionali e internazionali.

Nello specifico del progetto Forio, la Commissione VIA diede comunque parere negativo, nonostante che, in riscontro alle osservazioni, il proponente fece effettuare una campagna di prospezione magneto-tellurica, ad alta risoluzione nell'area del progetto dall'Osservatorio Vesuviano, Sezione di Napoli dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Ciò indica che le conoscenze scientifiche non sono state ritenute sufficienti alla coltivazione geotermica, anche per contesti più limitati arealmente, tra i più studiati e monitorati al mondo, controllate dall'INGV, e con pericolosità sismica inferiore a quella del Graben di Siena-Radicofani.

Va osservato a tale proposito che, l'area dei Campi Flegrei e di Ischia, non essendo localizzata(contrariamente al quella del Graben di Siena-Radicofani), su lineamenti tettonici regionali importanti, storicamente non è mai risultata area epicentrale di eventi sismici rilevanti di origine tettonica.

Tutte le valutazioni dello scrivente, su sua sollecitazione presso i Vertici del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale, furono confermate dal rapporto del gruppo di lavoro INGV “ Valutazioni sulla pericolosità vulcanica e sismica inducibile dallo sfruttamento dell'energia geotermica nei siti di Bagnoli, Campi Flegrei e Serrara Fontana “ del 2018 (Gdl Ingv 2018).

Tale rapporto è stato reso disponibile , solo a seguito del recente incidente nel pozzo geotermico Geogrid. Questo, che come detto, causava dispersione prolungata, per oltre 40 giorni, di fluidi geotermici con una colonna sostenuta di decine di metri di altezza, che rendeva necessario l'intervento delle autorità amministrative, ARPAC , INGV e Procura della Repubblica.

Tale progetto, di pozzo superficiale, nell'area meglio studiata e più monitorata al mondo, vantava la cooperazione tra le maggiori università e centri di ricerca campani, e per l'Ingv dello stesso dott. Giuseppe De Natale.

E' paradossale che, il dott. De Natale addebiti alla sfortunata coincidenza della presenza del bradisismo e della riclassificazione dei Campi Flegrei, a livello di allerta giallo, nonché, al terremoto di Casamicciola del 21 agosto del 2017, il fallimento dei due progetti di centrali

geotermiche pilota, delle quali era stato referente e sostenitore, anche in qualità di direttore dell'Osservatorio Vesuviano, commissariato nella carica solo nel 2016.

Non è chiaro, infatti, se si auspicasse una rapida approvazione delle centrali prima dell'eventuale passaggio al livello di allerta giallo dei Campi Flegrei e dell'eventuale accadimento di eventi sismici più violenti, ad Ischia.

Molto più ragionevolmente, sarebbe stato da ritenere inopportuno anche solo proporre progetti fortemente invasivi e dagli effetti non prevedibili in aree a rischio, quali i Campi Flegrei, Ischia o il Graben attivo di Siena-Radicofani.

In merito alla non meglio argomentata obiezione del dott. De Natale riguardo il significato del principio di precauzione, esso è adottato universalmente proprio in pratiche come gli interventi antropici su sistemi naturali, qualora non siano prevedibili in modo puntuale gli effetti di tali interventi.

Non è chiaro se le obiezioni sottintendano che, nell'applicazione di tale principio siano da considerare valutazioni di tipo costi/benefici.

Nel caso specifico di potenziali rischi, derivanti da induzione o innesco di terremoti a causa di attività realizzate da imprese private in territori fragili, i benefici sono tutti da dimostrare e i costi, a breve, medio e lungo termine, possono consistere in gravi perdite di vite umane e danni ai centri abitati e al patrimonio storico, artistico, archeologico, paesaggistico e culturale.

Pertanto, tali valutazioni, riguardando fra l'altro più regioni, dovrebbero ricadere, oltre che, sulle autorità amministrative locali, anche sulle autorità di governo e di Protezione Civile Nazionale.

Relativamente ai rischi connessi da attività geotermiche

Di seguito, il dott. De Natale conferma, ma sminuisce i rischi connessi all' induzione o innesco di sequenze sismiche e deformazioni del suolo, ritenendo tali problemi legati solo ad operazioni di iniezione e/o prelievo di massicce quantità di fluidi nel/dal sottosuolo.

Ma, non è chiaro, cosa intenda per massicce quantità, visto che l'impianto Val di Paglia, tra iniezioni ed estrazioni perturberebbe il sottosuolo con circa 32mila tonnellate di fluidi al giorno, e circa 12 milioni di tonnellate all'anno, in un sistema definito dal proponente, con una estensione superficiale di circa 27 chilometri quadrati.

Tali masse reiniettate ed estratte, in condizioni di inadeguata permeabilità e continuità idraulica del sistema, comporterebbero, in base alle correlazioni empiriche (NRC 2012) disponibili in letteratura, potenziali induzione di terremoto con magnitudo superiore al 4 grado Richter, già dopo qualche mese di esercizio .

L'accadimento di tali eventi, a profondità dell'ordine di qualche chilometro(nell'area di estrazione e reiniezione), potrebbe produrre effetti al suolo anche superiori al 6 grado MCS , a distanze dell'ordine di decine di chilometri (Atkinson 2020), critici anche per la sicurezza degli impianti.

A tale cospicua iniezione ed estrazione di massa, va aggiunta anche la sottrazione di una elevatissima quantità di energia termica, a un flusso enormemente più alto di quello naturale, con conseguenze meccaniche e termo fluido-dinamiche, non valutabili, data la natura complessa del sistema.

Come detto, a tali squilibri, vanno aggiunti gli effetti derivanti dalla generazione di stress critici di natura termo-elastica, riferiti in precedenza.

In merito alla sismicità indotta, va ricordato che, proprio il dott. De Natale nelle osservazioni da lui presentate, sul progetto di centrale geotermica denominato “ Bagnore 4 (De Natale G. 2012), localizzato nel medesimo distretto vulcanico, attraverso la modellistica numerica , dimostrava che, già l'estrazione di un flusso di 10 litri/s dal sottosuolo comportava condizioni critiche di depressione prossime ai limiti di induzione sismica.

Tale flusso, benché, indicato non convenzionalmente in litri/secondi, e non più correttamente in Kg/s , nel caso di acqua, corrisponde ad un flusso, circa quaranta volte inferiore, rispetto a quello previsto dal progetto Val di Paglia, tra estrazione e reiniezione. E ancora meno, se il calcolo del dott. De Natale (espresso genericamente in volume), fosse riferito a fluidi bifasici, o a fase gassosa, meno densi dell'acqua .

L'eruzione di pozzi è ampiamente documentata in tutti i contesti (Bolton et al 2009).

E' paradossale che, proprio il dott. De Natale ritenga che il problema sia risolvibile semplicemente con le buone pratiche, quando si consideri il recente caso dell'eruzione prolungata del pozzo geotermico superficiale Geogrid a Pozzuoli, definito nel comunicato dell'Unione Geotermica Italiana (UGI 2020), come un incidente dovuto a cattiva pratica.

Sull'argomento, valgono comunque le osservazioni già riportate nei capitoli precedenti, riguardo l'opportunità che, nella valutazione del progetto sia tenuti in debito conto le possibili gravi conseguenze di rischi non quantificabili, in termini di probabilità di incidenti agli impianti per cedimenti meccanici strutturali o nelle procedure operative.

Per quanto riguarda i rischi di dispersione di fluidi geotermici nelle falde idropotabili, e quindi nei suoli e in atmosfera, valgono le osservazioni aggiuntive ai paragrafi precedenti, in merito allo scarso livello di conoscenza del sottosuolo. Più specificamente , riguardo le evidenze geologiche generali sulla probabile discontinuità e disomogeneità delle diverse unità stratigrafiche attraversate, e del complesso assetto tettonico-strutturale e vulcano-tettonico dell'area, rendono totalmente imprevedibile la circolazione dei fluidi geotermici nel sottosuolo. Così come, la loro possibile dispersione nel falde e in atmosfera (Vignaroli et al 2013).

Questo, indipendentemente dalle presunte garanzie addotte dal proponente sul sistema binario.

Come detto, fra le maggior criticità è l'assunzione circa la netta separazione tra i diversi acquiferi, che non essendo mai stata dimostrata in modo incontrovertibile, vanifica tutti i presupposti del progetto.

In merito al dibattito scientifico aperto, circa la rilevanza del collegamento tra falde idriche di diversi serbatoi geotermici con le falde idropotabili, è anche opportuno richiamare le criticità esposte proprio dal dott De Natale nelle osservazioni presentate sul progetto di impianto geotermico denominato “ Bagnore 4”, di seguito riportate in stralcio: “...*Riguardo al punto 2, due anni attività del CTGA non sono riusciti ad escludere del tutto la possibilità di un collegamento delle due falde... Sebbene dunque l'ipotesi di interazione tra le due falde sia ben lungi dall'essere dimostrata, per gli stessi motivi, ossia l'assoluta carenza di dati, non può essere completamente esclusa... Alla presente relazione è anche allegata, a scopo illustrativo di dettaglio, la relazione scientifica da me consegnata nell'ambito del CTGA, che dimostra che le evidenze addotte da ENEL per scartare l'ipotesi di comunicazione tra la falda geotermica e la falda acquifera superficiale non siano probanti in senso assoluto, e quindi tale ipotesi, sebbene non possa essere provata per mancanza di dati (dati che, per inciso, avrebbero dovuto*

essere rilevati da ENEL nell'arco dei vari decenni di attività geotermica), non può essere neanche scartata. In particolare, la mia relazione in oggetto mostra che la principale evidenza addotta da ENEL per dimostrare l'assenza di interconnessione tra le due falde, ossia l'andamento dei profili termici in vari pozzi, non è assolutamente probante in quanto compatibile anche con l'ipotesi opposta, ossia dell'esistenza di tale interconnessione...".

"... Per quanto riguarda il quadro attuale, ed in particolare il problema dell'impatto della geotermia sui sistemi acquiferi, sono a mio avviso necessarie una serie di misure ed analisi che possano fornire informazioni dirette riguardo l'effetto dell'emungimento sui sistemi acquiferi.... Oltre ai dati isotopici, la strada più interessante per provare ad arrivare a conclusioni significative è quella di riconsiderare i dati di sismicità indotta. Tali dati sono sicuramente in possesso di ENEL, e, con opportune analisi, possono dire molto sugli effetti dell'emungimento riguardo alla possibile fratturazione degli strati impermeabili con conseguente mixing degli acquiferi dei diversi livelli... le variazioni di sforzo causate dall'emungimento geotermico produrrebbero eventi sismici che, fratturando l'intercapedine impermeabile, creerebbero delle zone di interconnessione tra gli acquiferi precedentemente separati...

"...Come già accennato nel paragrafo precedente, l'idea che si vuole qui esplorare è la possibilità che vi sia un certo grado di interconnessione tra la falda superficiale e gli acquiferi geotermici, coerente con le misure di temperatura-profondità rilevate da ENEL in vari punti del sistema... l'emungimento per la produzione geotermica, variando in maniera sensibile lo stato di sforzo delle rocce sovrastanti il serbatoio, può indurre sismicità e quindi propagazione di fratture che possono mettere in connessione gli acquiferi geotermici con quelli superficiali. Risulta dimostrato, quindi, pur con tutte le cautele sulle interpretazioni specifiche dovute alla massima semplificazione concettuale, che le perturbazioni indotte da un emungimento, anche modestissimo (nel presente caso di soli 10 l/s) provocano, in un decennio, variazioni di sforzo assolutamente considerevoli e capaci, in associazione con il carico tettonico pre-esistente, di favorire terremoti. La ricorrenza di terremoti indotti dall'emungimento, ovviamente, implicano la fratturazione degli strati sovrastanti il serbatoio geotermico, rendendo verosimile la creazione, nel tempo, di sistemi di fratture interconnesse che mettono in comunicazione, attraverso canali di alta permeabilità, gli acquiferi superficiali e quelli profondi. In questo caso, tali connessioni non sono pre-esistenti allo sfruttamento geotermico, nel qual caso avrebbero causato, nel lungo periodo, il mescolamento completo degli acquiferi, bensì daterebbero dall'inizio dell'emungimento (sviluppandosi ed ampliandosi ovviamente col tempo), ossia da alcune decine di anni... Dalle simulazioni effettuate risultano alcune osservazioni interessanti, che meritano di essere considerate nel prosieguo della ricerca sul possibile mixing dei fluidi superficiali e profondi del sistema Amiata. La prima osservazione interessante è che, nei primi dieci anni circa di interconnessione tra i due serbatoi, la migrazione di fluidi avviene prevalentemente dal serbatoio profondo a quello superficiale. Questo sembra essere dovuto principalmente a due motivi: la maggiore pressione del serbatoio profondo, dato il maggior battente idraulico in un sistema in equilibrio idrostatico; e la maggiore temperatura, quindi minore densità, del fluido profondo, con conseguente effetto di 'galleggiamento'. Per tempi maggiori, l'effetto dominante diviene l'immissione di acqua dal serbatoio più superficiale in quello profondo, poiché diventa sempre più importante l'effetto di diminuzione di pressione nel serbatoio profondo dovuta al continuo svuotamento.

Questa osservazione è importante anche alla luce di alcune affermazioni qualitative, riportate in alcune delle relazioni sull'Amiata analizzate, in cui si afferma che non è possibile, in assoluto, che ci sia interconnessione tra i due acquiferi in entrambi i sensi, e quindi il progressivo svuotamento del serbatoio superficiale non sarebbe compatibile con una contaminazione dello stesso da parte del serbatoio profondo. In realtà, come dimostra la sia pur semplice schematizzazione del problema analizzato, la presenza di un'interconnessione tra i due sistemi superficiale e profondo genera una situazione complessa di mixing che non è semplicemente descrivibile in base a considerazioni qualitative elementari. Un altro risultato importante delle simulazioni riguarda i profili di temperatura in funzione della profondità (fig.2c), che, a partire da una distanza di soli 200 metri dal canale di interconnessione, risultano praticamente immutate rispetto alla situazione di partenza, anche dopo 40 o 100 anni. Questo risultato evidenzia la possibilità, già citata in maniera qualitativa nel paragrafo precedente ma qui dimostrata quantitativamente, che possa esistere una interconnessione tra gli acquiferi superficiale e profondo, provocata dallo sfruttamento geotermico, anche in presenza di profili di temperatura quali quelli mostrati da ENEL, che rappresentano ancora lo stato termico di equilibrio preesistente”.

Relativamente al punto considerazioni su deformazioni del suolo e sismicità indotta

La risposta del dott. De Natale non apporta riscontri utili alle precedenti osservazioni, e per lo più, affronta più vagamente tematiche riguardo le quali si rinvia alle osservazioni aggiuntive, riportate nei paragrafi precedenti.

In merito alle considerazioni del dott. De Natale sull'induzione e innesco sismico da attività produttive, si rinvia alle considerazioni che egli stesso ha espresso in merito al progetto Bagnore 4, riportati in stralcio al punto precedente.

Circa le rassicurazioni riguardo la trascurabilità di processi di induzione e innesco sismico, se non in caso di utilizzo di tecnologie EGS, che iniettano fluidi ad alta pressione nel sottosuolo, si evidenzia che, proprio nella pubblicazione di Schiavone et al 2020, della quale lo stesso De Natale è coautore, si modella la reiniezione e la reiniezione totale entrambe non EGS.

Nella modellistica sviluppata, si evidenzia che, comunque nei casi di reiniezione, già per valori di flusso moderati (tra 64 e 96 Kg/s), molto inferiore a quello adottato nel progetto Val di Paglia, si manifestano sovrappressioni e induzione sismica nel sistema geotermico.

La simulazione mostra come sia nella reiniezione semplice (non EGS!), che in quella totale (non EGS!), si manifestino terremoti di magnitudo compresa tra circa $M=1$ ed $M=4.8$, in funzione dei valori di permeabilità adottati.

In merito alle differenze tra reiniezione e reiniezione totale, si rinvia alle osservazioni aggiuntive riportate al paragrafo precedente.

Circa il concetto di reiniezione totale, è evidente che tale processo non può essere deciso dagli operatori, come si vorrebbe far ritenere, ma deve essere sostenibile dal sistema geotermico.

Non si può imporre al sistema di assumere favorevoli proprietà di doppia porosità, se non proprio con tecniche EGS.

Il dott. De Natale, in contrasto, con tutti i presupposti progettuali, dichiara che, verosimilmente il sistema geotermico del progetto Val di Paglia dovrebbe essere ad alta permeabilità.

Con questa valutazione del tutto ipotetica, si rivela l'aspetto più debole dell'intero progetto, e della attendibilità della simulazione numerica, che sarebbe solo verosimile.

In relazione al rischio da sismicità innescata, il dott. De Natale rileva che, nell'ipotesi più ottimistica di funzionamento della reiniezione totale, la variazione di sforzo generata nei pozzi di estrazione e reiniezione, resterebbe confinata entro un raggio dai punti di applicazione pari alla profondità del pozzo.

A tale proposito, va osservato come perturbazioni, che si propagano a profondità di circa 3 chilometri dalla superficie, con probabilità non trascurabile, potrebbero sollecitare i sistemi di faglie attive più superficiali, che sono responsabili di una parte della sismicità naturale dell'area (localizzati intorno ai 4 Km).

Per le gravi criticità documentate nelle presenti osservazioni integrative, nonché delle precedenti osservazioni del 12/01/2020, e in ottemperanza al principio di precauzione, nonché, per le ovvie considerazioni di natura geotetica, si ritiene che il progetto "Val di Paglia debba essere valutato negativamente.

Questo date le problematiche del rischio, e a tutela della incolumità delle comunità locali, anche per il dovuto confronto con gli analoghi progetti rigettati, denominati "Scarfoglio" e "Serrara Fontana".

Napoli, 30 dicembre 2020

Giuseppe Mastrolorenzo

Bibliografia

Acocella, V, Rossetti, F, 2002, The role of extensional tectonics at different crustal levels on granite ascent and emplacement : an example from Tuscany (Italy), Tectonophysics 354, 71,-83

Acocella V, Funicello, R, 2006. Transverse systems along the extensional Tyrrhenian margin of central Italy and their influence on volcanism. Tectonics 25, TC2003, <http://dx.doi.org/10.1029/2005TC001845>

Acocella V., D.M Palladino, R Cioni, P. Russo, and Simei, Caldera structure, amount of collapse, and erupted volumes: The case of Bolsena caldera, Italy, GSA Bulletin, September/October 2002;v.124;no.9/10;p.1562-1576

Axtmann RC Environmental of Geothermal Power Plant, SCIENZE, 7 March 1975, 5-R.S

Ake, J.,K. Mahrer, D. O' Connell, L.Block (2005). Deep-injection and closely monitored induced seismicity at Paradox Valley, Colorado, Bull. Seismological. Soc. Amer., 95,664-683, doi:10.1785/0120040072

Atkinson G.M., The intensity of ground motions from induced earthquakes with implications for damage potential -Bulletin of the Seismological Society of America, Select Issue, October 2020-Volume 100, Numero 5

Bolton, T.M. Hunt, T.R. King, Geoffrey E.K. Thompos: Dramatic incidents during drilling at Wairakei Geothermal Field, New Zealand, Geothermics 38 (2009) 40-47
Volume187, Number 4179

Borgia A. relazione tecnica, Comune di Castel Giorgio - prot n000629 del 10/11/2020

Bulletin of the Seismological Society of America, Select Issue, October 2020-Volume 100, Numero 5

Buttinelli, L.Improta, S. Bagh, C. Chiarabba, Inversion of inherited thrusts by wastewater injection induced seismicity at the Val d'Agri oilfield (Italy), Scientific Reports , 6:37165; doi 10.1038/srep37165, November 2016

Castagnolo D. F.S. Gaeta, G. De Natale, F. Peluso, G. Mastrolorenzo, C. Troise, F. Pingue, D.G. Mita, Campi Flegrei unrest episodes and possible evolution toward critical phenomena , Journal of Volcanology and Geothermal Research 109 (2001) 13-40

Davies R.J, M. Brumm, M. Manga, R. Rubiandini, R. Swarbrick, M. Tingay: The East Java mud volcano (2006 to present). An earthquake or drilling trigger?, Earth and Planetary Science Letters 272 (2008) 627-638

De Natale G, Osservazioni alla Regione Toscana del 14/5/2012, impianto Bagnore 4

Gaeta F.S, G. De Natale, F.Peluso, G. Mastrolorenzo, D. Castagnolo, C. Troise, F.Pingue, D.G. Mita, S. Rossano: Genesis and evolution of unrest episodes at Campi Flegrei caldera: The role of thermal fluid-dynamical processes in the geothermal system, Journal of Geophysical Research, Vol. 103, N0. B9, pages 20,921-20,933, September 1998.

Grasso, J.,R (1992). Mechanics of seismic instabilities induced by the recovery of hydrocarbons, Pure Appl. Geophys., 139 (3-4), 507-534

Graded progetto- Geogrid “–Tecnologie e sistemi innovativi per l'utilizzo sostenibile dell'energia geotermica, nell'ambito del progetto POR FESR 2014-2020, decreto autorizzativo

Dirigenziale n 335 del 5/10/2018 nell'ambito della convenzione tra la Regione Campania e la Smart-Power system-distretto ad alta tecnologia in Campania Scarl

Hansell L C.J Horwell, C. Oppenheimer: The health hazards of volcanoes and geothermal areas, Occup. Environ.Med.2006;63;149-156, doi:10.1136/oem.2005.022459

Ichese Report on the hydrocarbon exploration exploration and seismicity in Emilia Region (2014)

Ingv – Gruppo di lavoro INGV “ Perforazioni Geotermiche”, valutazioni sulla pericolosità vulcanica e sismica inducibile dallo sfruttamento dell'energia geotermica nei siti di Bagnoli, Scarfoglio (Campi Flegrei) e Serrara Fontana (Isola d'Ischia)-nomina prot. N 0000442 del 16/1/2018

Keranen, K.M., H.M. Savage, G.A. Abers, E.S. Cochran (2013): Potentially induced earthquakes in Oklahoma, USA: Links between wastewater injection and the 2011 Mw 5.7 earthquakes sequence, Geology,doi:10.1130/G34045.1

Lowell P. Van Cappellen, N Germanovich, Silica Precipitation in fractures and the evolution of permeability in hydrothermal upflow zones, Science-vol-206 9 aprile 1993

Mastrolorenzo G. prot DVA 2015 00117603 del 6/7/2015, Osservazioni sul progetto Scarfoglio, procedura 30/14 per nullaosta

Mastrolorenzo G. prot. DVA 2015 0021073 del giorno 11/8/2015, Osservazioni circa il rischio connesso al progetto geotermico pilota denominato Serrara Fontana

Mastrolorenzo G. Registro Ufficiale I.0000720 del 15/1/2018, Osservazione per valutazioni VIA impianto geotermico pilota “Serrara Fontana” nel Comune di Serrara Fontana sull'isola di Ischia

Mattm- Parere Via-Vas n 2707 del 20/4/2018, ID VIP 3033

Majer E. R. Baria, M. Stark, S. Oates, J. Bommer, B. Smith, H. Asanuma: Induced seismicityAssociated with Enhanced Geothermal Systems, Geothermics 36 (2007)185-222

McGarr, A. (1991).On a possible connection between there major earthquakes in California and oil production. Bull. Seismol. Soc. Amer, 81(3): 948-970

Neri G. (2012) – Carenze delle mappe di pericolosità sismica dai cataloghi strumentali e storici: il caso della mappa di pericolosità italiana MPSO4 , Geitalia n 39

Palgunadi K., A. Gabriel, T. Ulrich, J-Comino and P.Mai. Dynamic fault interaction during a fluid –injection- induced Earthquake: The 2017Mw 5.5. Pohang Event. Bullet of Seismological Society of America, Select Issue, October 2020-Volume 100, Numero 5

Press, K, Narasimhan, TN, 1985, A practical method for modeling fluid and heat flow in fractured porous media. In: Proceedings SPE Symposium on Reservoir Simulation, New Orleans, L.A. <https://doi.org/10.2118/10509->

Ries R. Michael R. Brundizinski, Robert J Skoumal Braian S. Currie- Factors influencing the probability of hydraulic fracturing-induced seismicity in Oklahoma-Bulletin of the Seismological Society of America, Select Issue, October 2020-Volume 100, Numero 5

Roger P. Denlinger; Daniel R.H O' Connell , Evolution of faulting induced by deep fluid injection, Paradox Valley, Colorado - Bulletin of the Seismological Society of America, Select Issue, October 2020-Volume 100, Numero 5

Schiavone R, De Natale G, Borgia A, Troise C, Moretti R, Somma R, Seismogenic potential of withdrawal-reinjection cycles : Numerical modeling and implication on induced seismicity, Geothermal, [doi.org/10.10616/j Geothermics 2020-101770](https://doi.org/10.10616/j_Geothermics_2020-101770)

Sibson R.H (1990), Rupture nucleation on unfavorably oriented faults, Bull. Seismol. Soc. Am, 80,1580-1604

Staein, R Geller, M Liu (2012)-Why earthquake hazard maps often fail and what do about it Tectonophysics 562-563, 1-25

Szafranski D and B. Duan, Exploring physical links between fluid injection and nearby earthquakes: the 2012 mw 4.8 Timpson, Texas, Case Study Bulletin of the Seismological Society of America, Select Issue, October 2020-Volume 100, Numero 5

Taira T.P G. Silver, F Niu and R. M Nadeau (2009) Remote triggering of fault-strenght changes on the San Andrea fault at Parkfield, Nature , 461 (7264), 636-9 doi 10.1038/nature 08395

Unione Geotermica Italiana, comunicato stampa del 14 luglio 2020

Van der Elst N.J Savagese H.M Keranen K. M Albers G.A(2013) Enhanced Remote Earthquake Triggering at fluid-injection Sites in the Midwestern United States, Science, 341:164-167

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

Vittori E, G. Deiana, E. Esposito, L. Ferreli, L. Marchegiani, G. Mastrolorenzo, AM. Michetti, S. Porfido, L. Serva , A.L Simonelli . E. Tondi., Ground effects and surface faulting in the September-October 1997 Umbria – Marche (Central Italy) seismic sequence, Jurnal of Geodynamics 29 (2000) 535-564

R. Wang, M . Weingarten, C. Langenbruch, H.DeShon, Introduction to the special section on observations, mechanisms, and hazards of Induced seismicity
Bulet of Seismological Society of America, Select Issue, October 2020-Volume 100, Numero 5

