



il Direttore

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Istituto Nazionale di Geofisica e
Vulcanologia AOO INGV Protocollo
Generale –U N. 0006939 del 17/06/2020

Al Dipartimento della Protezione Civile

c. a. Capo Dipartimento

dott. Angelo Borrelli

c.a. Dott. Fausto Guzzetti

protezionecivile@pec.governo.it

Alla Giunta Regionale della Campania

Direzione Generale Lavori Pubblici e
Protezione Civile

c. a. Dott. Italo Giulivo

dg.501800@pec.regione.campania.it

Unità Operativa Dirigenziale 02

c.a. Dott. Gaetano Sammartino

c.a. Arch. Michele Granatiero

Al Sindaco di Pozzuoli

Dott. Vincenzo Figliolia

e. p.c.

Al Presidente dell'INGV

Prof. Carlo Doglioni

Ai Direttori di Dipartimento dell'INGV

Oggetto: Perforazioni per pozzo Geotermico area Campi Flegrei - progetto Geogrid

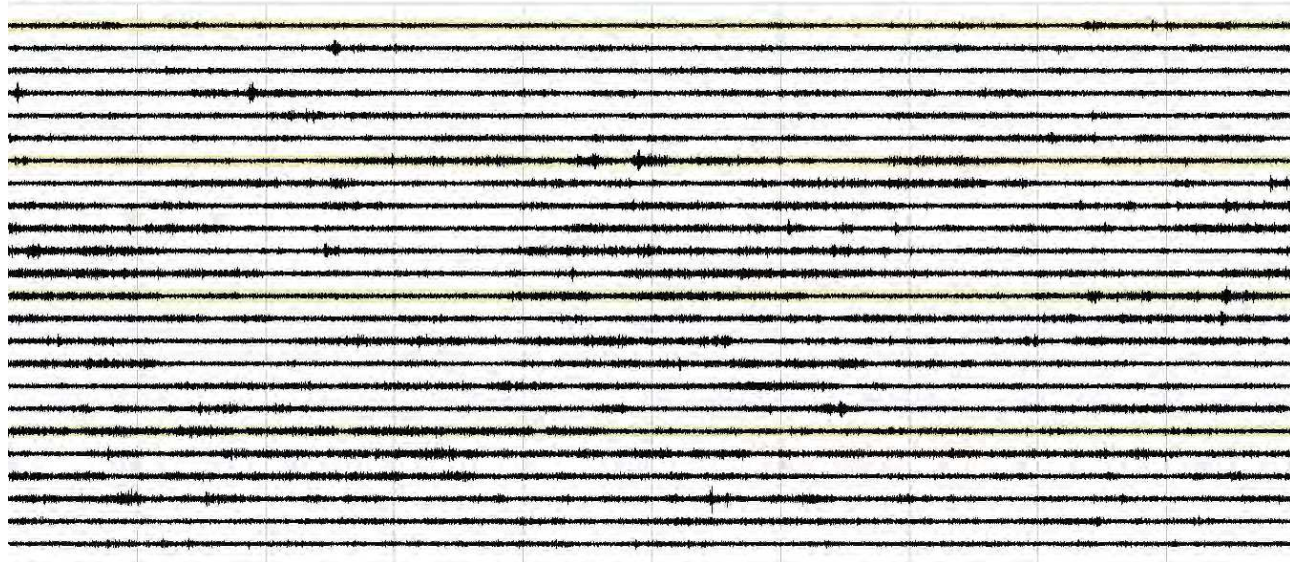
A partire dalle ore 13:00 UTC del giorno 08.06.2020 da alcune stazioni della Rete Sismica di Monitoraggio installate nell'area dei Campi Flegrei sono stati registrati dei segnali anomali (ma di chiara origine non naturale) riconoscibili sui tracciati fino alle ore 15:50 UTC del giorno 08.06.2020 per poi riprendere alle ore 05:55 UTC del giorno 09.06.2020 e, con brevi pause, fino alle ore 13:10 UTC dello stesso giorno (Figg. 1 & 2)

Le stazioni che maggiormente hanno rilevato i segnali sono state STH - Tennis Hotel (in località Pisciarelli) e CSOB (bordo orientale della Solfatara) (Fig.3).



il Direttore

STH V w 20/06/08 12:00 GAIN 129



CSOB BRZ 20/06/08 12:00 GAIN 1024

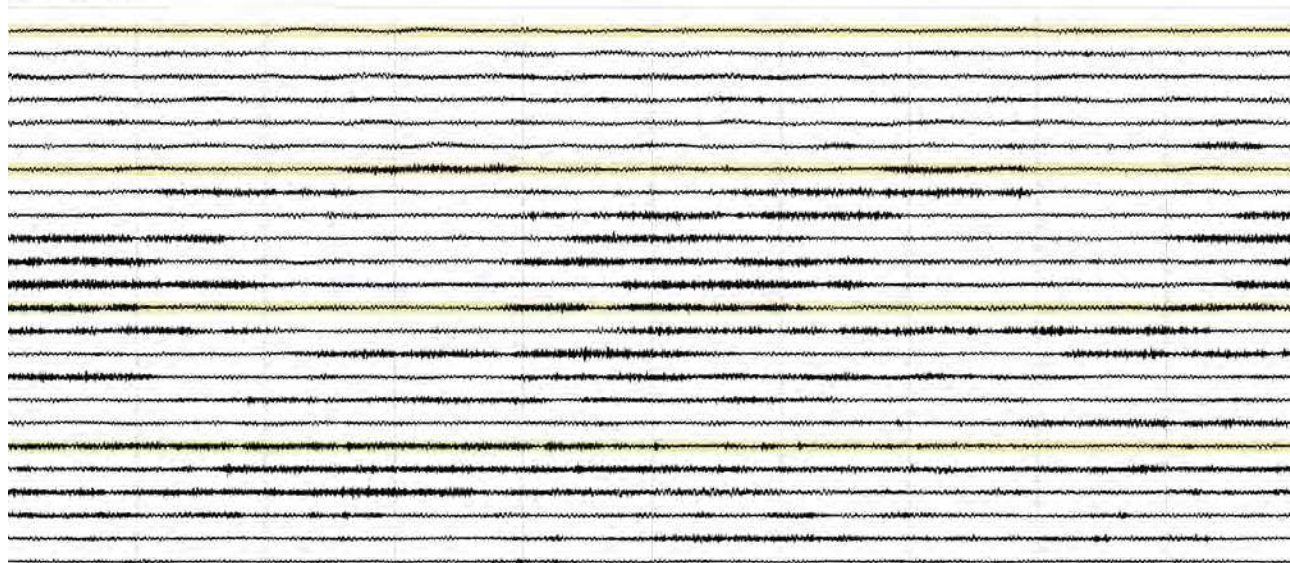
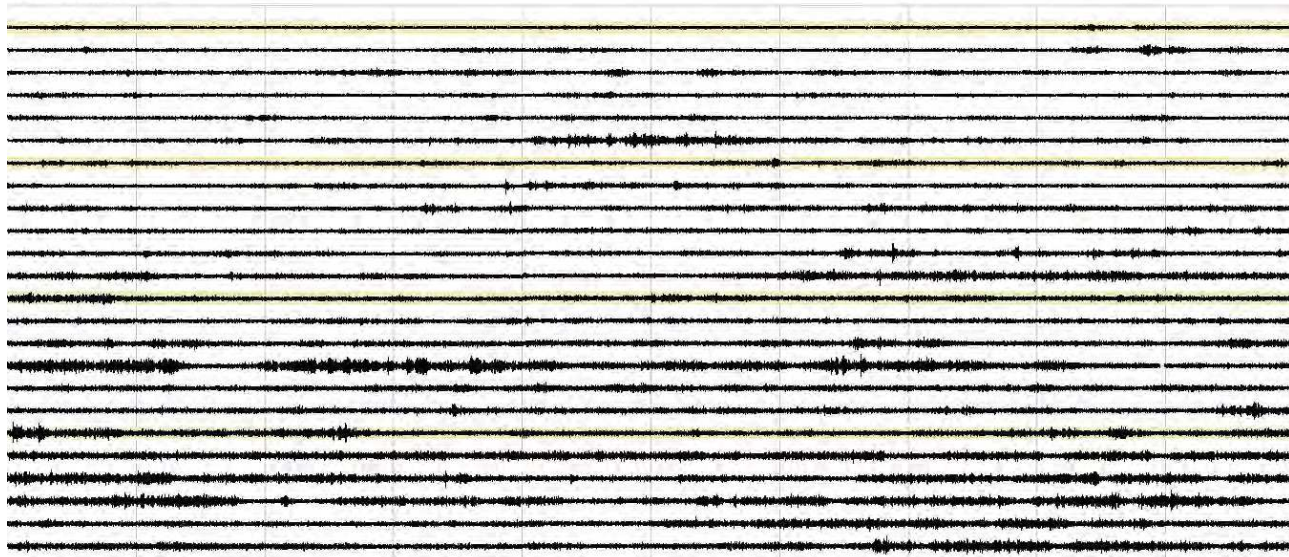


Fig.1: segnali sismici registrati dalle stazioni sismiche STH e CSOB relativi alla finestra oraria 12:00-16:00 UTC del giorno 08.06.2020.

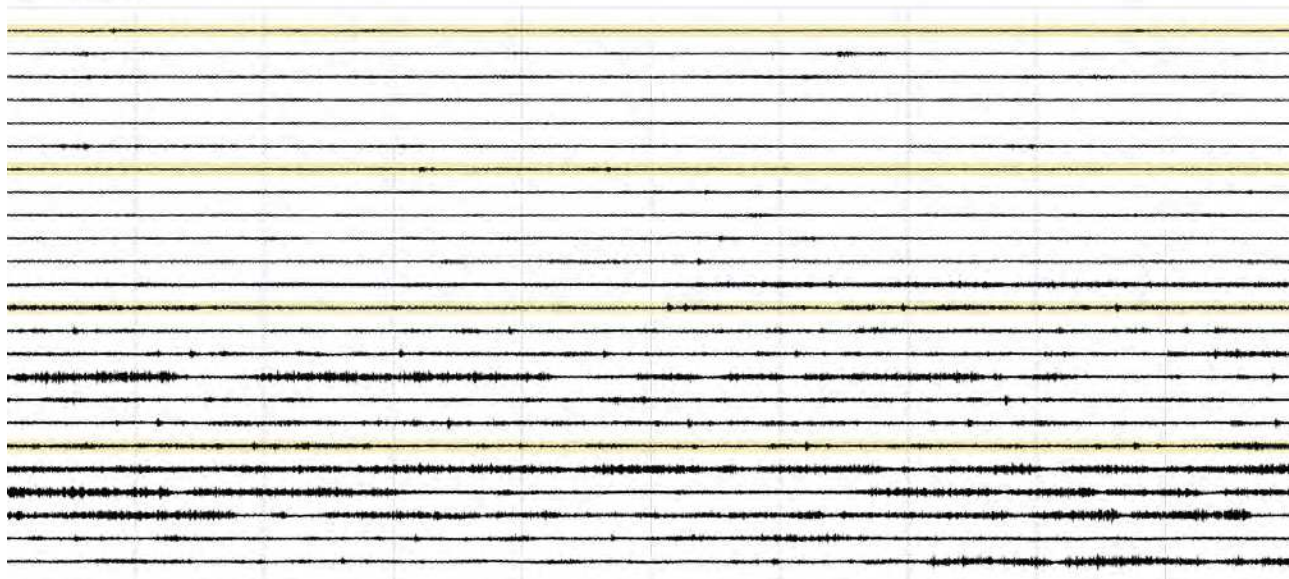


il Direttore

STH V w20/06/09 04:00 GAIN 129



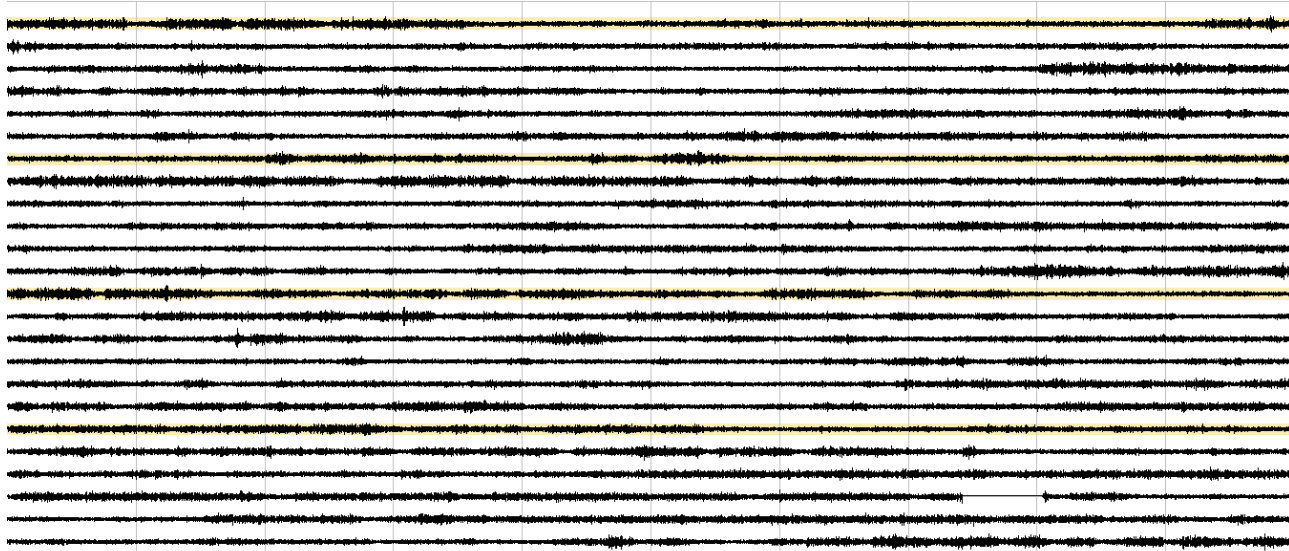
CSOB HRZ 20/06/09 04:00 GAIN 1024



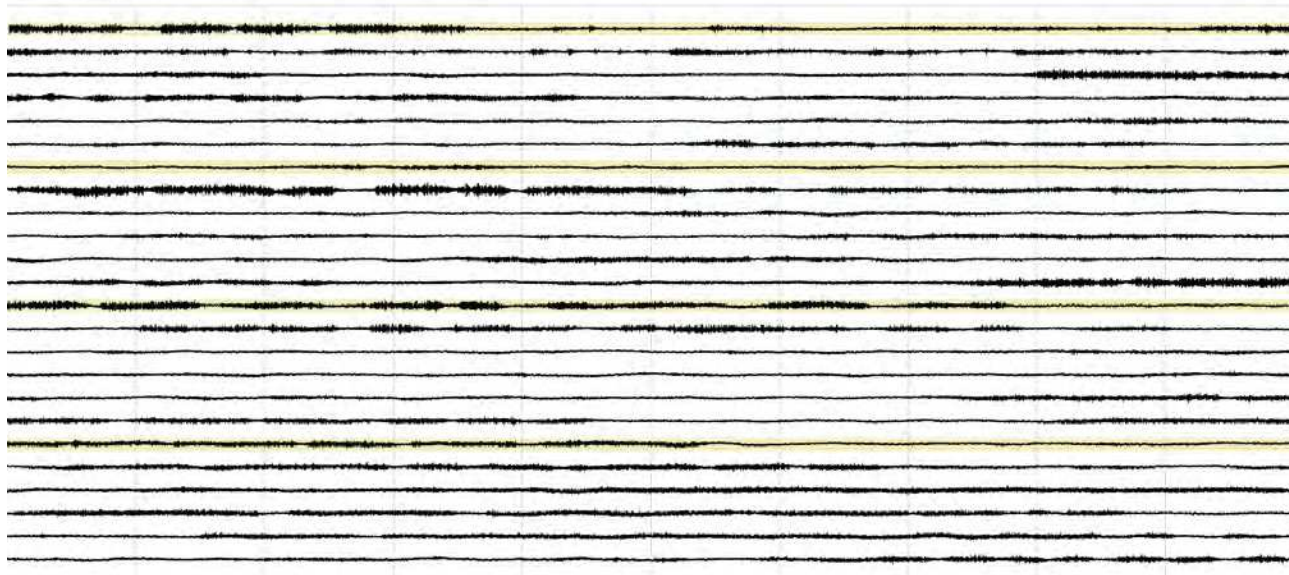


il Direttore

STH V w 20/06/09 08:00 GAIN 128



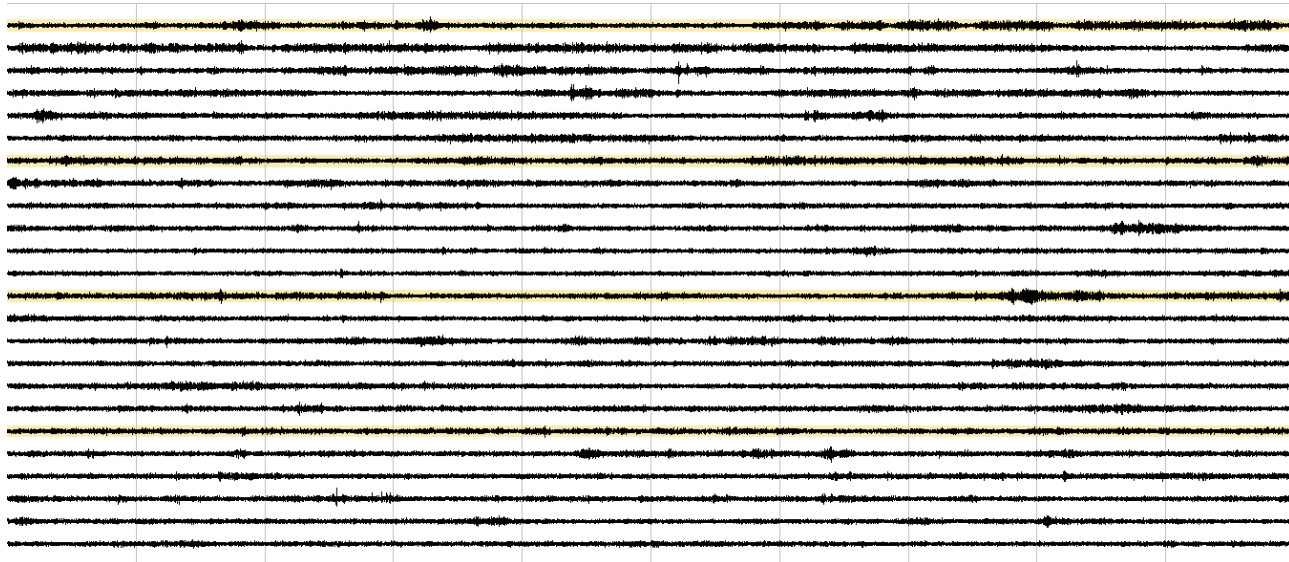
CSOB BRZ 20/06/09 08:00 GAIN 1024





il Direttore

STH V w 20/06/09 12:00 GAIN 128



CSOB HRZ 20/06/09 12:00 GAIN 1024

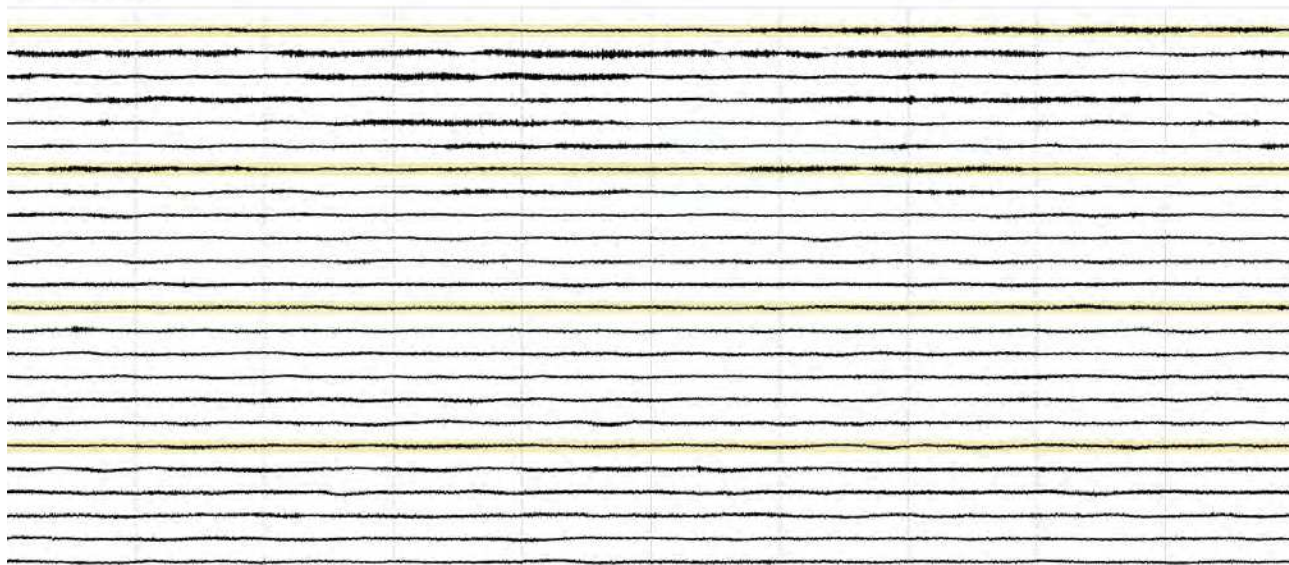


Fig.2: segnali sismici registrati dalle stazioni sismiche STH e CSOB relativi alla finestra oraria 04:00-08:00 UTC, 08:00-12:00 UTC e 12:00-16:00 del giorno 09.06.2020

Il segnale anomalo ha determinato un aumento dell'ampiezza del rumore registrato alle stazioni sismiche di almeno 3 volte rispetto il normale rumore di fondo, determinando potenzialmente l'impossibilità di individuare eventuali segnali sismici di energia più bassa o il manifestarsi di eventi a bassa frequenza.

Nella tarda serata dell'8 giugno scorso la nostra Sala di Monitoraggio ha ricevuto segnalazioni di anomale emissioni fumaroliche provenienti da un'area a qualche centinaia di metri da Pisciarelli. E' stato pertanto predisposto un intervento del



il Direttore

reperibile geochimico/vulcanologo che è stato effettuato la mattina del giorno seguente, 9 giugno 2020. Di seguito le risultanze principali di tale sopralluogo:

- si confermava la presenza di un'anomala emissione fumarolica nell'area oggetto della segnalazione;
- in Via Antiniana n. 34 (Comune di Pozzuoli) erano in corso attività di perforazione finalizzate alla realizzazione di un pozzo geotermico;
- dette attività venivano espletate nell'ambito del progetto GEOGRID cui partecipano anche alcuni ricercatori e tecnici dell'OV-INGV.
- nell'area del cantiere si individuava un pozzo preesistente, perforato diversi anni fa, con caratteristiche di emissione profondamente differenti.



Fig.3: mappa con la collocazione: dell'area interessata dalla perforazione (individuata dalla posizione della x bianca), delle stazioni sismiche CSOB e STH interessate dal disturbo indotto dalla perforazione, della Solfatara (ellissi rossa) e Pisciarelli (ellissi gialla)

Veniva dunque appurato che il segnale sismico anomalo registrato era stato generato dalle attività di perforazione del suolo.

L'Istituto non era stato informato né della data di inizio delle attività di perforazione e tantomeno dell'area precisa dove questa veniva effettuata.

Le attività di perforazione sembrerebbero far capo alla società GRADED <https://graded.it>

L'area interessata dallo scavo è molto visibile in quanto trafficata ed urbanizzata; in poco tempo la notizia della perforazione si è diffusa e con essa la forte preoccupazione della popolazione.

Il 10 giugno, il Sindaco di Pozzuoli Figliolia, in base al principio di precauzione, sospendeva le attività del cantiere.



il Direttore

Al momento della scrittura di questa relazione, le attività di perforazione sono ancora sospese.

La perforazione ha creato una nuova emissione di fluidi con un getto fumarolico alto qualche decina di metri che si estende verso la conca di Agnano.

Cittadini spaventati ci informavano che il neonato flusso fumarolico non accennava a diminuire pertanto, il giorno 11.06.2020, con nota protocollata n. 6603 indirizzata al Sindaco di Pozzuoli, si comunicava la necessità di accedere al cantiere Geogrid allo scopo di effettuare misure urgenti sull'emissione fumarolica per caratterizzarne o scongiurarne la potenziale pericolosità (All.1).

Pertanto il giorno 12.06.2020 la squadra operativa di geochimici dell'OV-INGV si recava sul cantiere per effettuare le misure, ma veniva loro impedito l'accesso da parte dei rappresentanti del Progetto Geogrid presenti sul luogo.

Il giorno 13.06.2020, accompagnati dalla Polizia Municipale del Comune di Pozzuoli e alla presenza del Sindaco di Pozzuoli dott. Vincenzo Figliolia, squadre operative vulcanologiche e geochimiche dell'OV-INGV hanno finalmente avuto accesso al cantiere ed hanno potuto effettuare un sopralluogo nonché diversi campionamenti dell'emissioni fluide. Anche una squadra operativa sismologica ha operato per effettuare il potenziamento della rete sismica che insiste nell'area.

Indagini Geochimiche

Le indagini geochimiche hanno riguardato il campionamento dei fluidi emessi dalla perforazione e da un pozzo preesistente che è situato a circa 30 metri di distanza dal nuovo foro e già, nel passato, investigato dall'Istituto.

Dalla perforazione eseguita nei giorni scorsi si origina una sostenuta emissione di fluidi, che inizialmente a giudicare dal materiale video disponibile, sembrava essere alimentata da un vapore surriscaldato (i.e. con temperatura maggiore di 100°C), mentre al momento del campionamento la temperatura misurata all'emissione era di 97.8 °C (Fig. 4).



Fig. 4: Immagine dell'emissione di fluidi relativa all' 11 giugno (a sinistra), si noti la trasparenza del vapore al bocca pozzo, che suggerisce una temperatura di emissione >100 °C. A destra immagine del 13 giugno, si noti la condensazione del vapore, la temperatura misurata è di 97.8 °C.

Da quanto affermato dal Responsabile del cantiere, presente durante l'intervento, la perforazione ha raggiunto la profondità di 88 metri prima dell'interruzione delle attività. L'emissione di vapore si è verificata già a bassa profondità (circa 5-8 metri). Il foro non è stato condizionato e non è presente nessun dispositivo per arrestare la fuoriuscita dei fluidi.

Le attività della squadra operativa geochemica hanno riguardato il prelievo di campioni di gas e vapore condensato dalla nuova emissione, il campionamento e misure fisico-chimiche delle acque del pozzo adiacente, il prelievo del particolato emesso dal foro trasportato dal vapore e depositatosi diffusamente nel piazzale e nelle aree adiacenti (Fig. 5). Il campionamento del particolato che era stato effettuato (al di fuori del cantiere) anche nei giorni 11 e 12 giugno.

Dalla nuova emissione sono stati prelevati quattro campioni di gas totale (campioni a soda), due aliquote di gas secco e di vapore condensato. È da mettere in evidenza che durante le operazioni di campionamento, si avvertiva distintamente l'emissione periodica, con cicli di 5-10 minuti, di una fase liquida che ricadeva sugli operatori sottostanti.



Fig. 5: Campionamento dei fluidi emessi dalla perforazione (a sinistra); misure effettuate nel pozzo preesistente (al centro), particolato depositatosi sulle auto in sosta nel piazzale (a destra)

I campioni sono stati analizzati presso il Laboratorio di Geochimica dei Fluidi dell'Osservatorio Vesuviano, per quanto riguarda i gas e le acque, utilizzando metodologie analitiche impiegate nella routine di monitoraggio geochimico dei vulcani campani e riportate in lavori pubblicati, a cui per brevità si fa riferimento (Caliro et al., 2007; Caliro et al., 2008). I campioni di particolato sono stati trattati con acqua ultrapura (18.2 MOhm) per solubilizzare eventuali sali, le soluzioni sono state



il Direttore

analizzate in cromatografia ionica per la determinazione delle concentrazioni degli analiti espresse in mg per grammo di particolato.

Risultati

Composizione dei gas

I gas analizzati mostrano una composizione tipica idrotermale, simile a quella dei fluidi emessi dalle fumarole presenti in area Pisciarelli – Solfatara, con H₂O e CO₂ come componenti maggiori, seguiti da H₂S, N₂, H₂, CH₄, He, Ar and CO (Tabella 1). I gas non mostrano la presenza di apprezzabili quantità di componenti acidi di ambiente “vulcanico” (SO₂, HCl e HF). Anche la composizione isotopica del carbonio della CO₂ analizzata ($\delta^{13}\text{C}$ -1.2 ‰) è nel range delle emissioni fumaroliche presenti nell’area Pisciarelli – Solfatara, indicando un’origine comune.

La composizione dei gas non reattivi N₂, He, Ar (Figura 3), suggerisce un’origine dei fluidi come dovuta alla miscela di due componenti, uno con composizione simile ai fluidi idrotermali emessi dalle fumarole della Solfatara-Pisciarelli e l’altro ricco in gas atmosferici che potrebbe essere rappresentato da acque di falda. Nel grafico di Figura 6 è possibile visualizzare questo processo di mixing, i campioni analizzati mostrano sensibili variazioni composizionali, nonostante siano stati prelevati in un breve lasso di tempo (< 1 ora), suggerendo una dinamica veloce del processo di mixing.

La composizione chimica del vapore condensato mostra elevati contenuti di Solfato (SO₄ ~ 180 mg/l), Cloruro (Cl ~330 mg/l) e di Sodio (Na ~ 260 mg/l), contenuti non compatibili con un vapore puro alle condizioni di temperatura-pressione dell’emissione. Questo suggerisce l’input di una fase liquida, plausibilmente un’acqua di falda caratterizzata da una elevata salinità, richiamata verso il foro dalla depressione creata dal flusso stesso dell’emissione.

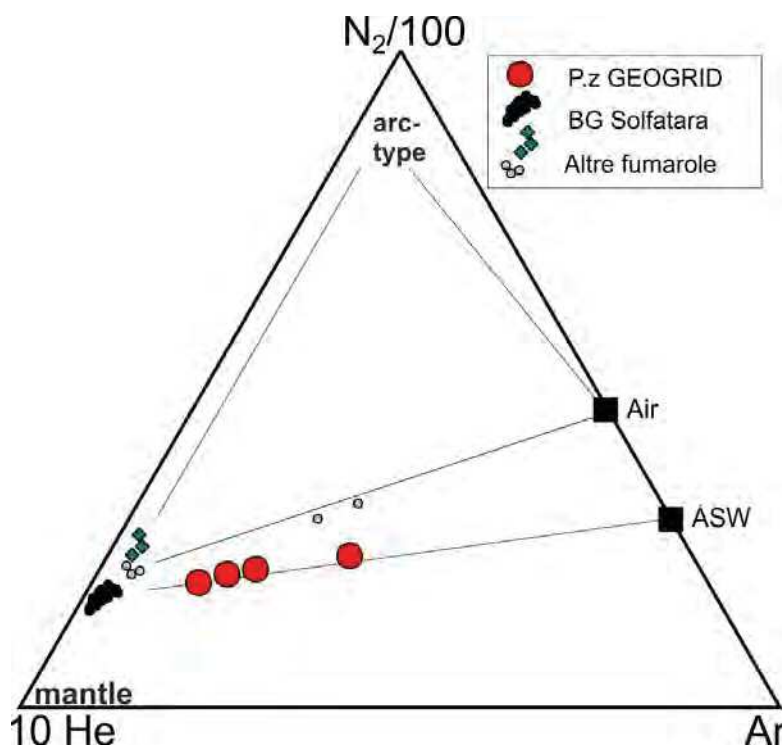


Fig. 6 – Diagramma ternario N_2 -He-Ar, sono riportate le composizioni dei fluidi campionati insieme alle composizioni delle fumarole della Solfatara, dell'aria e della composizione delle acque sature in componenti atmosferici (ASW).

L'applicazione di geotermometri basati sulla composizione delle specie gassose reattive (H_2O - H_2 - CO_2 - CO - CH_4) suggerisce per i fluidi emessi condizioni di equilibrio per una fase vapore a temperatura di circa 240-250 °C (Fig.7).

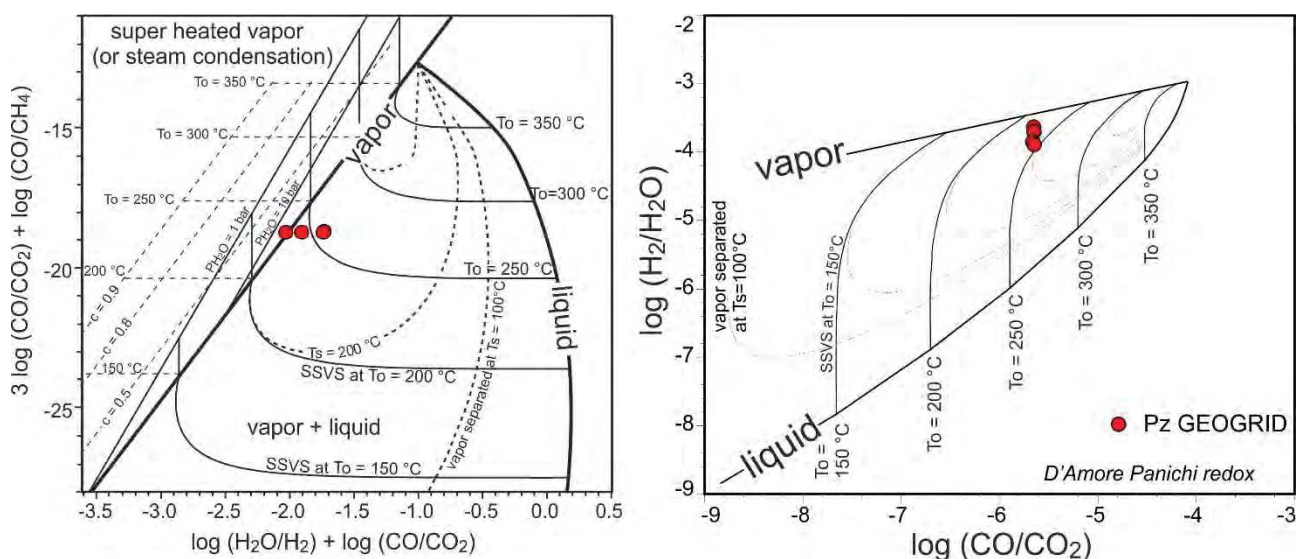


Fig. 7: Nei diagrammi sono riportati i valori teorici di una singola fase di vapore satura (linea di vapore) e in una singola fase liquida satura (linea liquido); i vapori che generati per



il Direttore

ebollizione di un liquido a temperatura fissa e a diverse temperature di separazione T_s (linee SSVS); i vapori che generano per ebollizione di un liquido a diverse temperature originarie e a temperatura di separazione fissa T_s (linee 100 ° C e 200 ° C T_s); il diagramma di sinistra utilizza un approccio indipendente dalle condizioni redox , mentre il diagramma di destra si riferisce a condizioni redox fissate dalla relazione di D'Amore Panichi (1980). Le composizioni dei fluidi campionati sono riportate con i simboli rossi e suggeriscono temperature di equilibrio di circa 240-250 °C

Temperature simili a quelle stimate per la parte superficiale del sistema idrotermale (Caliro et al., 2007), anche se le condizioni di equilibrio di questi fluidi presentano alcune differenze con quelli emessi dalle fumarole della Solfatara, ma questo argomento esula dagli scopi di questa relazione.

Composizione delle acque e del particolato

Le acque del pozzo esistente collocato a circa 30 metri dalla nuova perforazione, già in passato analizzate, non hanno mostrato variazioni significative rispetto alle precedenti misure. La composizione chimico-isotopica suggerisce un estensivo boiling delle acque riscaldate da vapore, processo che contribuisce anche alla elevata salinità misurata in circa 60 g/l, con elevati valori di Cloro, Sodio e Solfato. La profondità del livello di falda dal piano di campagna è di 55 m, mentre la temperatura delle acque varia da 97°C alla profondità di 55 m (livello falda) fino ~ 100°C alla profondità di 80 m, oltre la quale il pozzo risulta ostruito (Figura 8).

Le analisi del particolato, campionato nei giorni 11, 12 e 13 giugno, sempre dallo stesso punto avendo cura di prelevare solo l'aliquota di nuova deposizione, mostrano un significativo aumento nel tempo delle concentrazioni, in particolare di Cloruro, Solfato e di Sodio (Fig. 8).



il Direttore

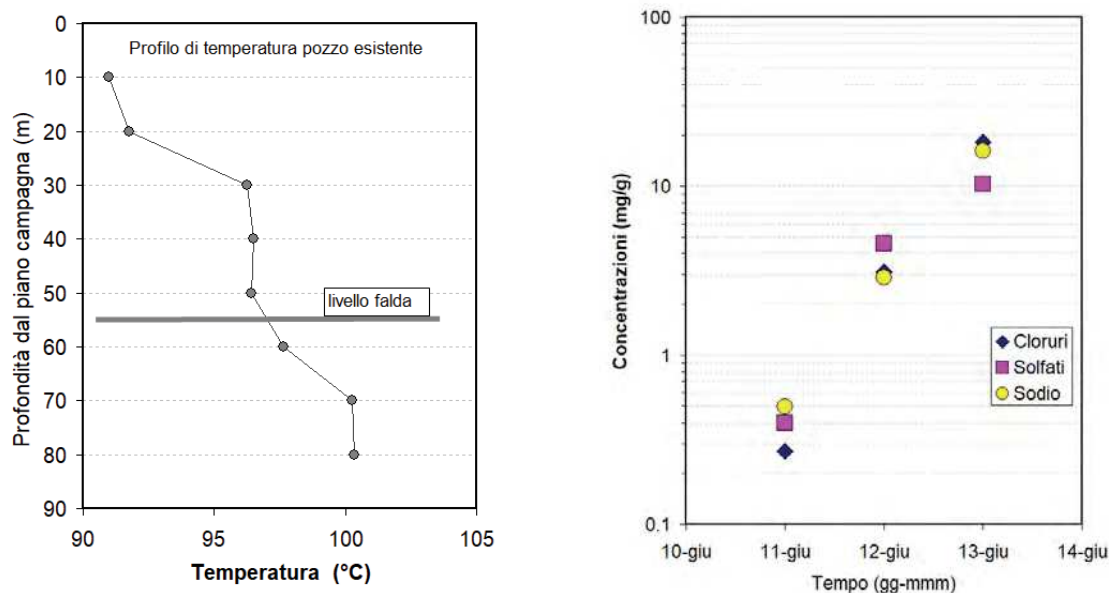


Fig. 8: Profilo di temperatura nel pozzo preesistente, il livello di falda è a 54.6 m dal piano campagna (a sinistra); variazione della concentrazione dei lisciviati del particolato depositosi nei giorni 11, 12 e 13 giugno (a destra).

Misure di concentrazione di gas in aria

Colleghe dell'Università di Firenze, nei giorni 10 e 11 giugno hanno effettuato misure di concentrazione di CO_2 e H_2S in aria ad una distanza di 40 metri dal pozzo ad una altezza dal suolo di 2 metri. Si allega la relazione con i risultati analitici da loro ottenuti (All.2).

Stima dei flussi

Utilizzando tecniche di Computer Vision è stato effettuato un tentativo per stimare la velocità di fuoriuscita del gas dal pozzo. Utilizzando le registrazioni video eseguite in data 13 giugno è stato possibile stimare una velocità di uscita del fluido compresa tra 1.4 e 2.3 m/s. In particolare la stima è stata effettuata utilizzando l'algoritmo di Lukas & Kanade (1981) implementato all'interno di OpenCV (Bradski et al., 2008) ad un'area del campo di vista di $\sim 1 \times 2$ m sopra il pozzo (Fig. 9). Considerando una sezione circolare del pozzo con un diametro di 60 cm, ed un campo di velocità uniforme per tutta la sua sezione, è possibile stimare sebbene approssimativamente un flusso di gas dal pozzo di 0.4 - 0.7 m^3/s .

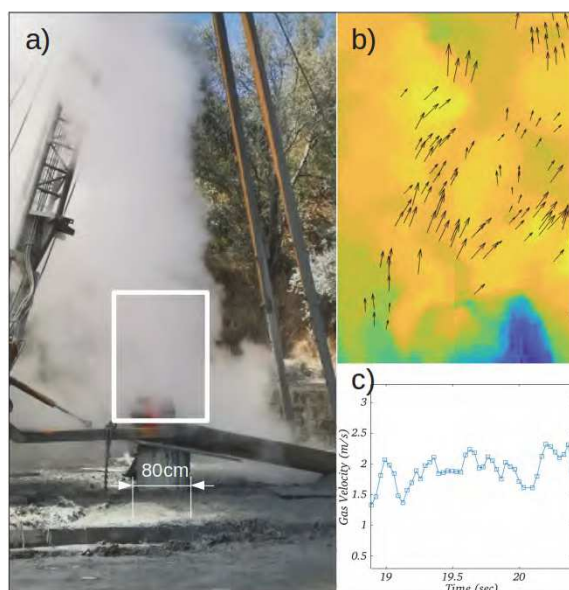


Fig. 9: La velocità di fuoriuscita del gas dal pozzo alle ore 11.43 (ora locale) del giorno 13/06/2020 è di 1.4 – 2.3 m/s. a) snapshot della registrazione video utilizzata per la misura della velocità del gas; il riquadro indica l'area di analisi; b) campo di velocità del gas all'uscita dal pozzo; c) esempio delle misure consecutive di velocità effettuate in ~1.5 s di registrazione.

Tab. 1 Analisi chimica e isotopica dei fluidi emessi dalla nuova perforazione

Concentrazioni in $\square$ mol/mol, composizione isotopica del carbonio in delta per mille vs. V-PDB

Date	T°C	H ₂ O	CO ₂	H ₂ S	40Ar	O ₂	N ₂	CH ₄	H ₂	He	CO	$\square^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$
13/06/2020	97.8	890000	108000	467	7.25	124	521	18.1	209	1.03	0.253	-1.20
13/06/2020	97.8	913000	86100	443	2.69	40	272	14.2	161	0.769	0.201	-1.20
13/06/2020	97.8	937000	62100	895	1.17	9.02	156	9.98	114	0.558	0.146	-1.20
13/06/2020	97.8	935000	64200	354	1.48	8.49	173	10.5	114	0.543	0.15	-1.20

Tab. 2 Analisi chimica dei lisciviati del particolato

Concentrazioni in mg/grammo

Date	Cl	SO ₄	Na
11/06/2020	0.27	0.396	0.4971
12/06/2020	3.11	4.5787	2.8629
13/06/2020	18.3	10.2576	16.185

Indagini Vulcanologiche

L'area in oggetto è localizzata sul versante sudorientale esterno del vulcano Solfatara, nel settore sudoccidentale della caldera di Agnano formatasi in seguito all'eruzione pliniana di Agnano-Monte Spina (4.500 anni fa). Dopo questa eruzione, in questo settore si sono verificati sia eventi effusivi (duomo lavico M. Olibano e Accademia) che eruzioni freatiche, freatomagmatiche e stromboliane di piccola scala (S. Maria Delle Grazie e Solfatara).



Le rocce affioranti sono interessate da un'intensa fratturazione e attraversate da faglie di differenti età e orientazioni (Fig. 10a; Isaia et al., 2015; 2020). L'area, inoltre, è caratterizzata da una diffusa attività fumarolica. Rilievi vulcanologici-strutturali e geofisici eseguiti, recentemente, nell'ambito delle ordinarie attività dell'UF 4 – OV e del progetto DPC B2 Task 4 2019-2021, hanno evidenziato che l'area in oggetto è interessata da strutture principalmente con andamento NNE-SSW e WNW-ESE e dalla loro possibile intersezione, come indicato anche dall'allineamento delle fumarole (Fig. 10b) e dalle anomalie di potenziale spontaneo (Fig. 10c) misurate nell'area.

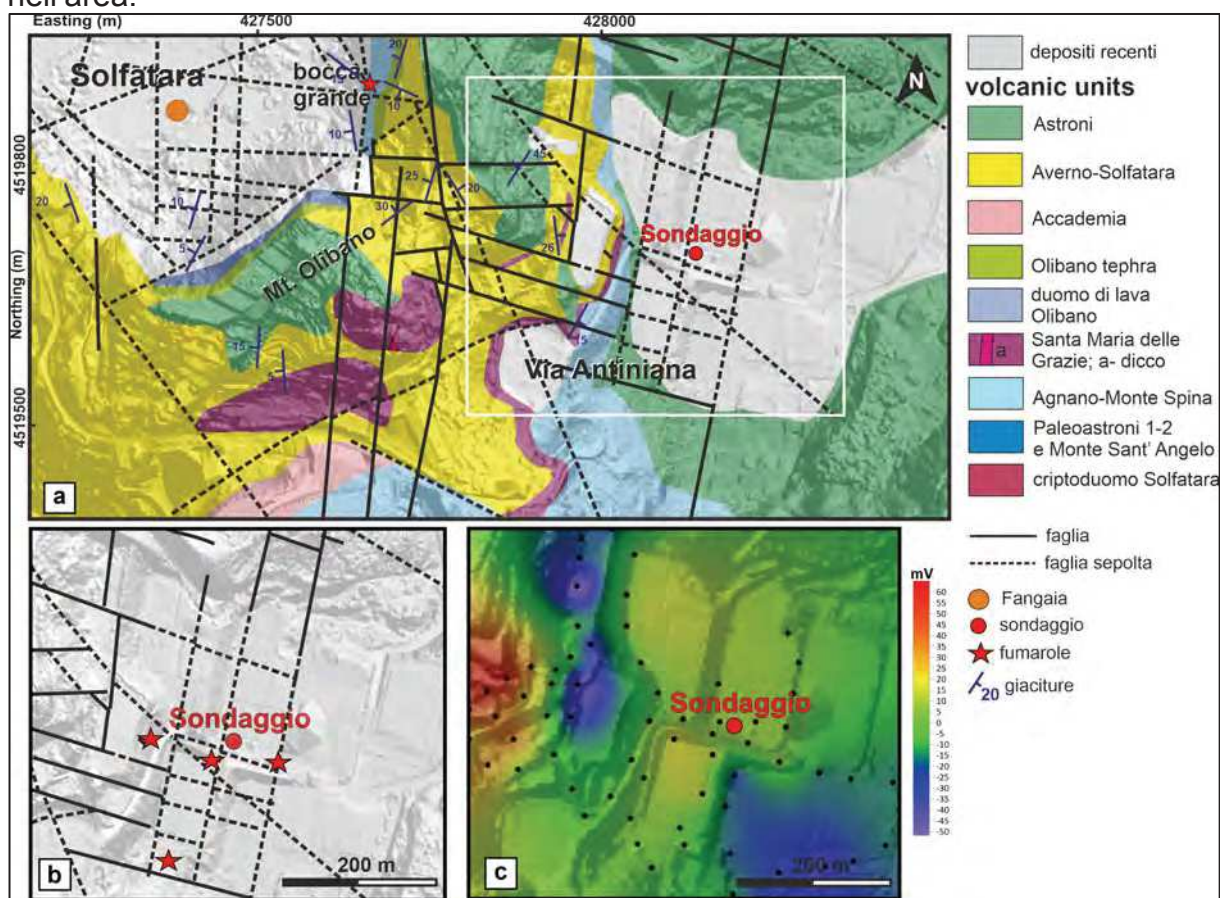


Fig. 10 a) mappa geologico-strutturale del settore Solfatara-Agnano della caldera dei Campi Flgrei (il riquadro bianco indica l'area della perforazione); b) mappa strutturale e principali fumarole; c) mappa del potenziale spontaneo

Durante il sopralluogo il responsabile del cantiere ha fornito informazioni tecniche riguardanti la perforazione effettuata con il metodo del carotaggio a distruzione di nucleo. In particolare la profondità raggiunta, prima dell'interruzione delle attività, è di 88 metri dal piano campagna (p.c.). L'unico materiale estratto integro come prodotto della perforazione è rappresentato da un corpo roccioso litoide perforato tra circa 30 e 36 m di profondità che una volta attraversato avrebbe, secondo quanto riferito,



il Direttore

determinato un aumento delle emissioni di vapore già presenti dai primi 5-8 metri dal p.c.

Osservazioni preliminari sui materiali estratti indicano la presenza di lave grigio scuro, a grana fine, poco cristalline con vene e superfici di alterazione marcate dalla presenza di abbondanti micro cristalli di pirite.

Nell'area limitrofa al boccapozzo sono stati prelevati campioni di materiali fini fangosi di colore grigio scuro nerastro, visibili fino a una distanza di circa 10 m (Fig. 11 a-d). Inoltre è stato prelevato un campione di materiale cineritico fine accumulato per caduta dalla nube di vapore emessa dal pozzo (definito particolato nella sezione relativa alle misure geochimiche). Il materiale cineritico, campionato a una distanza di circa 15-20 m dal pozzo su un'automobile in sosta (Fig. 11e), si è accumulato su un'area più ampia fino a circa 90 m in direzione N-NE.



Fig. 11 a-d) siti di campionamento prossimi al boccapozzo; e) materiale cineritico fine accumulato su auto in sosta a circa 20 m dal boccapozzo

I campioni prelevati sono stati osservati al Microscopio Ottico (MO) e analizzati in diffrazione a Raggi X (XRD). I campioni sono principalmente a matrice cineritica, poco coesa e di colore grigiastro (Fig. 12a). Le osservazioni al microscopio ottico (MO) hanno evidenziato principalmente la presenza di feldspato in cristalli da traslucidi a lattiginosi (Fig. 12 b,e), e subordinatamente pirosseno in relitti. Si rinvenivano occasionalmente lamelle pseudo-esagonali di biotite non alterata (Fig. 12c). La matrice cineritica forma localmente aggregati friabili con evidenti



mineralizzazioni secondarie a pirite (Fig. 12d,f). I pattern diffrattometrici eseguiti sui campioni osservati al MO, hanno confermato tale paragenesi (Fig. 13). Gli spettri acquisiti, tuttavia, mostrano picchi attribuibili alla presenza di argilla, probabilmente dovuta a contaminazione per l'utilizzo di bentonite durante le fasi di perforazione. La paragenesi, infine, è completata da mineralizzazioni secondarie a calcite e analcime.

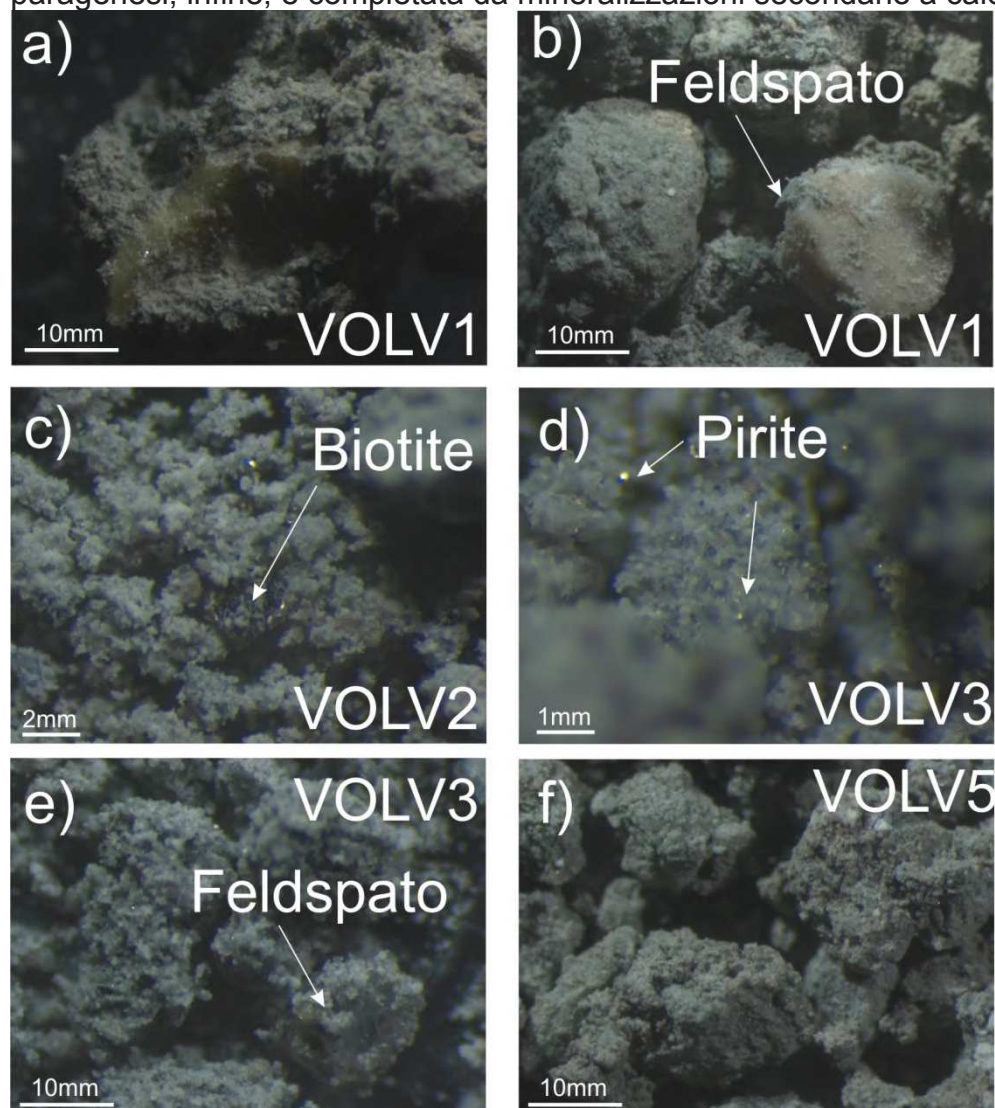


Fig. 12: Foto eseguite al MO; a) matrice cineritica poco coesa con mineralizzazioni secondarie; b) Feldspato lattiginoso circondato dalla matrice cineritica; c) lamina di biotite; d) pirite cristallizzata in minuti cristalli; e) Feldspato traslucido; f) cinerite agglutinata.



il Direttore

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Istituto Nazionale di Geofisica e
Vulcanologia AOO INGV Protocollo
Generale –U N. 0006939 del 17/06/2020

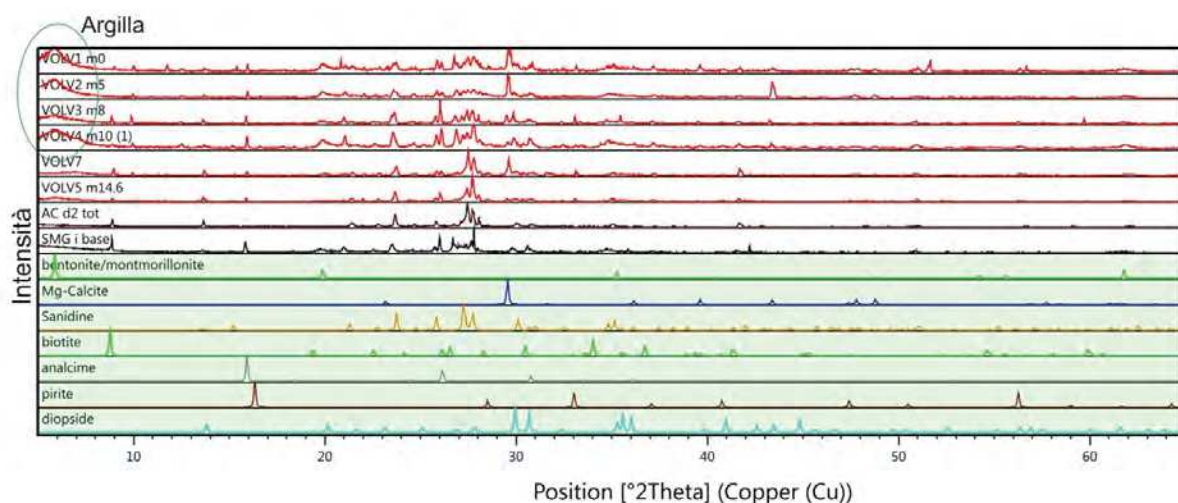


Fig. 13: Pattern di diffrazione dei campioni VOLV presi in esame, confrontati con AC d2 (Accademia), SMG i base (Santa Maria delle Grazie). Il rettangolo evidenziato costituisce una sintesi delle fasi mineralogiche osservate.

Conclusioni generali

Le osservazioni effettuate e le analisi geochimiche dei campioni prelevati suggeriscono l'origine dei fluidi emessi dalla perforazione come dovuti ad una miscela di due componenti. La prima presenta una composizione simile ai fluidi idrotermali emessi dalle fumarole della Solfatara-Pisciarelli mentre la seconda viene rappresentata da una fase liquida, ricca in gas atmosferici e con un'elevata salinità, probabilmente rappresentata dalle acque della falda locale. La composizione variabile dei fluidi prelevati, unitamente alle osservazioni di emissione di liquido, suggerisce che questo processo avvenga richiamando in modo periodico la fase liquida in risposta a variazioni di pressione che si verificano all'interno della perforazione. Le informazioni fornite dal particolato analizzato suggeriscono che l'emissione della fase liquida ricca in Cloruro, Solfato e Sodio stia aumentando nel tempo, ma occorrerebbero ulteriori indagini mirate per confermarlo. I flussi emessi, sebbene grossolanamente stimati in circa 8 tonnellate di CO₂ al giorno, sono elevati, così come i dati preliminari di concentrazione di CO₂ e di H₂S in aria che riportano alti valori per esposizioni prolungate.

La valutazione delle problematiche e delle implicazioni che una perforazione geotermica può comportare in un sistema in una fase di "unrest" come quello flegreo, esula dagli scopi di questo documento, ma su tali argomenti si rimanda alla relazione di approfondimento "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)" Prot. Gen U n.12225 del 08/08/2018 (Al.3).

Gli studi condotti in ambito vulcanologico hanno portato alla redazione di un'accurata mappa geo-vulcanologico-strutturale che comprende l'area interessata dalle attività



il Direttore

di perforazione. I dati raccolti suggeriscono che il pozzo GEOGRID è stato realizzato in una zona caratterizzata dall'intersezione di faglie con direzione NNE-SSW e WNW-ESE. La presenza di tali strutture, testimoniata anche dall'allineamento di fumarole, ha prodotto una zona ad alta densità di fratturazione che contribuisce alla circolazione dei fluidi, come confermato dalle anomalie di potenziale spontaneo. La presenza di un pozzo preesistente a circa 30 metri di distanza dal nuovo foro, caratterizzato da emissioni di minore entità suggerisce che la perforazione GEOGRID possa essere stata effettuata in una zona di intersezione di faglie o lungo una faglia principale. Gli stessi sistemi di faglie sono presenti anche nel cratere della Solfatara e a Pisciarelli. Anche in queste aree le fumarole si allineano lungo faglie principali, mentre manifestazioni come Bocca Grande e la Fangaia, alla Solfatara, e la polla di Pisciarelli insistono su intersezioni di faglie.

Informazioni di carattere stratigrafico rivelano, inoltre, una probabile presenza di lave ad una profondità compresa tra 30-40 m rispetto al piano campagna. Probabilmente, queste lave, meno permeabili rispetto alle litologie sottostanti, non hanno permesso il passaggio dei fluidi verso l'alto favorendone l'accumulo. La perforazione di queste lave, e il conseguente abbassamento di pressione ha permesso una rapida risalita verso la superficie richiamando i fluidi delle zone limitrofe.

L'evoluzione del processo attuale non è facilmente prevedibile. D'altro canto, non può essere escluso che il perdurare dell'emissione incontrollata di fluidi potrebbe portare all'estensione dell'area interessata, coinvolgendo strutture limitrofe, con difficoltà futura di controllo del processo di degassamento. Inoltre, la natura del substrato del sito di perforazione, che insiste in un'area con la presenza di una spinta alterazione idrotermale legata ad un attivo processo di degassamento ben noto e facilmente visibile, potrebbe rappresentare una difficoltà non secondaria nelle future azioni di controllo dell'emissione.

Riferimenti bibliografici

Bradski, G.; Kaehler, A. *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*; O'Reilly Media: Newton, MA, USA, 2008

Caliro S., Chiodini G., Moretti R., Avino R., Granieri D., Russo M., and Fiebig J. (2007) *The origin of the fumaroles of La Solfatara (Campi Flegrei, South Italy)*. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **71**, 3040-3055. doi:10.1016/j.gca.2007.04.007.

Caliro, S., Chiodini, G., Izzo, G., Minopoli, C., Signorini, A., Avino, R. and Granieri, D., 2008. *Geochemical and biochemical evidence of lake overturn and fish kill at Lake Averno, Italy*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 178(2): 305-316.

D'Amore F. and Panichi C. (1980) *Evaluation of deep temperatures of hydrothermal systems by a new gas geothermometer*. *Geochim. Cosmochim. Acta* **44**, 549-556.

Isaia R., Vitale S., Di Giuseppe M. G., Iannuzzi E., Tramparulo F., Troiano A., (2015). *Stratigraphy, structure and volcano-tectonic evolution of Solfatara maar-diatreme (Campi Flegrei, Italy)*. *GSA Bull.*, 127; (9/10), 1485–1504, doi: 10.1130/B31183.1



il Direttore

Isaia R., Di Giuseppe M. G., Natale J., Tramparulo F., Troiano A., Vitale S., (2020). Volcano-tectonic setting of the Pisciarelli fumaroles field (Campi Flegrei caldera, southern Italy): insights into fluid circulation pattern and hazard scenario. Tectonics, submitted.

Lucas, B.D.; Kanade, T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. IJCAI 1981, 81, 674–679.

La Direttrice dell'Osservatorio Vesuviano
Dott.ssa Francesca Bianco

L'INGV, in ottemperanza a quanto disposto dall'Art.2 del D.L.381/1999, svolge funzioni di sorveglianza sismica e vulcanica del territorio nazionale, provvedendo alla organizzazione della rete sismica nazionale integrata e al coordinamento delle reti simiche regionali e locali in regime di convenzione con il Dipartimento della Protezione Civile. L'INGV concorre, nei limiti delle proprie competenze inerenti lavalutazione della Pericolosità sismica e vulcanica nel territorio nazionale e secondo le modalità concordate dall'Accordo di programma decennale stipulato tra lo stesso INGV e il DPC in data 2 febbraio 2012 (Prot. INGV 2052 del 27/2/2012), alle attività previste nell'ambito del Sistema Nazionale di Protezione Civile. In particolare, questo documento, redatto in conformità all'Allegato A del suddetto Accordo Quadro, ha la finalità di informare il Dipartimento della Protezione Civile circa le osservazioni e i dati acquisiti dalle Reti di monitoraggio gestite dall'INGV su fenomeni naturali di interesse per lo stesso Dipartimento. L'INGV fornisce informazioni scientifiche utilizzando le migliori conoscenze scientifiche disponibili; tuttavia, in conseguenza della complessità dei fenomeni naturali in oggetto, nulla può essere imputato all'INGV circa l'eventuale incompletezza ed incertezza dei dati riportati e circa accadimenti futuri che differiscano da eventuali affermazioni a carattere previsionale presenti in questo documento. Tali affermazioni, infatti, sono per loro natura affette da intrinseca incertezza. L'INGV non è responsabile dell'utilizzo, anche parziale, dei contenuti di questo documento da parte di terzi, e/o delle decisioni assunte dal Dipartimento della Protezione Civile, dagli organi di consulenza dello stesso Dipartimento, da altri Centri di Competenza, dai membri del Sistema Nazionale di Protezione Civile o da altre autorità preposte alla tutela del territorio e della popolazione, sulla base delle informazioni contenute in questo documento. L'INGV non è altresì responsabile di eventuali danni recati a terzi derivanti dalle stesse decisioni. La proprietà dei dati contenuti in questo documento è dell'INGV. La diffusione anche parziale dei contenuti è consentita solo per fini di protezione civile ed in conformità a quanto specificatamente previsto dall'Accordo_Quadro_sopra_citato_tra_INGV_e_Dipartimento_della_Protezione_Civile._._._



ALLEGATO 1

il Direttore

Al sindaco di Pozzuoli
Dott. Vincenzo Figliolia
sindaco@pec2.comune.pozzuoli.na.it
Al dott. Agostino di Lorenzo
agostino.dilorenzo@pec2.comune.pozzuoli.na.it
Al Comandante della Polizia Municipale
Dott.ssa Silvia Mignone
silvia.mignone@pec2.comune.pozzuoli.na.it

Oggetto: Richiesta di accesso per misure urgenti sui fluidi fumarolici nell'area della perforazione del Pozzo Geotermico – Progetto Geogrid

Con la presente si richiede l'accesso nell'area di Via Antiniana adibita a cantiere per la perforazione di un pozzo geotermico, attività sospese dall'intervento della Polizia Municipale del Comune di Pozzuoli. Si richiede tale accesso allo scopo di effettuare il campionamento dei fluidi fumarolici, apparentemente incrementati a seguito delle attività di scavo. Le misure effettuate saranno utili a definire la natura dell'emissione e pertanto a caratterizzarne o scongiurare la potenziale pericolosità.

La Direttrice dell'Osservatorio Vesuviano
Dott.ssa Francesca Bianco



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DST

DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA TERRA

ALLEGATO 2

RAPPORTO PRELIMINARE

Misure in aria di specie gassose dello zolfo (H_2S e SO_2) e del carbonio (CO_2 e CH_4 , con relativi valori $\delta^{13}\text{C}$) nel piazzale della concessionaria auto di Via Antiniana ad Agnano, Pozzuoli (NA)

Francesco Capecchiacci, Stefania Venturi, Franco Tassi e Orlando Vaselli

17 Giugno 2020



PREMESSA

I risultati analitici presentati in questo rapporto preliminare sono stati acquisiti nel corso di una campagna di misure svolta nell'ambito della collaborazione tra l'INGV di Napoli (Osservatorio Vesuviano) ed il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze. Nello specifico, il gruppo di Geochimica dei Fluidi del DST-UNIFI collabora con l'Unità Funzionale UF3 dell'OV per lo svolgimento di un "Monitoraggio Geochimico" dell'area flegrea. In particolare, ha preso recentemente inizio un'attività volta alla valutazione della qualità dell'aria in zone interessate da emissioni naturali di carattere idrotermale (Capecchiacci et al., 2020). Le misure oggetto del presente rapporto sono state effettuate nei giorni 10 e 11 giugno 2020 presso il piazzale della concessionaria auto di Via Antiniana nel cratere di Agnano. Lo scopo iniziale di tale attività era quello di verificare l'impatto sulla qualità dell'aria delle emissioni di gas vulcanico a basso flusso che sono presenti nella zona, grazie al supporto logistico fornito dai titolari della concessionaria auto con i quali erano stati presi specifici accordi. Le attività di perforazione, iniziate l'8 Giugno 2020 per la realizzazione di un pozzo geotermico, hanno fornito l'occasione di raccogliere dati utili ad una stima dell'impatto derivante dai gas emessi sulle aree adiacenti al pozzo e caratterizzate da elevata densità abitativa e di attività industriali, commerciali.

AREA E STRATEGIA DI INDAGINE

Le misure sono state effettuate da una stazione mobile equipaggiata con (1) un analizzatore Thermo® 450i per la determinazione delle concentrazioni in aria di H₂S e SO₂ e (2) un cavity ring-down spectrometer Picarro G2201-i per la determinazione della concentrazione in aria di CO₂ e CH₄ e dei relativi valori di $\delta^{13}\text{C}$ (Venturi et al.,

2016; Venturi et al., 2020). Diossido di carbonio, H_2S e CH_4 sono tra i principali composti gassosi di origine profonda dell'area flegrea (e.g. Caliro et al., 2007), mentre SO_2 in aria è derivante da processi di ossidazione secondaria di H_2S (Venturi et al., 2019).

La stazione mobile DST-UNIFI è stata posizionata all'interno del piazzale della concessionaria auto di via Antiniana, prospiciente all'ingresso dell'officina e a circa 40 m dal punto dove si ubica la perforazione del pozzo geotermico iniziata l'8 giugno 2020 (Fig.1). Le misurazioni sono state condotte durante la mattina (10:00-13:00) e il pomeriggio (15:00-17:00) del 10 giugno 2020 e nella mattinata del giorno successivo (9:00-11:00). Da notare che le emissioni gassose pre-esistenti si ubicano ad una distanza maggiore rispetto al nuovo pozzo, nei pressi del cancello d'entrata del parcheggio (Fig. 1).



Figura 1: Ubicazione della Stazione Mobile UNIFI e della perforazione iniziata il giorno 8 giugno 2020

MISURE H₂S ED SO₂

Il grafico di Figura 2a riporta l'andamento delle concentrazioni di H₂S rilevate in aria durante le misure svolte nell'arco della giornata del 10 giugno 2020, mentre in Figura 2b quelle rilevate nella mattinata del giorno 11 giugno 2020. I grafici riportano le concentrazioni misurate con frequenza di 60 sec ed espresse in µg/m³.

Nelle misure del 10 giugno i tenori di H₂S sono compresi tra 22.2 e 1412 µg/m³ (valore medio 403.7 µg/m³, mediana 385, Dev.St. 201.98).

Durante la mattina dell'11 giugno le concentrazioni risultano comprese tra 2 e 728 µg/m³ (valore medio 208.3 µg/m³, mediana 156,75, Dev. St. 178.37).

Tali ampie variazioni di concentrazioni sono dovute al mutevole andamento (direzione e velocità) del vento, come si osserva comunemente per misure di contaminanti dell'aria svolte in prossimità del centro emissivo.

I grafici in Figura 3a e 3b riportano le concentrazioni di SO₂, contemporanee a quelle di H₂S, effettuate rispettivamente nei giorni 10 ed 11 giugno. Durante la prima giornata di misure, le concentrazioni variano tra 13.2 e 87 µg/m³ (valore medio 40 µg/m³, mediana 38.52 Dev.St. 12.91), mentre l'11 giugno si registrano tenori compresi tra 9 e 41.59 µg/m³ (valore medio 20.23 µg/m³, mediana 18.27, Dev. St. 8.67). La comparazione dei grafici riportati nelle figure 2 e 3 evidenzia il sincrono andamento delle due specie, derivante dal legame genetico tra H₂S (di origine primaria idrotermale) e SO₂ (secondaria).



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DST
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA TERRA

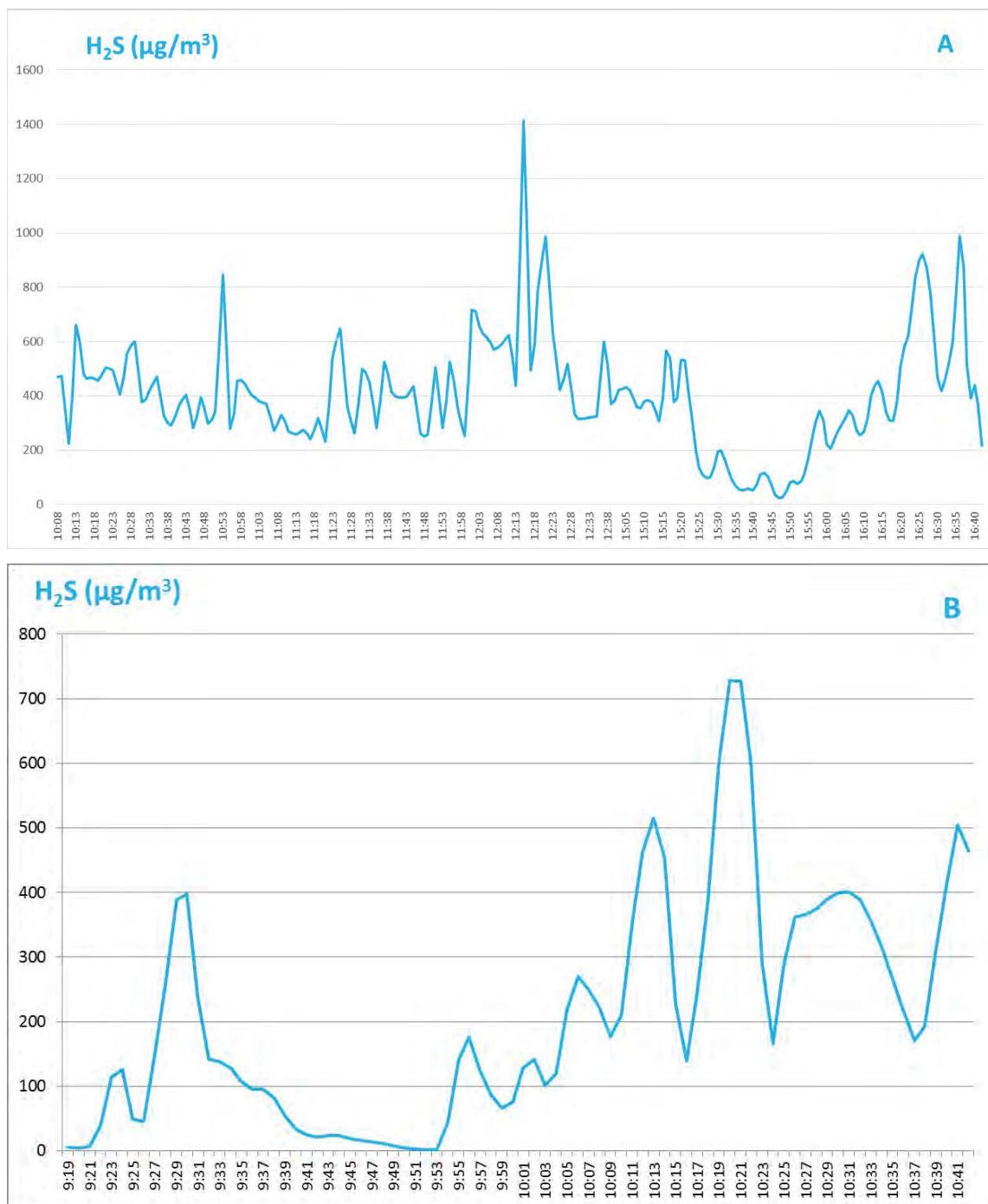


Figura 2a-b: Evoluzione temporale delle concentrazioni di H₂S in aria. a) Dati misurati il 10 Giugno 2020 ed espressi in µg/m³; b) Dati 11 Giugno 2020.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DST
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA TERRA

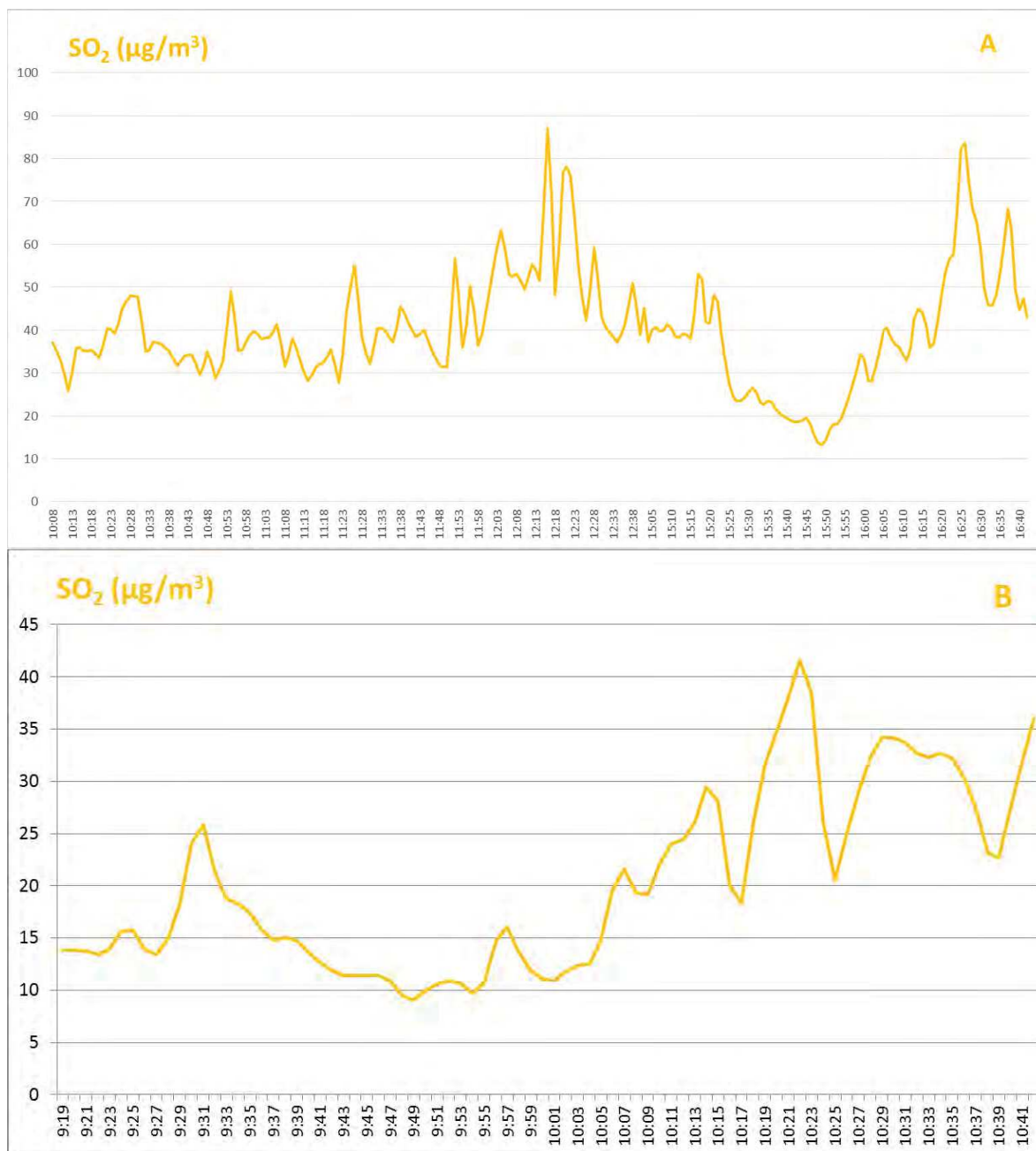


Figura 3a-b: Evoluzione temporale delle concentrazioni di SO₂ in aria. a) Dati misurati il 10 Giugno 2020 ed espressi in µg/m³; b) Dati 11 giugno 2020.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DST
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA TERRA

MISURE CO₂ e CH₄, CON RELATIVI $\delta^{13}\text{C}$

Nel grafico di Figura 4a è riportato l'andamento temporale delle concentrazioni di CO₂ rilevate in aria il 10 giugno 2020, mentre in Figura 4b sono riportati i corrispondenti valori del $\delta^{13}\text{C}$.

Le concentrazioni di CO₂ sono comprese tra 772 e 1061 mg/m³ (valore medio 877 mg/m³, mediana 875.88, Dev. St. 59.67) mentre i valori $\delta^{13}\text{C}$ -CO₂ oscillano tra -7.9‰ e -5.7‰ vs. V-PDB.

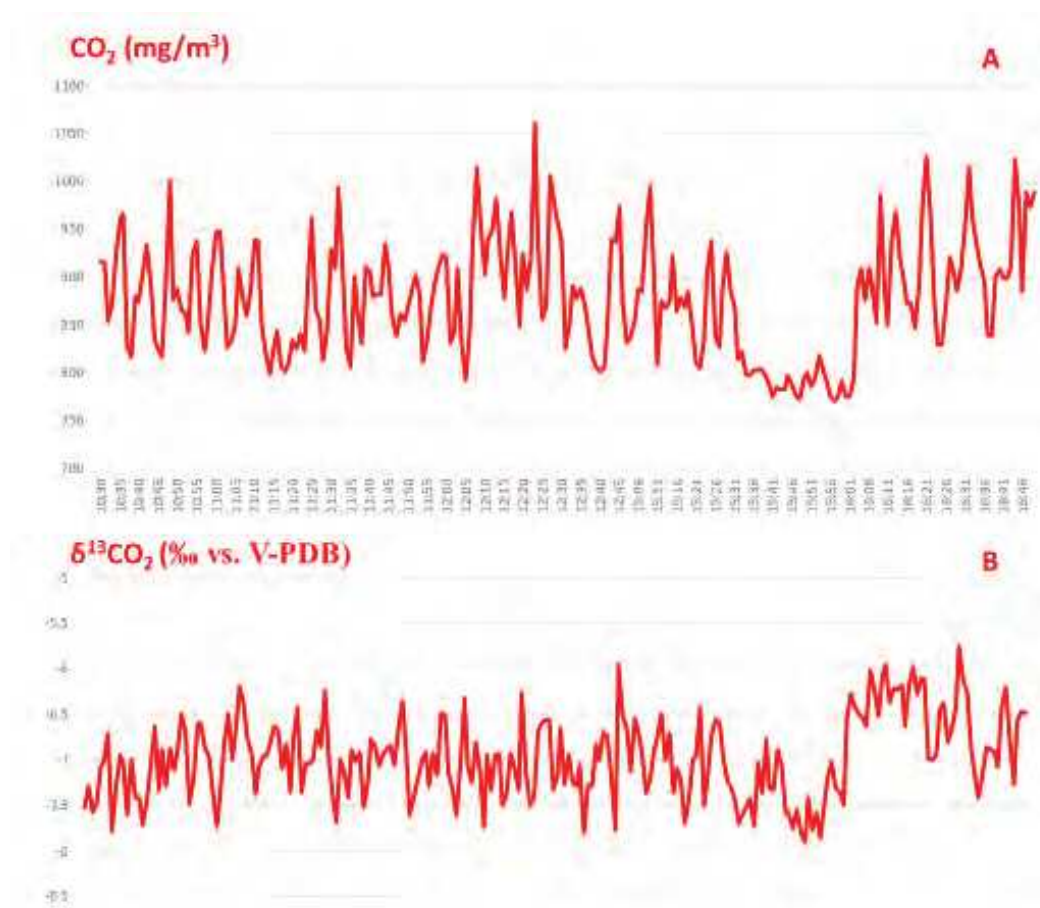


Figura 4a-b: a) evoluzione temporale delle concentrazioni di CO₂ (in mg/m³); b) valori $\delta^{13}\text{C}$ -CO₂ (in ‰ vs. V-PDB) corrispondenti. Dati 10 Giugno 2020.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DST
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA TERRA

Nel grafico di Figura 5a è riportato l'andamento temporale delle concentrazioni di CO₂ rilevate in aria il giorno 11 giugno, mentre in Figura 4b sono riportati i corrispettivi valori del $\delta^{13}\text{C}$.

Le concentrazioni di CO₂ sono comprese tra 774 e 1048 mg/m³ (valore medio 861 mg/m³ mediana 850, Dev. St. 55), mentre i valori $\delta^{13}\text{C}$ -CO₂ oscillano tra -8.0‰ e -6.4‰ vs. V-PDB.

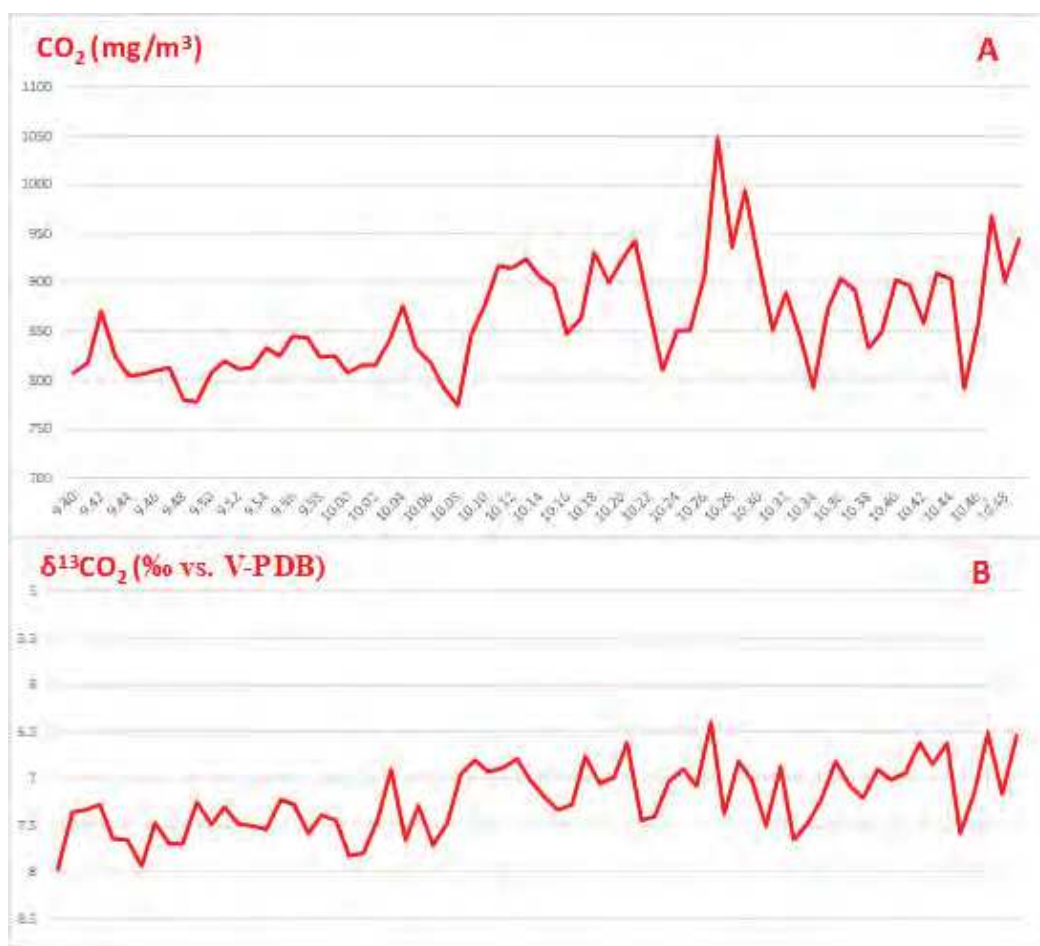


Figura 5a-b: a) evoluzione temporale delle concentrazioni di CO₂ (in mg/m³); b) valori $\delta^{13}\text{C}$ -CO₂ (in ‰ vs. V-PDB) corrispondenti. Dati 11 Giugno 2020.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DST
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA TERRA

Nel grafico di Figura 6a viene riportato l'andamento delle concentrazioni di CH₄ rilevate in aria il 10 giugno 2020 in contemporanea a quelle di CO₂, mentre in Figura 6b si riportano i corrispettivi valori $\delta^{13}\text{C-CH}_4$.

Le concentrazioni di CH₄ sono comprese tra 1.29 e 1.33 mg/m³ (valore medio 1.30 mg/m³, mediana 1.29, Dev. St. 0.004), mentre i valori $\delta^{13}\text{C-CH}_4$ variano tra -51‰ e -44‰ vs. V-PDB.

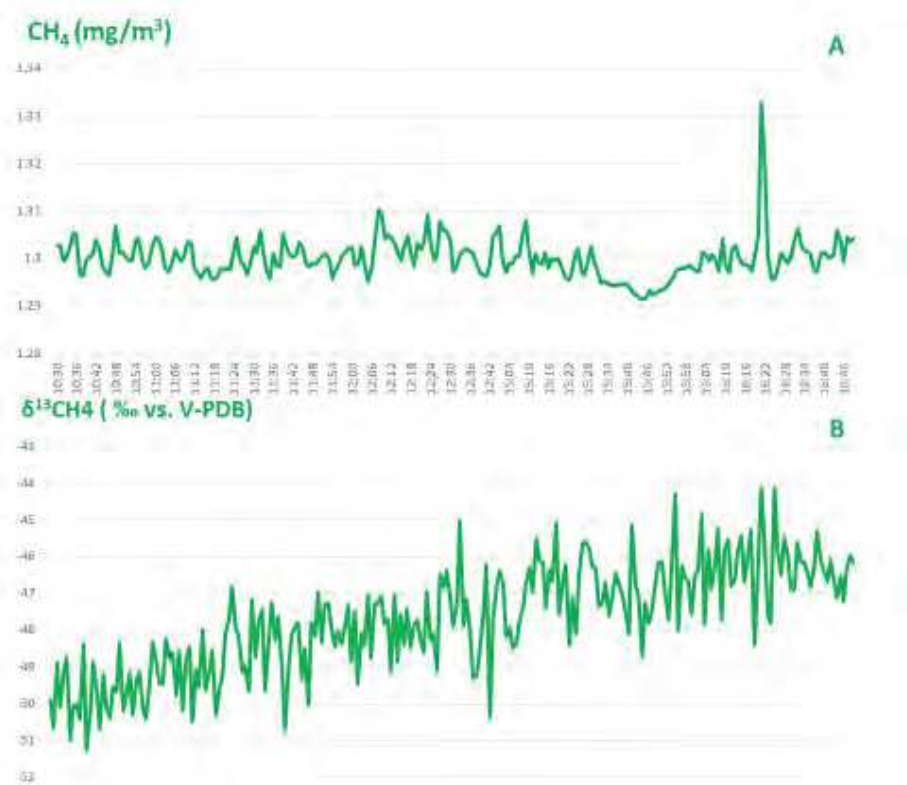


Figura 6a-b: a) evoluzione temporale delle concentrazioni di CH₄ (in mg/m³); b) valori $\delta^{13}\text{C-CH}_4$ (in ‰ vs. V-PDB) relativi. Dati 10 Giugno 2020.

Nel grafico di Figura 7a viene riportato l'andamento delle concentrazioni di CH₄



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DST
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA TERRA

rilevate in aria il giorno 11 Giugno in contemporanea a quelle di CO₂, mentre in Figura 7b si riportano i corrispettivi valori $\delta^{13}\text{C-CH}_4$.

Le concentrazioni di CH₄ sono comprese tra 1.29 e 1.30 mg/m³ (valore medio 1.29 mg/m³), mentre i valori $\delta^{13}\text{C-CH}_4$ variano tra -49‰ e -45‰ vs. V-PDB.

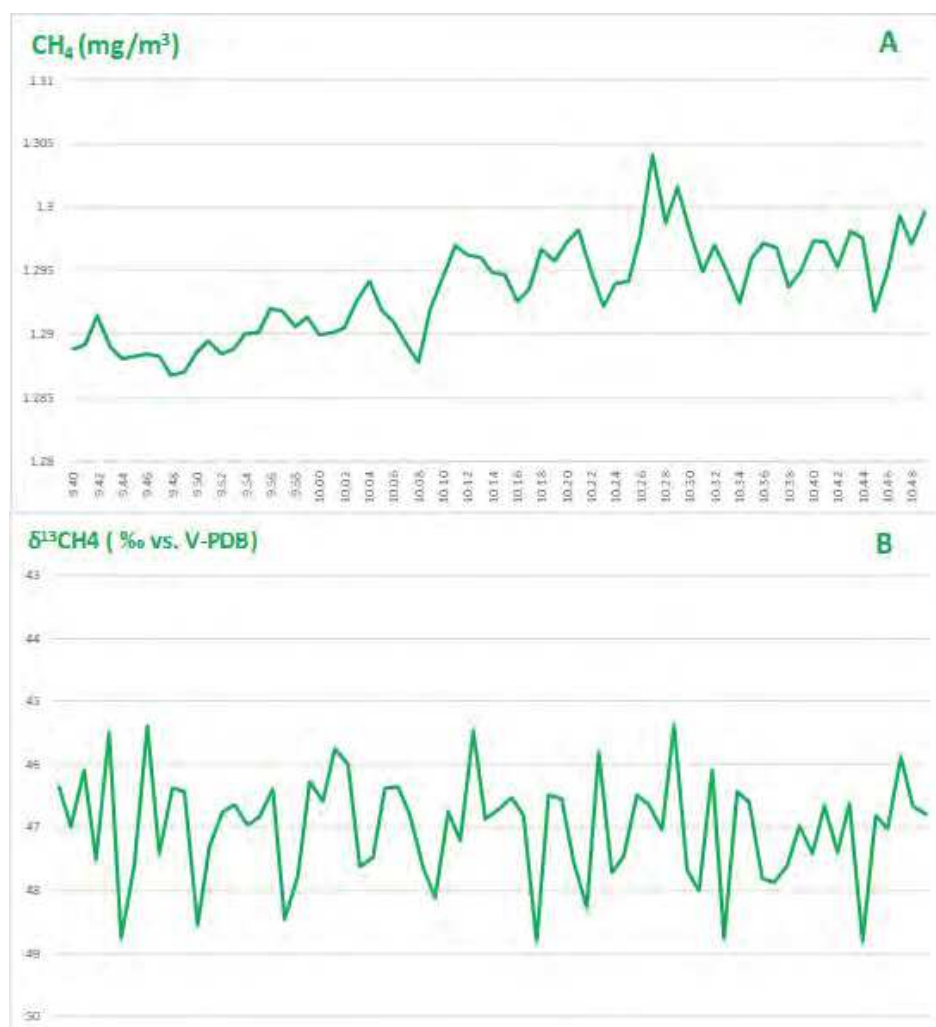


Figura 7a-b: a) evoluzione temporale delle concentrazioni di CH₄ (in mg/m³); b) valori $\delta^{13}\text{C-CH}_4$ (in ‰ vs. V-PDB) relativi. Dati 11 Giugno 2020.

CONSIDERAZIONI RELATIVE ALLA QUALITÀ DELL'ARIA

I dati misurati nel parcheggio di via Antiniana sono confrontati con i valori di *fondo* precedentemente misurati dall'unità UNIFI-DST in zone dei Campi Flegrei non affette da emissioni (i.e. Sede Osservatorio Vesuviano e Abitato di Pozzuoli) ed in condizioni meteo tali da escludere qualsiasi contaminazione distale di fluidi idrotermali (Tab.1). Si nota il sensibile impatto delle emissioni gassose endogene sulla qualità dell'aria a diverse decine di metri di distanza dal pozzo in perforazione (Fig. 1). In particolare, i tenori massimi di H₂S sono ben 3 ordini di grandezza superiori ai valori di *fondo*.

	CO ₂	δ ¹³ C-CO ₂	CH ₄	δ ¹³ C-CH ₄	H ₂ S	SO ₂
FONDO	750	-9.5	1.05	-51	1.6	7
Concessionaria 10/06/2020 min/max	772/1061	-7.9/-5.2	1.29/1.33	-51/-44	22/1412	13/87
Concessionaria 11/06/2020 min/max	774/1048	-8.0/-6.4	1.29/1.30	-49/-45	2/728	9/41.5
	mg/m ³	‰	mg/m ³	‰	μg/m ³	μg/m ³

Tabella 1: Comparazione tra valori minimi e massimi rilevati presso la concessionaria auto e i valori di fondo. Questi ultimi sono stati misurati in zone dei Campi Flegrei non affette da emissioni vulcaniche (Sede Osservatorio Vesuviano e Abitato di Pozzuoli) e in condizioni meteo opportune.

Le normative vigenti non stabiliscono valori limite (soglie di allarme e/o valori obiettivo) per le concentrazioni di H₂S in aria di ambienti esterni. In mancanza di specifici riferimenti normativi a livello nazionale ed internazionale, è prassi riferirsi ai valori guida indicati dalla OMS, riportati in Tabella 2.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DST
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA TERRA

Concentrazione	Riferimento individuato
150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ media 24 ore	WHO Guidelines ed. 2000
100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ >1-14 giorni (valore medio sul periodo)	WHO-IPCS
20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fino a 90 giorni (valore medio sul periodo)	WHO-IPCS

Tabella 2: Valori limite dell'esposizione a H_2S per periodi di 24h, 1-14 giorni e fino a 90 giorni.

L'analisi dei valori isotopici effettuata mediante l'uso dei Keeling plot, utilizzando i valori di $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ e $1/\text{CO}_2$ del 10 e 11 Giugno, permette di determinare la firma isotopica della sorgente emissiva (-1.65% vs. V-PDB; Fig. 8a,b). Tale dato, in linea con i rapporti isotopici di CO_2 emessa dalle emissioni fumaroliche dell'area Solfatar-Pisciarelli (Caliro et al., 2007), conferma la natura idrotermale del gas contaminante.

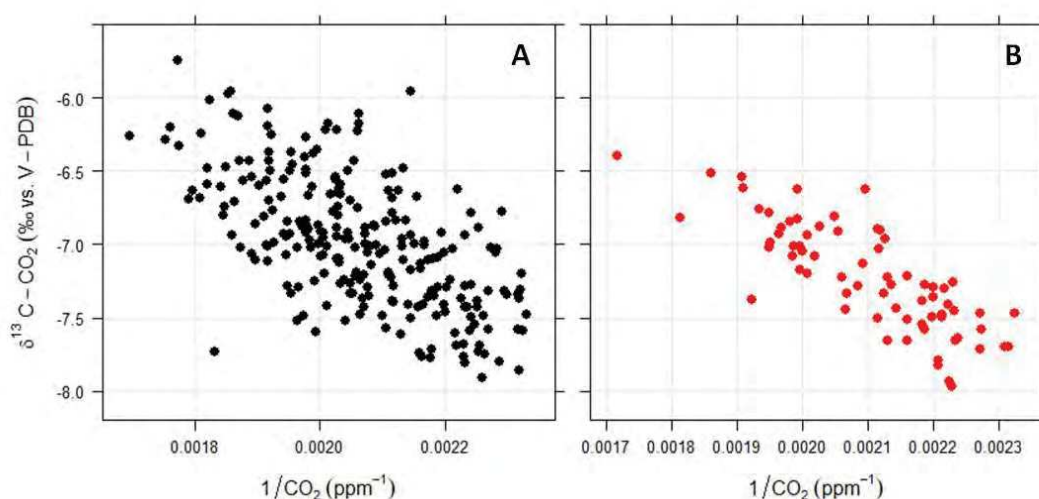


Figura 8a-b: Keeling plot $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ vs. $1/\text{CO}_2$ dei dati acquisiti in data a) 10/06/2020 e b) 11/06/2020.

In Fig. 9 le concentrazioni di H_2S e CO_2 , a cui sono stati sottratti i valori di *fondo*, sono messe a confronto. Il rapporto medio $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$ dei dati misurati il 10/06/2020 è 0.036 mentre quello dei dati misurati in data 11/06/2020 è 0.021. Tali valori risultano consistenti con i rapporti osservati nella fumarola di Pisciarelli in Aprile 2020 (0.0033).

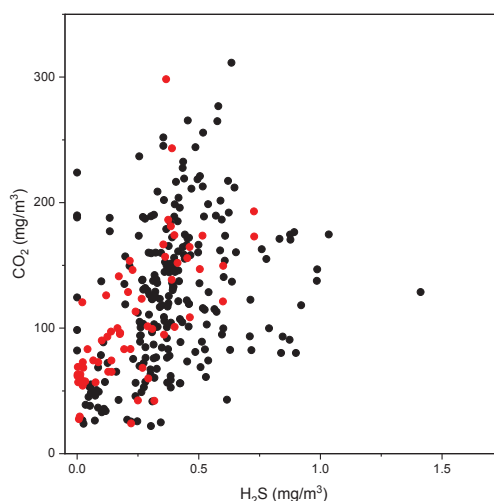


Figura 9: H_2S vs. CO_2 dei dati acquisiti in data 10/06/2020 e 11/06/2020.

In Fig. 10, i dati H_2S (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e CO_2 (in mg/m^3) sono comparati con quelli relativi a misure effettuate in aria (i) presso un pozzo superficiale localizzato all'interno del Tennis Hotel (cerchi in grigio), (ii) presso le fumarole del cratere Solfatara (triangoli in giallo). Il grafico evidenzia un netto andamento di mixing in cui i dati misurati nei pressi del pozzo in perforazione risultano intermedi tra gli end-member superficiale (pozzo in Tennis Hotel) e profondo (Solfatara).



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DST
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA TERRA

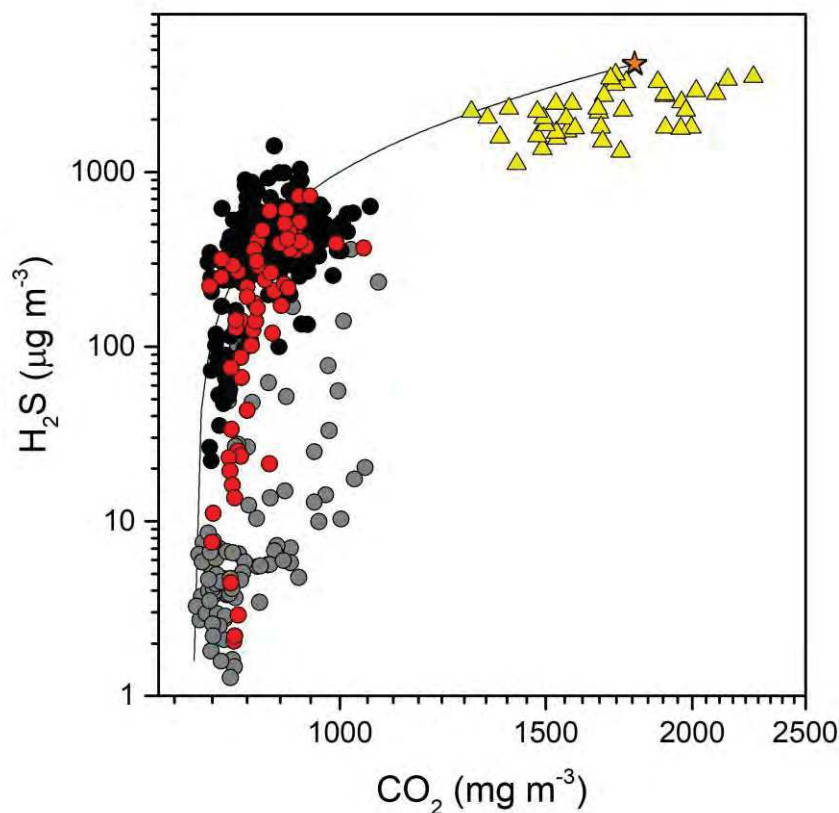


Figura 10: H₂S vs. CO₂ dei dati misurati nel parcheggio in via Antiniana e relativi a misure effettuate in aria (i) presso un pozzo superficiale localizzato all'interno del Tennis Hotel (cerchi in grigio), (ii) presso le fumarole del cratere Solfatara (triangoli in giallo).

MATERIALE SOLIDO DI DEPOSIZIONE

L'attività di perforazione che ha dato origine alla cospicua emissione di fluido idrotermale, sta determinando anche la ricaduta di fase liquida e particolato solido che interessa l'area circostante in un raggio superiore ai 100 m. Un campione di particolato depositatosi sulle auto della concessionaria è stato raccolto e sottoposto

ad analisi diffrattometrica ai raggi x e lisciviato per analisi chimiche. I risultati di tale analisi mostrano la presenza di fasi minerali di probabile natura vulcanica (K-feld, mica alterata; e.g. annite), e di alterazione idrotermale (calcite, illite, quarzo e montmorillonite).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E RACCOMANDAZIONI

I dati acquisiti in tre distinti periodi nelle giornate di mercoledì 10 e giovedì 11 giugno hanno permesso di verificare come le emissioni gassose rilasciate dal pozzo geotermico in perforazione siano in grado di interessare le aree prossime al pozzo stesso ove sono state riscontrate concentrazioni di H_2S e CO_2 ben superiori a quelli normalmente presenti nella zona termale flegrea. Tali concentrazioni sono direttamente ed inequivocabilmente relazionabili ai gas geotermici di perforazione, come anche evidenziato dai valori isotopi del carbonio della CO_2 che tendono marcatamente a positivizzare quelli della CO_2 atmosferica.

Al momento in cui viene scritta questa memoria, la perforazione ha avuto una pausa di arresto per permettere di valutare le autorizzazioni rilasciate dalle autorità competenti in materia. Indipendentemente dalla possibile ripresa delle operazioni di perforazione, si raccomanda un monitoraggio ambientale volto non solo a valutare l'impatto dei gas idrotermali in aria ma anche a verificare i possibili cambiamenti in termini di composizione (rapporti CO_2/H_2S) e di segnale isotopico di CO_2 . La variazione di tali parametri potrebbe difatti indicare un cambiamento della fonte emissiva (ad esempio del suo rapporto gas/acqua) tale da indurre pericolosi fenomeni di sovrappressione sub-superficiale. Si ritiene inoltre utile effettuare il prelievo degli elementi solidi emessi dal pozzo per verificarne la loro eventuale aggressività sui materiali ove si depositino, in particolare su metalli.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DST
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA TERRA

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Caliro, S., Chiodini, G., Moretti, R., Avino, R., Granieri, D., Russo, M., Fiebig, J., 2007. *The origin of the fumaroles of La Solfatara (Campi Flegrei South Italy)*. *Geochim. Cosmochim. Acta* 71, 3040–3055.
<https://doi.org/10.1016/j.gca.2007.04.007>.
- Capecchiacci F., Biagi R., Venturi S., Santi A., Bagnato E., Avino R., Caliro S., Tassi F., 2020. *A multi-instrumental geochemical approach to assess the impact of volcanic gas emissions in a densely populated area: the case of “Pisciarelli”, Campi Flegrei (Naples, Italy)*. Abstract for oral presentation to The 14th CCVG Field Workshop on Volcanic Gases in Japan Workshop: Hokkaido, 29 May–5 June 2020. POSTPONEMENT BECAUSE OF THE COVID-19.
- Venturi S., J. Cabassi, F. Tassi, F. Capecchiacci, O. Vaselli, S. Bellomo, S. Calabrese, W. D’Alessandro, 2016. *Hydrogen sulfide measurements in air by passive/diffusive samplers and high-frequency analyzer: A critical comparison*. *Applied Geochemistry* 72, 51–58.
- Venturi S, F. Tassi, J. Cabassi, O. Vaselli, I. Minardi, S. Neri, C. Caponi, G. Capasso, R.M.R. Di Martino, A. Ricci, F. Capecchiacci, M. Lelli, A. Sciarra, D. Cinti, G. Virgili, 2019: *A multi-instrumental geochemical approach to assess the environmental impact of CO2-rich gas emissions in a densely populated area: The case of Cava dei Selci (Latium, Italy)*. *Applied Geochemistry* 101, 109–126.
- Venturi S., F. Tassi, J. Cabassi, B. Gioli, S. Baronti, O. Vaselli, C. Caponi, C. Vagnoli, G. Picchi, A. Zaldei, F. Magi, F. Miglietta, F. Capecchiacci, 2020. *Seasonal and diurnal variations of greenhouse gases in Florence (Italy): Inferring sources and sinks from carbon isotopic ratios*. *Science of the Total Environment* 698, 134245.
- WHO, 2006. *Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide. Global Update 2005*. Summary of Risk Assessment. World Health Organization 2006.
http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/.



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

**Istituto Nazionale di Geofisica
e Vulcanologia
AOO INGV**

Protocollo Generale - U

N. 0012225

del 08/08/2018



Prof. Carlo Doglioni
Presidente INGV
SEDE
carlo.doglioni@ingv.it

Dott.ssa Maria Siclari
Direttore Generale INGV
SEDE

e pc Francesca Bianco
francesca.bianco@ingv.it

Ugo Bilardo
ugo.bilardo@uniroma1.it

Stefano.caliro
stefano.caliro@ingv.it

Claudio Chiarabba
claudio.chiarabba@ingv.it

Sergio D'Offizi
sergio.doffizi@fastwebnet.it

Giovanni Macedonio
giovanni.macedonio@ingv.it

Augusto Neri
augusto.neri@ingv.it

Daniela Pantosti
daniela.pantosti@ingv.it

Micol Todesco
micol.todesco@ingv.it

Leonardo Sagnotti
leonardo.sagnotti@ingv.it

Oggetto: trasmissione relazione conclusiva lavori GdL perforazioni geotermiche
costituito dal Presidente dell'INGV il 16.01.2017, con nota prot. N. 0000442



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Con la presente invio, come coordinatore e a nome di tutto il GdL, la relazione conclusiva della lavori del Gruppo. Resto a disposizione per eventuali integrazioni o chiarimenti.

Mauro Antonio Di Vito

Mauro Antonio Di Vito

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)

Relazione di approfondimento a cura del
GRUPPO DI LAVORO INGV "PERFORAZIONI GEOTERMICHE"

(Nomina Prot. n. 0000442 del 16.01.2017 del Presidente dell'INGV)

Il Gruppo di Lavoro è costituito da:

Dott.ssa Francesca Bianco, Direttore dell'Osservatorio Vesuviano-INGV

Prof. Ugo Bilardo, già Ordinario Ingegneria dei giacimenti Università La Sapienza

Dott. Stefano Caliro, Primo Tecnologo INGV

Dott. Claudio Chiarabba, Dirigente di Ricerca INGV

Dott. Mauro A. Di Vito, Primo Ricercatore INGV, Coordinatore

Dott. Sergio D'Offizi, ex dirigente ENEL, già Geofisico del Centro di Ricerche Geotermiche di Pisa ed
ex Professore di Sismotettonica presso le Università di Perugia e Roma Tre

Dott. Giovanni Macedonio, Dirigente di Ricerca INGV

Dott.ssa Micol Todesco, Ricercatrice INGV

ed è stato assistito e coadiuvato da:

Dott. Augusto Neri, Direttore del Dipartimento Vulcani INGV

Dott.ssa Daniela Pantosti, Direttore del Dipartimento Terremoti INGV

Dott. Leonardo Sagnotti, Direttore del Dipartimento Ambiente INGV

Roma, 4.08.2018

INDICE

INTRODUZIONE

1 - PERFORAZIONI A BAGNOLI

- 1.1 Inquadramento delle perforazioni a Bagnoli
- 1.2 Valutazioni del GdL per quanto riguarda i pozzi di Bagnoli

2 - PERMESSO DI RICERCA “SCARFOGLIO”

- 2.1 Tipologia dell'impianto
- 2.2 Ubicazione dell'area di progetto
- 2.3 Valutazioni del GdL sulla ricostruzione del sistema geotermico presentata dal proponente e sul relativo progetto
- 2.4 Decisione di archiviazione da parte del Ministero
- 2.5 Conclusioni del GdL per il permesso Scarfoglio

3 - PERMESSO SERRARA FONTANA

- 3.1 Modello geotermico di riferimento
- 3.2 Caratterizzazione di dettaglio dell'area di ricerca
- 3.3 Caratteristiche produttive del campo geotermico
- 3.4 Caratteristiche chimiche del fluido e capacità incrostanti
- 3.5 Indagini integrative
- 3.6 Valutazioni del GdL sulla ricostruzione presentata dal proponente e sul relativo progetto

4 - RESOCONTI DELLE AUDIZIONI E DELLE OSSERVAZIONI GIUNTE IN FORMA SCRITTA

5 - CONCLUSIONI GENERALI

- 5.1 Pozzi di Bagnoli
- 5.2 Permesso Scarfoglio
- 5.3 Permesso Serrara Fontana

Allegato 1. Relazione dell'Ing. Alberto Bottai relativa allo stato del pozzo realizzati nell'area di
Bagnoli Futura.

Allegato 2. Osservazioni aggiuntive del dott. Giuseppe Mastrolorenzo (vulcanologo ricercatore
dell'Osservatorio Vesuviano dell'INGV) inviate per email al coordinatore Mauro Di Vito il
21 settembre 2017

INTRODUZIONE

L'attività del Gruppo di Lavoro "Perforazioni Geotermiche", di seguito GdL, scaturisce da una richiesta presentata all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) dal Dipartimento della Protezione Civile (DPC) - prot. n. SIV/0064444 del 29/12/2015 e reiterata il 26/05/2016. Le due lettere del DPC recavano la seguente intestazione: "Campi Flegrei – Relazione di approfondimento e valutazione della pericolosità vulcanica nell'area dei Campi Flegrei a seguito di perforazioni per lo sfruttamento di energia geotermica relativamente al sito ex ILVA di Bagnoli, al progetto Scarfoglio (Campi Flegrei) e al progetto Serrara Fontana (Isola di Ischia)". La richiesta di approfondimenti era motivata da due lettere pervenute al DPC da parte del Prof. B. De Vivo dell'Università Federico II di Napoli e del Dott. G. Mastrolorenzo dell'INGV che esprimevano, tra l'altro, "perplexità sull'opportunità di effettuare perforazioni nell'area flegrea e sull'Isola d'Ischia".

A seguito di queste segnalazioni, il DPC chiede all'INGV di esprimersi in merito all'eventualità che le attività di perforazione "possano determinare condizioni di incrementata pericolosità, ovvero arrecare disturbo alle strumentazioni dedicate al monitoraggio vulcanico delle aree in questione".

L'INGV, con nota del 3.10.2016 n. 0011474, ha dato un primo riscontro alle richieste DPC evidenziando che le problematiche poste dal Dipartimento implicavano valutazioni complesse, anche per la mancanza di una letteratura esauriente riguardante gli effetti delle perforazioni geotermiche sul comportamento di un sistema vulcanico attivo. La complessità deriva dal fatto che i potenziali effetti coinvolgono processi difficili da prevedere con certezza e verosimilmente dipendenti da specifiche situazioni quali la natura del sistema e il suo stato corrente, le tecniche estrattive utilizzate, le profondità da raggiungere, i sistemi di coltivazione, le quantità, la pressione dei fluidi di reiniezione, ecc. Nella stessa nota si comunicava la volontà di predisporre un GdL con competenze tecnico-scientifiche multidisciplinari, al fine di redigere la relazione di approfondimento anche tramite incontri scientifici, invitando colleghi ed esperti sull'argomento, sia interni all'INGV che esterni.

Il GdL è stato quindi costituito dal Presidente dell'INGV il 16.01.2017, con nota prot. N. 0000442, di concerto con i Direttori di Struttura, ora Dipartimento, Dottori Augusto Neri, Daniela Pantosti e Leonardo Sagnotti. Nella stessa nota s'indicava che il GdL dovesse nominare al suo interno un Coordinatore con il compito di indire le riunioni di lavoro, coordinare le attività del GdL e curare la stesura della relazione. Ai Direttori di Dipartimento veniva affidato il compito di assistere e coadiuvare le attività del gruppo, anche favorendo la produzione di ulteriori contributi da parte di personale competente. Nella composizione del Gruppo si sono volutamente esclusi i ricercatori che avessero già espresso posizioni radicali a favore o contro le attività di perforazione in questione.

Nella prima riunione, convocata dal Dott. Augusto Neri, è stato nominato coordinatore del GdL il Dott. Mauro A. Di Vito. Dopo la prima riunione, l'Ing. Bottai ha preferito rinunciare all'incarico per motivi personali e professionali. Si è comunque dichiarato disponibile a essere consultato dal GdL. Dalla data della sua formazione, il GdL ha tenuto diverse riunioni nelle quali ha analizzato la documentazione disponibile sul sito web del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (nel seguito richiamato come Ministero dell'Ambiente), relativa ai progetti di coltivazione geotermica in oggetto, e della letteratura scientifica sull'argomento.

Il GdL ha inoltre programmato una serie di incontri volti a raccogliere sia l'opinione di ricercatori (contrari o favorevoli alle attività di perforazione), e quella di esperti in ambito geotermico e sismico, in modo da poter arrivare a una valutazione il più possibile informata, imparziale e robusta sull'argomento.

Gli esperti individuati e contattati dal GdL sono i seguenti:

- Dott. Giovanni Chiodini, INGV, sezione di Bologna
- Dott. Giuseppe De Natale, INGV, sezione di Napoli
- Prof. Benedetto De Vivo, Università degli Studi di Napoli, Federico II
- Dott. Salvatore Inguaggiato, INGV, sezione di Palermo
- Dott. Giuseppe Mastrolorenzo, INGV, sezione di Napoli
- Dott. Paolo Papale, INGV, sezione di Pisa
- Prof. Alessandro Sbrana, Università degli Studi di Pisa
- Prof. Tiziana Vanorio, Department of Geophysics, University of Stanford

In data 28/7/2017, il Coordinatore del GdL, sentiti i Direttori di Dipartimento e su incarico dell'intero GdL, ha invitato il gruppo di esperti scelti a partecipare a delle audizioni individuali su precise domande riguardanti l'oggetto dell'incarico assunto dal GdL e formulate dallo stesso in base alle richieste del DPC. Le date delle audizioni sono state i giorni 20 e 22 settembre 2017, rispettivamente a Napoli e Roma, 19 ottobre 2017, via Skype, e 9 novembre 2017, a Roma e via Skype.

Agli invitati è stato chiesto anche di produrre, se lo avessero ritenuto opportuno, delle memorie scritte sull'argomento. Non tutti i colleghi interpellati hanno tuttavia accettato di partecipare ai lavori del GdL: in particolare il prof. De Vivo e il dott. De Natale hanno declinato l'invito. Le considerazioni riportate in questa relazione raccolgono conseguentemente solo i pareri di chi ha partecipato agli incontri, ad eccezione del dott. Papale che, non essendo riuscito a partecipare alle audizioni del 22 settembre e del 9 novembre, ha comunque inviato una dettagliata memoria scritta il 14.11.2017.

1 - PERFORAZIONI A BAGNOLI

1.1 Inquadramento delle perforazioni a Bagnoli

Nell'area dell'ILVA di Bagnoli sono state eseguite due perforazioni adiacenti, la prima ha raggiunto la profondità di 501 m dal piano campagna (di seguito P1), la seconda ha raggiunto 200 m dal piano campagna (di seguito P2).

Relativamente a queste perforazioni è importante sottolineare in questa sede come, contrariamente a quanto indicato in alcune delle note citate e nella richiesta del Dipartimento di Protezione Civile, le perforazioni effettuate a Bagnoli non hanno mai avuto finalità di sfruttamento geotermico.

La perforazione P1 è stata effettuata in due fasi, la prima fase è stata realizzata nel luglio 2012, a distruzione di nucleo e con recupero di cutting. La seconda fase è stata realizzata a dicembre 2012, con un impianto di maggiore potenza di quello usato nella prima fase, sempre a distruzione di nucleo e recupero di cutting, accompagnata da prelievo di carote a 438 m e a fondo foro. Tutta la perforazione è stata rivestita con casing di acciaio di diametro decrescente con la profondità, chiuso e cementato fino a 422 m dal p.c. e sfinestrato tra 422 m e fondo foro. A testa pozzo è presente un pozzetto di cemento ed il rivestimento è valvolato e dotato di sensori per la pressione. Nel pozzo è stata installata una fibra ottica per il rilevamento della temperatura.

La perforazione P2 è stata eseguita nel corso del 2014, a carotaggio e con prelievo continuo di campioni. La perforazione è stata eseguita in verticale, a partire dalla stessa piazzola del P1. Il foro è incamiciato con casing in acciaio ed attualmente strumentato con un sensore accelerometrico-velocimetrico da pozzo della Guralp, posizionato alla profondità di 174 m, integrato nel sistema di monitoraggio dell'area dei Campi Flegrei gestito dalla Sezione di Napoli Osservatorio Vesuviano dell'INGV.

Le due perforazioni sono state seguite da numerose unità di personale dell'INGV oltre che da ditte esterne. I risultati degli studi effettuati nel corso della perforazione e delle analisi sui campioni prelevati sono stati oggetto di alcune pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali (Mormone et al., 2015; De Natale et al., 2016)

Il GdL rileva che nel settembre 2016 nella perforazione P1 sono stati effettuati controlli da parte dell'Ing. Bottai e di alcuni ricercatori dell'INGV (Allegato 1) per valutazioni sul suo stato e su alcune anomalie rilevate. A seguito delle verifiche l'Ing. Bottai ha redatto una relazione tecnica datata 4 ottobre 2016 della quale si sintetizzano gli elementi principali:

1. Durante le attività di perforazione è stata rilevata la presenza di H_2S risalente con i fanghi di perforazione dalla profondità di 312 m, non riconducibili ad un serbatoio geotermico ma a “gas diffuso”.
2. Le temperature nel pozzo hanno un andamento crescente fino alla profondità di circa 400 m, dove si raggiunge una temperatura di 100-120°C, e poi decrescente a maggiore profondità. Inoltre tutte le misure, effettuate tra marzo 2015 e maggio 2016, evidenziano una leggera diminuzione generale di temperatura nel tempo.
3. Nel corso del sopralluogo è stata effettuata una misura di temperatura con termofreatimetro spinto fino alla profondità di 401 m. L'andamento della temperatura è simile a quello misurato con fibra ottica, ma con valori leggermente inferiori. L'inversione di temperatura a -400 m non è stata ben investigata in quanto il sensore non è sceso a profondità maggiori di 400 m, forse per la presenza di un ostacolo.
4. Sono state effettuate osservazioni sullo stato della testa pozzo dalle quali risultano inizi di corrosione della tubazione di acciaio per la persistenza di acque stagnanti alla base del pozzetto di testa pozzo. Per ridurre i fenomeni di corrosione viene suggerito di effettuare un adeguato drenaggio delle acque ristagnanti nel pozzetto.
5. L'ispezione del pozzo ha messo in evidenza la presenza di gas all'interno della colonna d'acqua presente in tutto il pozzo che produceva fenomeni di gorgogliamento, riscontrati durante la discesa del freatimetro da pozzo. A valvole chiuse a testa pozzo la pressione misurata era di 7 bar.

A parere del GdL le variazioni di cui al punto 2 (l'inversione di temperatura a -400 m e la diminuzione di temperatura nel tempo) hanno difficile spiegazione. Se si escludono problemi strumentali e di installazione della fibra ottica, da ritenersi in ogni caso possibili, tali variazioni potrebbero essere imputate alla presenza di falde sovrapposte, non evidenziate però dai dati della perforazione, caratterizzate da proprietà fisico-chimiche diverse.

Inoltre, nella relazione dell'Ing. Bottai sono contenute importanti prescrizioni di attività da effettuarsi a breve e medio termine, sia per verificare lo stato del pozzo e del rivestimento, la temperatura e pressione, la composizione e concentrazione dei gas nella colonna d'acqua, sia per assicurare la sicurezza degli operatori e del sito, con le quali si concorda pienamente. Tali attività sono state già in parte effettuate da personale dell'INGV

1.2 Valutazioni del GdL per quanto riguarda i pozzi di Bagnoli

Per quanto riguarda le richieste del DPC, il GdL rileva che i due pozzi di Bagnoli hanno raggiunto profondità limitate e non sono oggetto di attività industriali che richiedano l'estrazione e la re-iniezione di fluidi. Pertanto non si ritiene che questi due pozzi possano interferire con la stima della pericolosità vulcanica o con il monitoraggio in corso nell'area.

2 - PERMESSO DI RICERCA “SCARFOGLIO”

Sul permesso di ricerca “Scarfoglio” è stato presentato un progetto per la realizzazione di un impianto geotermico pilota da parte della società Geoelectric Srl.

Alla base degli elaborati progettuali è una relazione redatta da AMRA SCA RL prodotta con il coordinamento di un dipendente dell'INGV. Il documento “Relazione geologico-geotermica AMRA-INGV” è disponibile sul sito del Ministero tra gli allegati per la Valutazione di Impatto Ambientale (SCA-006-SIA-00-A01). Nel documento, l'INGV e l'AMRA sono elencati fra gli Enti di cui si avvale il gruppo proponente. In merito al presunto coinvolgimento dell'INGV nella realizzazione del progetto Scarfoglio, è da rimarcare che il Presidente ed il CdA dell'Istituto, nelle sedute del CdA n. 6 e n. 8 del 2015, hanno dichiarato la completa estraneità dell'INGV alle attività di questo progetto.

Di seguito si riporta l'inquadramento del progetto come presentato al Ministero dell'Ambiente nel SIA redatto dalla EN3 – ENVIRONMENT ENERGY ENGINEERING s.r.l. con data 15.1.2015. In particolare nei successivi paragrafi 2.1 (Tipologia dell'impianto) e 2.2 (Ubicazione dell'area di progetto) si riporta quanto contenuto nel progetto presentato.

2.1 Tipologia dell'impianto

L'impianto di produzione di energia scelto per la sperimentazione è di tipo binario. Questo tipo di tecnologia, di cui in Fig. 2.1 si riporta uno schema funzionale di massima, utilizza il calore del fluido geotermico cedendolo ad un fluido “secondario” (o “intermedio” o “di lavoro”) che circola in un sistema condotte-turbina-alimentazione a ciclo chiuso, implementando un ciclo Rankine. Il fluido di lavoro è da valutare in dettaglio in base agli esiti della sperimentazione, anche se gran parte delle applicazioni impiantistiche utilizzano fluidi organici e vengono perciò indicate come ORC (Organic Rankine Cycle). Il progetto prevede comunque, al momento, l'utilizzo di isobutano, per le sue buone caratteristiche nello scambio termico e nel ciclo termodinamico.

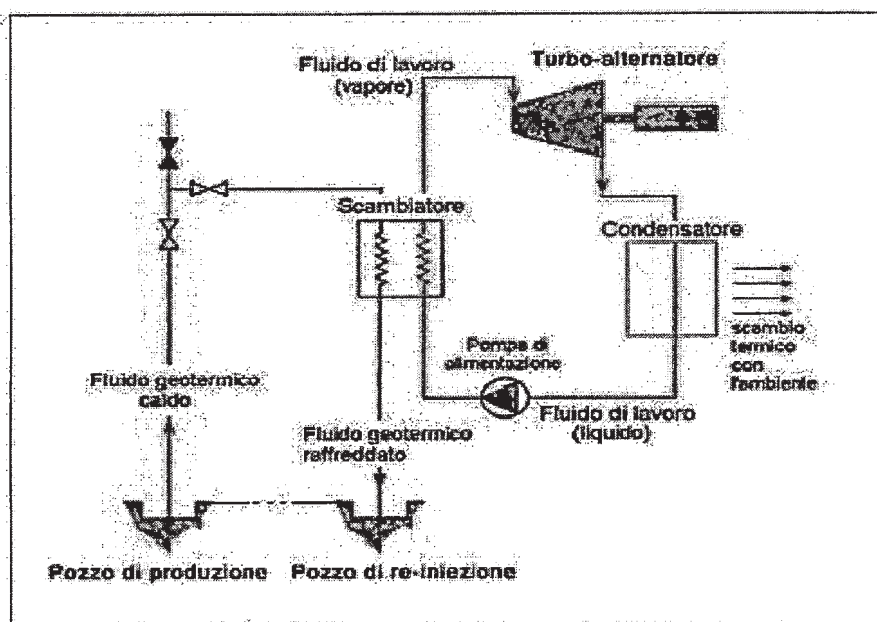


Figura 2.1 – Schema funzionale di impianto a ciclo binario

Come si vede nello schema in Fig. 2.1, il fluido caldo viene prelevato dal serbatoio geotermico mediante un pozzo di produzione e quindi avviato ad uno scambiatore di calore, nel quale, senza alcun contatto diretto, avviene la cessione della sua energia termica (o almeno di una parte di essa) al fluido secondario, caratterizzato da una bassa temperatura di ebollizione.

Dopo lo scambio termico, il fluido primario viene reiniettato, a temperatura ovviamente più bassa, nel serbatoio geotermico, in una zona opportuna per poter rientrare nel circuito energetico e rialimentare quindi il serbatoio stesso.

Il fluido secondario, invece, vaporizza per effetto dello scambio termico con il fluido geotermico e in questa forma viene fatto espandere in una turbina a vapore, accoppiata ad un generatore di energia elettrica. A valle della turbina il fluido (di colore verde nella figura precedente) viene avviato ad un condensatore, dove viene raffreddato attraverso un ulteriore fluido di raffreddamento (aria, nel caso del progetto “Scarfoglio”), tornando allo stato liquido ed iniziando quindi un nuovo ciclo.

Si tratta quindi di due circuiti di fluidi tra loro indipendenti e non in contatto. Le emissioni in atmosfera sono pertanto nulle, e così pure la contaminazione dei vari fluidi.

In Figura 2.3 (non rinvenuta nella documentazione inviata al Ministero) sarebbe riportata una rappresentazione a scala di maggior dettaglio, dalla quale si dovrebbe evincere quanto descritto in precedenza. Si rimanda, comunque, al Quadro progettuale e agli elaborati del Progetto definitivo per i necessari dettagli e approfondimenti.

La relazione redatta da AMRA descrive alcuni elementi che verranno trattati di seguito, fra cui:

- (I) Gli aspetti geologici, idrogeologici, sismici e vulcanici dell'area oggetto del progetto;
- (II) Le caratteristiche del fluido geotermico da utilizzare per alimentare l'impianto geotermoelettrico ed i modelli di riferimento utilizzati per la stima delle potenzialità geotermiche dell'area in esame;
- (III) Le possibili interferenze dell'impianto pilota con il sistema sismico, vulcanico ed idrotermale della zona.

2.3 Valutazioni del GdL sulla ricostruzione del sistema geotermico presentata dal proponente e sul relativo progetto

Queste le principali valutazioni del GdL sulla caratterizzazione del sistema geotermico come riportata nel progetto:

- Gli aspetti geologici sono trattati in modo estremamente sintetico e non permettono la definizione dei corpi geologici e di eventuali serbatoi geotermici presenti nel sottosuolo, soprattutto nell'area del progetto. In altre parole il modello geologico concettuale presentato per la definizione del sistema geotermico presente nell'area della Solfatara è assolutamente insufficiente a definire il/i serbatoio/i geotermici da sfruttare e il suo/loro stato (fratturazione, permeabilità, tipo di fluido e possibile presenza di sacche di gas, corpi geologici interessati ecc.).
- Gli aspetti idrogeologici sono ricavati da letteratura ed evidenziano solo l'andamento della superficie della falda più superficiale, peraltro poco dettagliata (erroneamente citata nella figura 2.5.3 della relazione AMRA come "piezometria profonda"), ma nulla dicono della falda profonda. La caratterizzazione e il potenziale energetico della risorsa geotermica nell'area di progetto sono basati sulle conoscenze relative a una perforazione eseguita negli anni '50 (CF 45) dalla Società SAFEN. Secondo i proponenti, i dati dell'area di Agnano suggerirebbero la presenza di un sistema acquifero profondo ben sviluppato a circa 1.400 metri di profondità con temperature che superano i 250°C. Altri pozzi superficiali perforati per scopi diversi, mostrano una circolazione dei fluidi caldi all'interno dei tufi fratturati nell'area di Agnano con gradienti di temperatura di circa 1.5° C ogni 10 m. Il GdL non

ritiene che questi elementi siano sufficienti a definire il serbatoio geotermico da sfruttare e il suo stato (fratturazione, permeabilità, tipo di fluido ecc.). Il tipo di fluido è descritto sulla base di una perforazione superficiale effettuata in prossimità del Tennis Hotel ad Agnano (100 m di profondità) che intercetta una falda superficiale che potrebbe non avere relazioni dirette con i potenziali serbatoi geotermici da sfruttare.

- I dati geochimici delle fumarole presentati nel progetto sono riferiti a misure effettuate nel corso del 2004, lasciando però intendere che le indagini siano state eseguite per gli scopi della relazione. Nel progetto si asserisce che la temperatura della fumarola Pisciarelli nel 2004 non avrebbe mostrato variazioni significative dopo l'aumento registrato nel periodo maggio-luglio 2002, rimanendo su valori inferiori ai 97°C. I proponenti suggeriscono che le variazioni del comportamento delle fumarole (in termini di pressioni e portate) osservate in tempi recenti siano da imputare a fenomeni di interazione con falde molto superficiali, arricchite in portata durante i periodi più piovosi. A loro parere, sussisterebbe una stabilità della composizione chimica che indicherebbe un relativo equilibrio geochimico del sistema. In realtà, quest'interpretazione si basa su dati relativi a circa undici anni prima della stesura della proposta di impianto in oggetto e si riferiscono ad un intervallo di tempo troppo limitato per essere rappresentativo dell'evoluzione geochimica dell'area. E' infatti ben noto che, a partire dal 2012, tutte le variazioni dei parametri geodetici, geofisici e geochimici si sono intensificate (vedi bollettini di sorveglianza settimanali e mensili prodotti dall'Osservatorio Vesuviano e disponibili sul sito) e hanno portato alla dichiarazione da parte del Dipartimento di Protezione Civile del livello di attenzione scientifica (livello "giallo") per la caldera dei Campi Flegrei. In particolare, nell'area interessata dal progetto di Pisciarelli, la temperatura della principale emissione è aumentata a partire dal 2005 fino a raggiungere gli attuali 115°C circa, mentre il campo fumarolico presenta significative variazioni ed estensioni, ampiamente documentate già presenti e note all'atto della stesura della proposta progettuale (2015).
- Nella parte finale del progetto, si discute il modello concettuale del serbatoio geotermico nell'area dei Campi Flegrei e si valutano le possibili interferenze tra l'estrazione e la reiniezione di fluidi con il sistema vulcanico, mediante l'applicazione di modelli numerici. Il modello concettuale proposto, tuttavia, è caratterizzato da strati piano-paralleli che sono in grave contraddizione con i risultati di magnetotellurica, che illustrano la presenza di grosse variazioni laterali nelle caratteristiche elettriche delle rocce attraversate. Gli stessi progettisti descrivono testualmente “le interpretazioni dei dati evidenziano, a livello locale, una zona di risalita di fluidi nel sito csamt1e, a scala più ampia, diverse zone di risalita di fluidi lungo il profilo Campiglione-Ippodromo (Fig. 3.2.1, da figura 3.1.2.1 della relazione AMRA). Lo sviluppo verticale delle zone di risalita di fluidi varia tra 1 e 2 km, mentre a livello

locale si nota la presenza di falde acquifere superficiali tra 25 e 250 m circa”. Tali anomalie sono determinate da significative discontinuità strutturali e marcano zone ad elevata permeabilità con risalita di fluidi profondi, a contatto con aree a ridotta permeabilità e temperatura verosimilmente inferiore. La presenza delle due aree di forte degassamento di Solfatara e Pisciarelli, con emissione di circa 3000 t/giorno di CO₂ (Cardellini et al., 2017) conferma chiaramente una vigorosa circolazione di fluidi verticale, localizzata lungo faglie e fratture. Di contro, le simulazioni numeriche proposte nel progetto prevedono la presenza di un’efficace copertura che confina la circolazione dei fluidi all’interno di un serbatoio ben definito e limita la risalita dei fluidi verso la superficie. Un simile schema teorico pare più adatto a descrivere il campo geotermico di Mofete (come suggerito anche da Carlino et al., 2016), la cui situazione geologico-strutturale è significativamente differente da quella dell’area della Solfatara. Ne deriva che i risultati delle simulazioni numeriche presentate nel progetto non sono appropriati a descrivere l’impatto che l’attività proposta a Scarfoglio avrebbe sul sistema vulcanico. Non si può cioè escludere che le variazioni di pressione di poro e di temperatura indotte dall’attività industriale possano quindi propagarsi al di là di quanto prospettato. In particolare, in assenza di un confinamento efficace, le variazioni indotte possono interferire con la naturale evoluzione di osservabili importanti per il monitoraggio vulcanico dei Campi Flegrei, come l’estensione delle aree esalanti, i tassi di emissione, la composizione e temperatura dei fluidi emessi, fino alla deformazione del suolo e alla sismicità.

- La letteratura scientifica sugli effetti legati all’emungimento e re-iniezione di fluidi nel sottosuolo illustra una significativa variabilità, in funzione delle caratteristiche del sito e del tipo di attività industriale. Nell’ambito di questa variabilità, sono possibili e comuni tassi di deformazione del suolo dell’ordine di 1-10 cm/anno ed eventi sismici localizzati in prossimità dei pozzi, a bassa profondità (1-3 km) e con magnitudo inferiore a 3 (Segall, 1989; National Research Council, 2012). Questo implica che eventuali segnali indotti dalla coltivazione del serbatoio geotermico andrebbero a sovrapporsi a quelli, del tutto simili, generati dal sistema vulcanico. Per quanto riguarda la sismicità dell’area, nel progetto presentato si legge che i primi 2 km di profondità sarebbero asismici, e dunque non si correrebbe il rischio di una sovrapposizione fra eventuali eventi indotti o innescati e la sismicità naturale. In realtà la sismicità dell’area interessa in prevalenza i primi 2 km (Fig. 2.3.2). Gli eventi sismici mostrano generalmente una magnitudo piuttosto bassa, e generalmente inferiore a M 1.5. Di conseguenza, le caratteristiche di tale sismicità fanno sì che eventuali eventi generati dalla reiniezione di fluidi sarebbero probabilmente indistinguibili da quelli causati dal sistema vulcanico. Anche i tassi di deformazione osservati nella caldera flegrea hanno valori confrontabili a quelli osservati in altre aree a

seguito dello sfruttamento industriale. Questa sostanziale somiglianza fra segnali indotti e segnali naturali renderebbe estremamente complicato, se non in alcuni casi impossibile, interpretare correttamente i dati del monitoraggio e quindi valutare il reale stato di attività del sistema vulcanico.

- I proponenti non prendono in alcun modo in considerazione la possibilità che l'interazione tra attività industriale e sistema vulcanico possa comportare dei rischi aggiuntivi, legati ad esempio ad esplosioni freatiche.
- L'intero progetto è stato sviluppato dai proponenti supponendo che il serbatoio geotermico si trovi in uno stato stazionario, conseguentemente non si tiene conto dell'evolversi del sistema vulcanico e non viene discussa l'eventualità che le condizioni del serbatoio geotermico possano cambiare, ad esempio a seguito di un nuovo apporto di volatili di origine magmatica. Invece l'area di Scarfoglio si è dimostrata negli anni estremamente dinamica, sia da un punto di vista vulcanico che vulcano-tettonico, con la presenza di sismicità superficiale, un'elevata attività idrotermale, tassi di deformazione importanti, sia di breve che di lungo termine, presenza di faglie attive ecc.
- L'elevata dinamicità descritta nei punti precedenti è ben dimostrata dai dati già a partire dagli anni '80 ed è diventata particolarmente evidente nell'ultimo decennio. Questo implica che fenomenologie tipiche di un sistema vulcanico di questo tipo, come estensione delle attività esalanti, sismicità superficiale, deformazioni del suolo significative potrebbero avvenire durante ogni fase di realizzazione del progetto. I proponenti non discutono un simile scenario, né dal punto di vista tecnico-industriale, né per quanto riguarda le eventuali ripercussioni sulla pericolosità vulcanica.

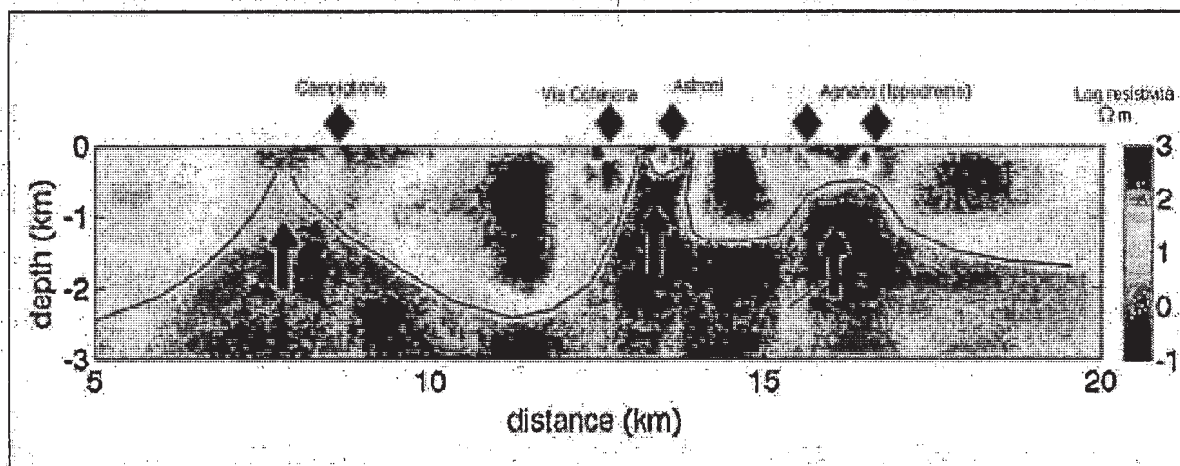


Fig. 2.3.1. Interpretazione del profili MT lungo la direttrice Campitello-Agnano. Il profilo evidenzia aree con forte risalita di fluidi profondi, localizzata lungo faglie e fratture e non evidenzia, come utilizzato nelle simulazioni numeriche proposte nel progetto, la presenza di un'efficace copertura che confina la circolazione dei fluidi all'interno di un serbatoio ben definito che limita la risalita dei fluidi verso la superficie (da relazione AMRA).

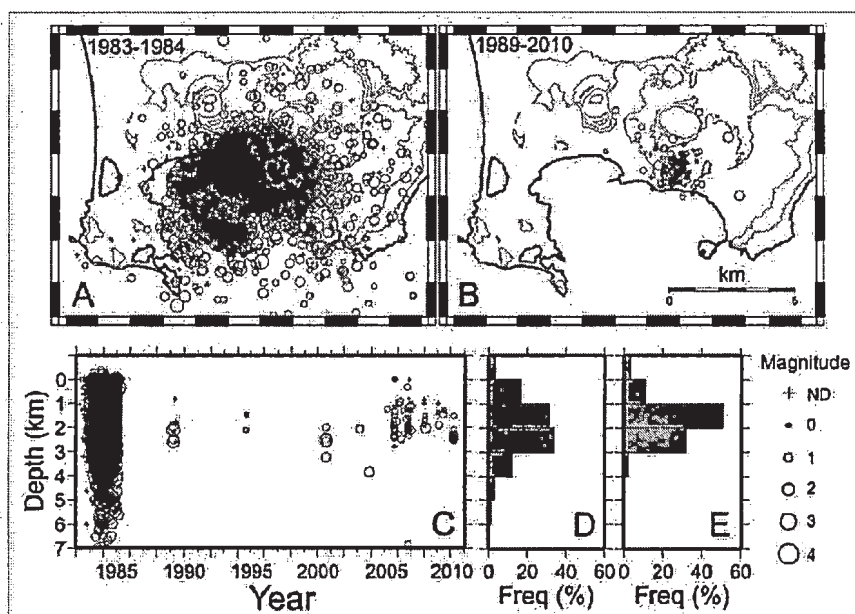


Fig. 2.3.2. Sismicità dell'area durante la crisi bradisismica 1982-1984 e nel periodo 1989-2010 (D'Auria et al., 2011). La maggior parte degli ipocentri è localizzata tra 1 e 2 km di profondità.

Il GdL conclude che gli elementi tecnico-scientifici presentati nel progetto sono incompleti, mancando completamente di indicazioni sulle caratteristiche del serbatoio geotermico che si vuole coltivare. Questo impedisce di valutare e approfondire gli effetti dell'eventuale impianto sulla

pericolosità vulcanica e sismica nell'area di Solfatara-Pisciarelli. Appare comunque assai probabile che i fenomeni sismici, deformativi ed esalativi associati all'installazione di un impianto geotermico nell'area possano creare seri problemi nell'interpretazione dell'evoluzione naturale dei fenomeni vulcanici in atto.

2.4 Decisione di archiviazione da parte del Ministero

Nella seduta del 3.08.2017 la commissione VIA VAS VI della Giunta Regionale della Campania ha espresso parere negativo alla procedura VIA-VI relativa al progetto Scarfoglio presentata dalla Soc. Geoelectric, comunicato con nota 6.09.2017 e scaricabile dal sito del Ministero dell'Ambiente (n. 0019913 del 6.09.2017) cui si rimanda per i dettagli. Tale parere è stato successivamente ratificato con Decreto Dirigenziale della Giunta Regionale della Campania n. 111 del 26.09.2017, sempre visionabile sul sito del Ministero dell'Ambiente.

Il 6.10.2017 con parere n. 2511 la Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale – VIA e VAS ritiene di non procedere all'ulteriore corso della valutazione del progetto di realizzazione dell'impianto Scarfoglio in quanto il proponente non ha ottemperato alle reiterate richieste di integrazioni; allo stesso tempo la Direzione Generale per le Valutazioni e le Autorizzazioni ambientali del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare procede all'archiviazione del procedimento di valutazione di impatto ambientale in quanto risulta scaduto il termine ultimo per la presentazione della documentazione integrativa da parte della Soc. proponente.

2.5 Conclusioni del GdL per il permesso Scarfoglio

L'area Scarfoglio è posta al centro della caldera dei Campi Flegrei, un'area vulcanica densamente popolata, estremamente dinamica ed in continua evoluzione. Secondo il GdL la documentazione presentata dalla società proponente non fornisce un'appropriata caratterizzazione del sito, e non vincola in modo soddisfacente le variazioni attese in caso di sfruttamento della risorsa geotermica di questo sito. Studi condotti altrove, e relativi all'impatto delle attività di estrazione e re-iniezione di fluidi nel sottosuolo, indicano come possibili conseguenze di tale attività l'occorrenza di deformazioni del suolo e di sismicità indotta, nonché variazioni dell'estensione e delle caratteristiche delle aree esalanti. Si può ipotizzare che una gestione assennata delle attività estrattive possa contenere questi effetti, limitandone l'impatto su persone e cose. Tuttavia, la natura e le caratteristiche dei fenomeni che possono essere causati da quest'attività industriale sono estremamente simili alle variazioni dovute alla naturale evoluzione del sistema vulcanico.

Questa sostanziale somiglianza impedirebbe di fatto di distinguere i segnali antropici da quelli vulcanici, rendendo ancor più complessa l'interpretazione dei dati di monitoraggio. La dinamicità e complessità del sistema vulcanico pongono anche la questione di una corretta stima degli effetti prodotti dall'interazione fra attività industriali, eventualmente controllabili, e un serbatoio geotermico in continua evoluzione e fuori dalle possibilità di controllo.

A seguito di queste considerazioni, il GdL ritiene che l'eventuale avvio dell'attività di coltivazione del serbatoio geotermico di Scarfoglio avrebbe un impatto importante sulle questioni poste dal Dipartimento della Protezione Civile, rendendo ancor più complessa una corretta valutazione dello stato di attività del vulcano e andando potenzialmente a incidere sul livello di pericolosità dell'area.

3 – PERMESSO SERRARA FONTANA

Nel Marzo 2012 un gruppo di lavoro costituito sia da personale dell'INGV che esterno, elaborò una relazione tecnico-geologica per la ricerca di risorse geotermiche finalizzata alla sperimentazione di impianti pilota nell'Isola d'Ischia per conto della Green Power S.r.l. La relazione fu presentata unitamente alla restante documentazione progettuale al Ministero per lo Sviluppo Economico. Gli elaborati geologici prodotti dall'INGV (firmatario) si riferivano nello specifico a due aree, una nel settore sudoccidentale dell'Isola (Monte Corvo), nel comune di Forio (quota 120 m slm), e l'altra nel settore sudorientale (Arenella), nel comune di Ischia (q. 90 m slm). In fase di progettazione la Società proponente decise di spostare l'area di perforazione del settore sudoccidentale in località Ciglio, nel comune di Serrara Fontana, ad una distanza di circa 1000 m da quella originariamente proposta e con un dislivello di circa 400 m.

Il progetto geotermico presentato da Ischia Geotermia S.r.l. (Gruppo GAVI) e STEAM S.r.l. (subentrate a Green Power) si riferisce all'area Ciglio, suddetta, in relazione al permesso Serrara Fontana (Isola d'Ischia).

Nei seguenti paragrafi da 3.1 a 3.4 è riportata una sintesi del progetto presentato dalle due società al Ministero dell'Ambiente per la realizzazione di un impianto geotermico da 5 MWe lordi alimentato con 300 t/h di fluidi a 200°C, emunti da pozzi di produzione deviati lunghi 1.450 m (spinti a 1300 m di profondità), e reimmessi nel sottosuolo a 90°C in un pozzo di reiniezione di uguale lunghezza.

3.1 Modello geotermico di riferimento

L'isola d'Ischia è stata oggetto di numerosi studi e interpretazioni poiché rappresenta, nell'ambito della dinamica vulcano-tettonica e dei processi di risorgenza, un caso esemplare sia per la rapidità delle deformazioni avvenute in passato che per la loro entità. L'isola, infatti, è dominata dalla struttura del blocco risorgente del Monte Epomeo (787m s.l.m.) che ha subito un sollevamento differenziale, compreso tra un minimo di 710 m e un massimo di 970 m, causato dalla spinta di masse magmatiche poco profonde (Carlino, 2012; Sbrana et al., 2009 e bibliografia inclusa). Il blocco risorgente è delimitato da faglie sub-verticali, di tipo normale, talvolta associate a piccole faglie inverse, formatesi nel corso del sollevamento dell'Epomeo, iniziato tra 55.000 e 33.000 anni fa. Queste strutture bordiere, che hanno isolato un blocco di circa 4x4 km, hanno andamento appenninico (NW-SE) ed anti-appenninico (NE-SW), con strutture importanti allineate anche N-S ed E-W.

L'isola è caratterizzata da un esteso campo di sorgenti calde e fumarole, con temperature in superficie che giungono fino ad oltre 100°C, sviluppato prevalentemente nei settori occidentale e meridionale.

Gli studi sul campo geotermico dell'isola, quelli sulla evoluzione vulcano-tettonica del Monte Epomeo ed i dati geofisici (Carlino et al., 2006; Sbrana et al., 2009; Paoletti et al., 2009, Carlino, 2012 e referenze incluse) fanno ragionevolmente ipotizzare la presenza di un serbatoio magmatico (un laccolite), che a partire da circa 55.000 anni fa ha progressivamente incrementato il proprio volume e si è impostato fino ad una profondità minima di circa 2 km dal livello del mare, nel settore SW dell'isola. E' proprio alla dinamica di questo laccolite, associata ad un aumento di pressione, che va ricondotta la risalita del blocco del Monte Epomeo, con il volume del magma che avrebbe subito un notevole aumento, a partire da 33.000 anni fa, che lo ha portato da circa 21 km³ a circa 80 km³ nella fase di massimo sollevamento.

Dopo l'ultima fase di attività vulcanica (iniziata circa 10.000 anni fa), questo serbatoio magmatico ha subito un progressivo raffreddamento, sia per fenomeni di trasferimento del calore (convettivi e conduttivi) sia per la perdita di fluidi magmatici (quenching) che ne hanno innalzato la temperatura del solidus. Ne risulta un magma che non è più allo stato fuso, ma si trova in stato di mush, con temperature oltre il punto critico dell'acqua pura (>374 °C) ma sotto il punto di fusione (<700°C). Un possibile schema del sistema magmatico dell'Isola è riportato in Fig. 3.1.1.

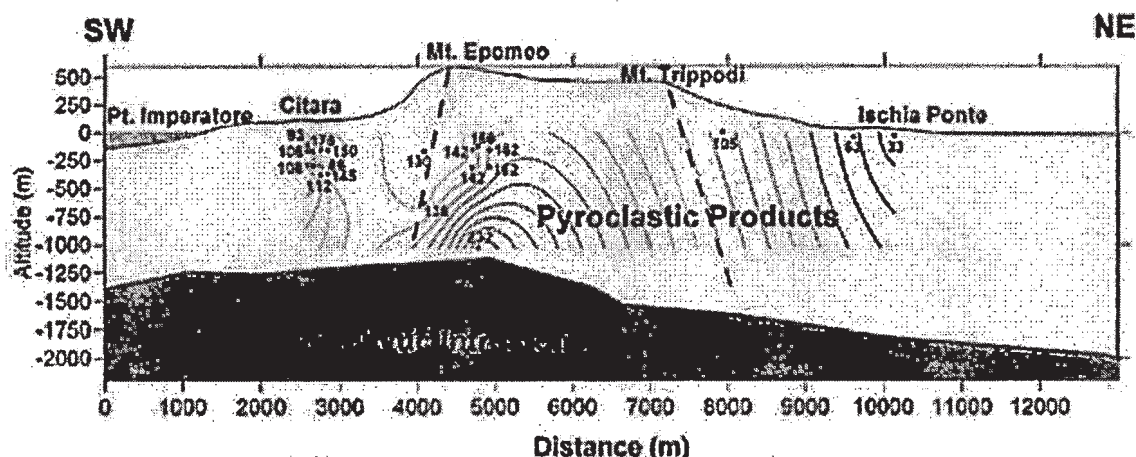


Fig. 3.1.1 Modello geofisico dell'isola d'Ischia (sezione SW-NE) con indicazione dell'intrusione trachitica e delle temperature misurate dai pozzi profondi e da indagini geofisiche (da Paoletti et al., 2009)

Gran parte delle informazioni relative allo stato termico dell'isola ed alle potenzialità per l'uso dei fluidi caldi a scopo geotermico, derivano dai dati relativi alle perforazioni geotermiche iniziate dalla Società SAFEN nel 1939. L'ubicazione dei pozzi profondi (da circa 400 a circa 1200 m) e superficiali (generalmente <100 m) (SAFEN-AGIP) è riportata in Fig. 3.1.2.

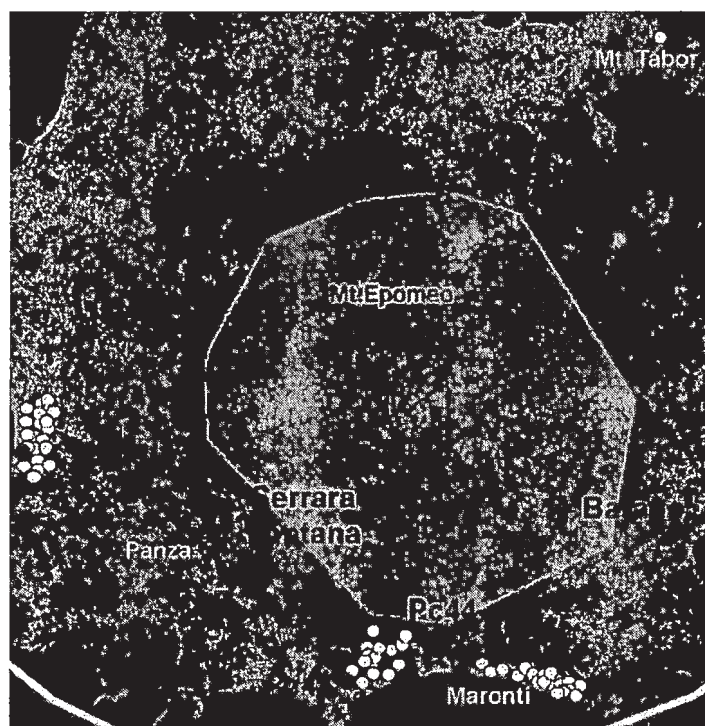


Fig. 3.1.2 Ubicazione pozzi profondi (in rosso) e superficiali (in bianco). In grigio il blocco risorgente (AGIP, 1987; Carlino et al., 2012).

I risultati delle perforazioni indicano che il settore più caldo dell'isola si estende poco a Sud-Ovest del blocco centrale del Monte Epomeo, tra i Comuni di Forio e Serrara Fontana. In questo settore si registra un flusso di calore mediamente $>550 \text{ mWm}^{-2}$ e gradienti estremamente elevati nella parte più superficiale.

Le termometrie misurate nei pozzi più profondi localizzati tra Panza (Forio) e Serrara Fontana (settore occidentale e meridionale) indicano la presenza di una robusta circolazione di fluidi in un intervallo di profondità tra circa -150/-200 m (sotto il livello del mare) fino a circa -800 m. I gradienti più superficiali (tra la quota campagna e 100 - 200 m sotto il livello del mare) sono invece caratteristici di sistemi prevalentemente conduttivi ed a minore permeabilità rispetto agli strati sottostanti.

La circolazione idrica sotterranea nell'isola d'Ischia è legata alle dinamiche vulcano-tettoniche che hanno condizionato la messa in posto dei depositi lavici e piroclastici che ne costituiscono i corpi acquiferi principali. Tale circolazione risulta complicata dalle intercalazioni e sovrapposizioni di depositi epiclastici e formazioni sedimentarie di origine marina: si esplica principalmente per infiltrazione nelle fessure e fratture dei termini litoidi dei complessi idrogeologici lavici e tufacei e nei pori dei depositi incoerenti piroclastici. Tale condizione lito-strutturale genera una struttura idrogeologica complessa, con deflusso idrico che avviene con falde acquifere sovrapposte. Le falde però possono essere in genere ricondotte, a grande scala, ad un'unica circolazione idrica sotterranea, caratterizzata da fenomeni di drenaggio e da mescolamenti tra acque di diversa origine.

Il recapito principale della struttura idrogeologica è rappresentato, anche in condizioni indisturbate, dal mare. Le temperature della falda misurate nei pozzi di quest'area risultano relativamente contenute e variano tra i 20°C ed i 67°C. Esse diminuiscono procedendo verso la costa, mentre di contro si incrementa il mescolamento con acqua marina, come testimoniato dall'elevata conducibilità (da 5000 a 40.000 $\mu\text{S/cm}$), indice dell'incremento di salinità.

Il fenomeno è comprovato dalle facies idro-geochemiche delle acque sotterranee, che passando procedendo verso la costa da una facies di transizione tra acque bicarbonato-alcaline e solfato-clorurato-alcaline, ad una facies clorurato-alcalina, tipica dell'acqua di mare.

3.2 Caratterizzazione di dettaglio dell'area di ricerca

Il dettaglio stratigrafico-strutturale, sintetizzato sulla base dei nuovi rilevamenti geologici di superficie (progetto Ca.R.G., Regione Campania, Foglio Ischia), dai dati di perforazioni profonde SAFEN e da dati di sondaggi più superficiali, sono stati utilizzati per effettuare la ricostruzione dell'assetto geologico del sottosuolo.

In particolare, per l'area in esame è stato ricavato il seguente assetto geo-litologico generale:

- una copertura di tufi rimaneggiati intercalati a depositi di origine mista, quali coltre colluviale di limi sabbiosi ed argillosi, depositi detritici debolmente litificati da massivi, ricchi in matrice sabbiosa e limosa, a strutturati, costituiti da sabbie grossolane, sabbie limose e blocchi di Tufo Verde. Tale copertura ha uno spessore variabile tra decine di metri fino a circa 200 m dal piano campagna. Da 0 a 80 m circa, prevalgono depositi di copertura e detritici di versante;
- spessori consistenti, da 180-200 m circa fino a 800-1.000 m dal piano campagna di Tufo Verde, talora intercalato a tufi grigi compatti e livelli di lava trachitica, da scoriacea a compatta;
- spessori consistenti di lave nella zona sottostante il Tufo Verde dell'Epomeo. In particolare una sequenza di lava, parzialmente alterata da fenomeni idrotermali, è stata rinvenuta nel pozzo Ischia 3 (Pc 46), tra 650 m e 1.050 m dal piano campagna.

La successione sopra descritta può evidenziare variazioni nel suo sviluppo latero-verticale, all'intorno del sito prescelto, in relazione alla geometria dei corpi deposizionali ed al controllo strutturale locale. In generale è possibile affermare che i livelli di Tufo Verde e delle sottostanti lave rappresentano i principali reservoir geotermici, dove la circolazione dei fluidi avviene principalmente per fratturazione, come evidenziato dal quadro geologico e strutturale dell'isola, dalle manifestazioni idrotermali in superficie, dalle indagini geofisiche e dal confronto tra stratigrafie e termometrie.

Per l'area in oggetto è stato fatto riferimento ai dati relativi ai pozzi esistenti, ed in particolare al pozzo Ischia 2 (Pc 47, località Ciglio, Panza) e Ischia 3 (Pc 46, Monte Corvo), nei quali la circolazione idrica avviene in più falde sovrapposte. La più superficiale di queste si registra a tetto dei Tufi di Citara all'interno dei depositi detritici di versante con alimentazione esclusivamente zenitale; la falda di base circola all'interno della successione dei Tufi del Monte Epomeo e delle lave antiche.

In questa zona, l'interferenza delle acque di falda con acque di ingressione marina avviene nei pressi dell'area costiera; si registra anche l'apporto di acque di origine profonda, in particolare in

prossimità delle principali strutture vulcano-tettoniche. Per i dettagli sulle caratteristiche geochimiche dei fluidi geotermali si rimanda agli elaborati di progetto.

L'insieme dei dati geofisici e geochimici evidenziano la presenza di un serbatoio geotermico superficiale (tra 100 m e 300 m sotto il livello del mare) con temperature tra 150°C e 200°C e pressione fino a 4 MPa (40 bar), ed uno profondo (≥ 800 m sotto il livello del mare) con temperature tra 270°C e 300°C e pressione di 8 MPa (80 bar). Il contenuto salino dei fluidi geotermali è variabile, ed in particolare la sua concentrazione diminuisce dalla costa (circa 30gl-1) verso il versante ovest dell'Epomeo (circa 5 gl-1).

Inoltre, le termometrie dei citati pozzi della SAFEN, in particolare i pozzi Ischia 2, Ischia 3 e Ischia 6, indicherebbero la presenza di una vasta zona di circolazione di fluidi idrotermali tra 100-150 m e circa 800 m, sotto il piano campagna, con temperature tra 140°C e 200°C. L'estensione laterale di questo serbatoio (limitatamente all'area circa ad Ovest del bordo occidentale del M. Epomeo), ricavato dalle indagini SAFEN (AGIP, 1987), è pari a un minimo di circa 16 km². Se si considera l'estensione verticale minima ricavata dai gradienti di temperatura dell'acquifero più profondo, pari a circa 600 m, il volume minimo interessato da queste acque termali ammonterebbe a circa 10 km³.

Il sistema geotermale è alimentato anche dai fluidi provenienti dal reservoir magmatico (il cui top è stato localizzato intorno ai 2 km di profondità, in forma di mush), che risalendo, per contrasto di densità, interagiscono con acqua di origine marina e meteorica. Durante la risalita, i fluidi si arricchiscono in contenuto salino ed alimentano numerosi sistemi di sorgenti calde e fumarole, allineati lungo il sistema di faglie e fratture che bordano il blocco occidentale del monte Epomeo. Analisi geochimiche sulle fumarole, ubicate in prossimità del sito di impianto, hanno permesso di valutare un contenuto massimo in incondensabili variabile da 0,3% e 0,45% del volume totale.

Tra i pozzi della SAFEN, il pozzo Ischia 3 (il più profondo, spinto fino a 1.051 m dal p.c.) fornisce utili indicazioni per la limitrofa area di perforazione dei pozzi di progetto. Il pozzo, perforato in prossimità delle fumarole dette di "Donna Rachele", nella parte più superficiale (tra 200 m e 800 m circa) è caratterizzato da una zona con discreta permeabilità e temperatura di circa 180 °C.

I dati concernenti le prove di produzione del pozzo Ischia 3 hanno indicato la presenza di un livello produttivo prossimo a fondo pozzo, per la presenza di un orizzonte fratturato, all'interno di formazioni rocciose vulcaniche di origine intrusiva. È verosimile che tale livello si possa trovare a quote superiori spostandosi verso l'horst vulcanico, in direzione E-NE rispetto al pozzo Ischia 3, in relazione ai fenomeni di sollevamento del blocco fagliato del Monte Epomeo in direzione W-SW. Con riferimento al sito di installazione dell'impianto (quota di circa 510 m sul livello del mare), per

quanto sopra detto, il target potenziale dei pozzi (Fig. 3.2.1) per la produzione di energia elettrica da fonte geotermica, si attesta intorno ai 700 - 800 m di profondità rispetto al livello del mare, pari ad una profondità di 1.200-1.300 m dal piano campagna.

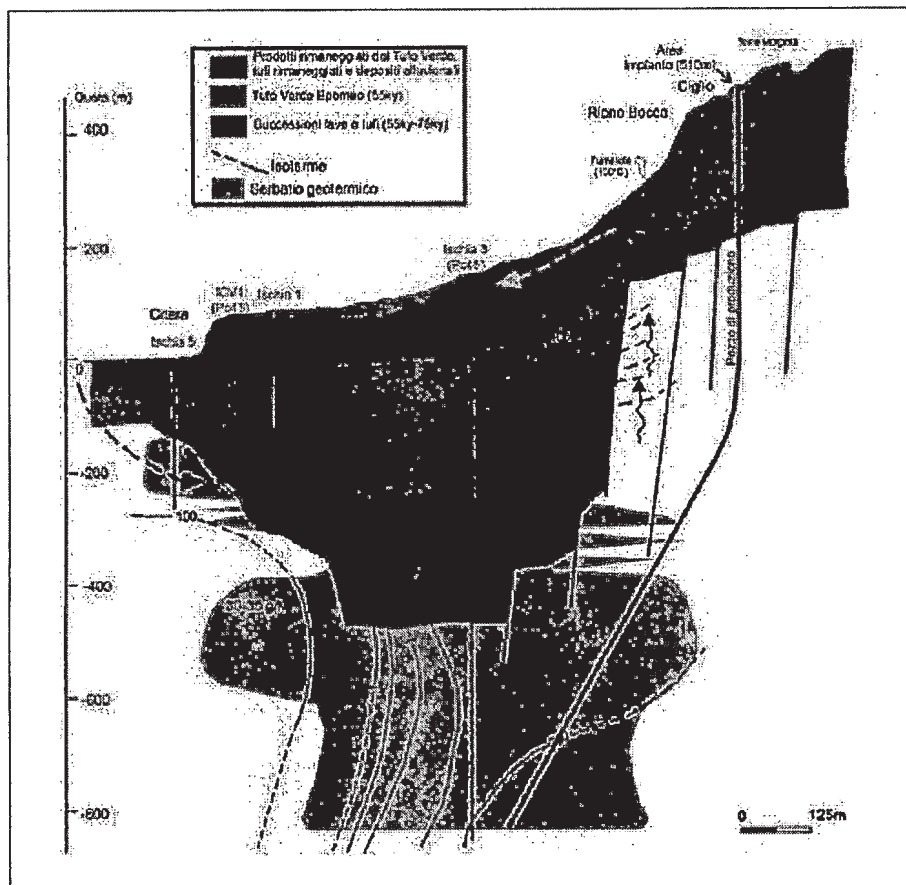


Fig. 3.2.1 Sezione geotermica E-W tra Torre Morgera e Giardini di Poseidon (Ctara). Sono indicate le isoterme ricavate dai dati di pozzo e da indagini geochimiche, le principali faglie (linee rosse continue) che ribassano il settore ovest dell'Epomeo, le zone di ricarica dei fluidi, marina e meteorica (freccie grandi) ed il contenuto salino medio dei fluidi in grammi per litro ($g\cdot l^{-1}$). Le freccie piccole (in blu) indicano le zone di risalita di fluidi (acqua e vapore) in superficie (modificata, da Sbrana et al., 2010).

3.3 Caratteristiche produttive del campo geotermico

Considerando quanto esposto nei precedenti paragrafi (per una disamina completa si rimanda al Progetto Definitivo), con particolare riferimento all'analisi della documentazione della Società SAFEN relativa alle indagini ed alle prove di produzione effettuate negli anni '50 sono stati desunti i valori di produzione dei pozzi da perforare nell'area di Serrara Fontana.

In particolare, partendo dalle informazioni riportate del pozzo Ischia 3 è stata ipotizzata una temperatura del fluido geotermico in serbatoio (alla profondità di 1000 m dal p.c.) $\geq 200^{\circ}\text{C}$, ed una pressione di serbatoio idrostatica a partire dalla quota di +70 m s.l.m.

Da – a (m dal p.c.)	Stratigrafia	Spessore (m)	T($^{\circ}\text{C}$) al letto
0 – 20	Piroclastite rimaneggiata con copertura di riporto	20	-
20 – 450	Tufo Verde del monte Epomeo	430	80 – 100 $^{\circ}\text{C}$
450 – 500	Tufo Grigio Trachitico	50	100 – 110 $^{\circ}\text{C}$
500 – f.p.	Lave Trachitiche e corpi sub-vulcanici	?	110 - > 200 $^{\circ}\text{C}$

Tab. 3.1 Descrizione dell'assetto tettonico, stratigrafico e termico dell'area interessata dai pozzi in progetto.

Conseguentemente, il serbatoio geotermico è caratterizzato da temperature maggiori di 200 $^{\circ}\text{C}$ e pressioni di 75-80 bar a 1.300 m di profondità verticali (circa 800 m sotto il livello mare).

3.4 Caratteristiche chimiche del fluido e capacità incrostanti

Per la caratterizzazione chimica dei fluidi geotermici dell'area in oggetto è stato fatto riferimento ai dati provenienti dalle prove di produzione relative al pozzo Ischia 3 (Pc 46, Monte Corvo). La prova di produzione, dopo una fase iniziale, è stata caratterizzata da una portata di 40 t/h di fluido, di cui circa 10 di vapore per una decina di giorni, fino al collasso degli ultimi 20 m di pozzo che probabilmente ha ostruito la frattura produttiva. Durante tale fase di produzione il rapporto acqua/vapore si è mantenuto pressoché costante oscillando tra 3,4 e 3,6.

Per quanto riguarda le concentrazioni di Cl, per tutto il periodo delle prove, non sono state registrate variazioni sensibili: valori di 3,5 gr/l misurati nella fase iniziale della produzione, si sono poi stabilizzati intorno a valori di 4,4 gr/l.

Anche i rapporti di $\text{SO}_4 - \text{CaO} - \text{MgO}$ rispetto al contenuto di Cl si sono mantenuti praticamente costanti.

La composizione chimica del fluido totale ricostruito, derivante dalle prove di erogazione di ottobre-novembre 1954, sono riportate nella seguente tabella 3.2.

Data	CO ₃	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	SiO ₂	Na ⁺	Ca ⁺⁺
Ott. 54	48	100	3440	440	300	3030	16
Nov. 54	37	110	3340	410	320	2940	18

Tab. 3.2 Composizione chimica del fluido alla fine delle prove di produzione del pozzo Ischia 3 (in mg/l).

I fluidi geotermici sono inoltre associati a modeste quantità di gas incondensabili per i quali non furono riportate indicazioni nel rapporto sulle sopra citate prove di produzione.

Il contenuto e la composizione dei gas geotermici sono stati pertanto valutati, sulla base dei dati analitici provenienti da campionamenti sulle fumarole di Donna Rachele (Chiodini et al., 2004), area in prossimità del sito di Serrara Fontana.

Nella seguente Tab. 3.3 sono riportati 3 valori tipici di composizione ricavati da Chiodini et al., 2004.

ID	DATA	H ₂ O	CO ₂	H ₂ S	CH ₄ ⁻
ISDR1	03/04/2001	996814	2864	29,5	0,140
ISDR2	18/10/2000	995500	4389	49,0	0,317
ISDR3	03/05/2001	997571	2366	43,0	0,180

Tab. 3.3 Composizione chimica dei gas principali da fumarole di Donna Rachele (Chiodini et al., 2004).

3.5 Indagini integrative

Nel gennaio 2016 la Società Ischia GeoTermia S.r.l. incarica l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Sezione di Napoli "Osservatorio Vesuviano", di eseguire una prospezione geofisica, con misure magnetotelluriche (MT), nell'area in esame al fine di determinare le caratteristiche elettriche dei litotipi presenti nelle aree investigate, evidenziando l'eventuale presenza di fluidi geotermali e di zone di discontinuità legate a processi vulcano-tettonici (faglie, fratture, ecc.) dell'isola.

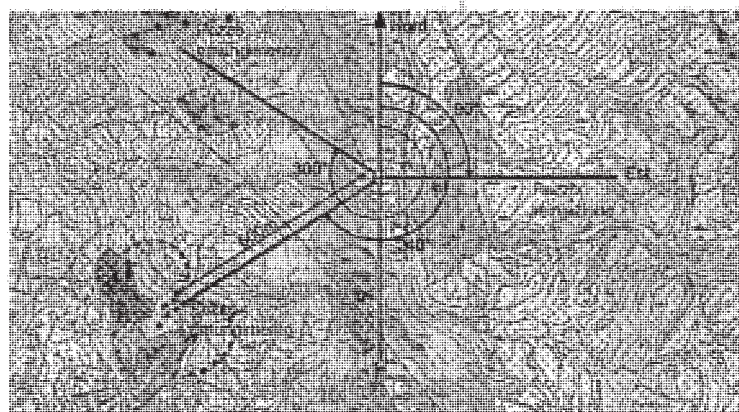
Tale indagine è stata eseguita nel 2016 e nel gennaio 2017 la Società ha integrato la documentazione presentata con l'aggiunta delle risultanze delle indagini svolte dall'INGV.

In particolare sono state eseguite misure MT lungo due linee approssimativamente ortogonali, ognuna di lunghezza di almeno 3 km, anche con parziale sovrapposizione dei punti di sondaggio.

Le misure e la loro elaborazione hanno permesso di ricostruire l'andamento della resistività elettrica lungo due profili (A, disposto lungo un asse che taglia l'isola di Ischia in direzione N-S estendendosi per più di 5 km di lunghezza, e B, disposto all'incirca in direzione SW-NE per circa 3 km).

Le sezioni di resistività elettrica sono riportate in due profili (Profilo A e Profilo B, rispettivamente). Per evidenziare la situazione del sottosuolo e dei pozzi di progetto si riporta il profilo WSW-ENE, la planimetria che evidenzia l'andamento planimetrico dei pozzi e la sezione di progetto. Il profilo di resistività evidenzia bene che i pozzi di emungimento intercetteranno un serbatoio geotermico profondo, delimitato da forti anomalie verticali, mentre il pozzo di reiniezione interesserà un'area poco indagata ed un serbatoio probabilmente distinto, delimitato e separato da quello di estrazione, da rocce ad alta resistività, verosimilmente con bassa permeabilità o a basso contenuto di fluidi (Fig. 3.5.1).

A)



- Depositi tufaci rimianeggianti (depositi di versante e di frana)
- Scorie di Punta della Cannuccia (lapilli e bombe scoriacee)
- Depositi tufaci da debris avalanche
- Tufi di Serrara-Cava patrella
- Tufo Verde del Monte Epomeo

B)

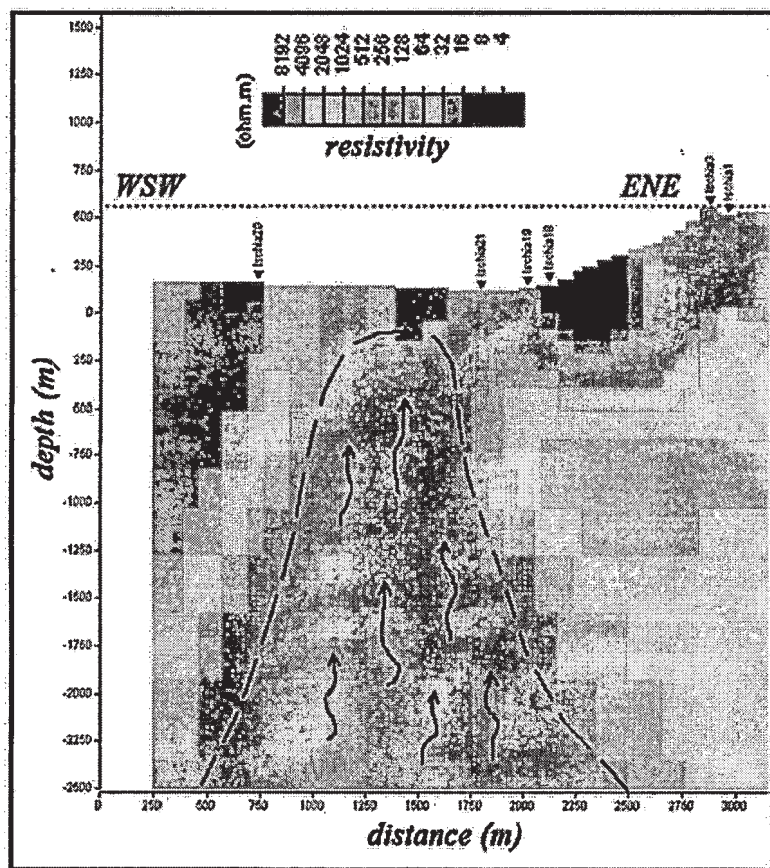


Fig. 3.5.1. A) Ubicazione dell'impianto ed andamento planimetrico dei pozzi di progetto. B) Sezione di resistività interpretata, con lo stesso andamento della sezione geologica/geotermica riportata in fig. 3.2.1. La sezione evidenzia chiaramente che i pozzi di emungimento e di reiniezione interessano serbatoi geotermici diversi.

3.6 Valutazioni del GdL sulla ricostruzione presentata dal proponente e sul relativo progetto

La ricostruzione dell'assetto geologico-strutturale dell'area interessata dal progetto d'impianto geotermico presentata dalla Ischia Geotermia S.r.l. (Gruppo GAVI) e dalla STEAM S.r.l. è, nel suo insieme, condivisibile e lo è anche, in linea di massima, quella relativa alla presenza e circolazione di fluidi.

Manca invece, a parere del GdL, un'adeguata definizione del quadro sismo-tettonico d'insieme che, considerata la sismicità dell'area in grado di produrre effetti devastanti, non può essere in alcun modo trascurata.

Il serbatoio di prelievo appare abbastanza ben caratterizzato, mentre quello di reiniezione non è conosciuto da un punto di vista idro-geochimico e non è stato oggetto di alcuna forma di approfondimento da parte dei proponenti il progetto. Ne deriva che non è stato analizzato dal progetto e non è quindi possibile valutare le variazioni del sistema geotermico indotte dalla reiniezione di fluidi raffreddati in serbatoi diversi da quello di emungimento.

Per quanto riguarda, in particolare, la valutazione dell'eventuale incremento della pericolosità sismica dell'area a seguito della realizzazione e dell'esercizio dell'impianto geotermico in progetto, si ritiene che essa sia stata fatta senza avere un modello sismo-tettonico attendibile: vi sono numerosi modelli in letteratura che spiegano solo in parte il processo di risorgenza dell'horst del monte Epomeo, ma non vi sono conoscenze adeguate e modelli attendibili per spiegare la subsidenza in corso ed i processi di tilting dell'horst stesso. Inoltre, non esiste una spiegazione scientifica sufficientemente robusta del perché in questo contesto i pochi terremoti che avvengono nell'area tendono a essere assenti lungo tutti i bordi della struttura in movimento, ma si concentrano a N del blocco risorgente, nell'area di Casamicciola. In altre parole, per valutare la situazione e definirne la pericolosità ed il suo eventuale incremento sarebbe necessario un modello sismo-tettonico dell'area, che attualmente non esiste, unitamente a maggiori dati sulle differenti condizioni sismo-tettoniche che si verificano lungo i bordi dell'horst. In particolare andrebbero accuratamente definiti quali sono gli effetti che si hanno sulla resistenza delle rocce coinvolte a seguito:

- i) della presenza di termalità diverse lungo detti bordi (che comportano variazioni della profondità alla quale avviene il passaggio dallo stato fragile a quello duttile) e
- ii) di velocità diverse di spostamento/deformazione (sicuramente presenti lungo i bordi dell'horst se, come si sostiene, è soggetto a fenomeni di deformazione e tilting).

E' ben noto, infatti, come una stessa roccia assuma resistenze alla rottura sotto deformazione in funzione della sua temperatura e della velocità di deformazione alla quale viene sottoposta. Ne consegue che è difficilmente condivisibile l'ipotesi di un aumento della pericolosità sismica modesto a fronte di massicce reiniezioni di fluidi, così come sostenuto dalla Società proponente

A tale proposito andrebbero valutati sia l'incremento della pericolosità sismica connesso con l'approfondimento della transizione fragile/duttile inducibile in un sistema in movimento da tali massicce reiniezioni di fluidi a minor temperatura, che a sua volta comporterebbe un maggior spessore di roccia in grado di accumulare energia deformazionale (Weertman & Weertman, 1975), sia la diminuzione delle resistenze di attrito lungo le superfici di faglia attive nell'area a loro volta derivanti dalla diminuzione della pressione efficace sui vari piani di faglia – dovute ad una maggiore pressione dei fluidi reimmessi. Variazioni della profondità della transizione fragile/duttile e della resistenza di attrito che potrebbero conseguentemente comportare il rilascio improvviso dell'energia deformativa che si va accumulando nelle strutture dinamicamente attive lungo i bordi dell'Epomeo, con l'occorrenza di eventi sismici di magnitudo non prevedibile.

Nel progetto, inoltre, non è valutata l'entità del depauperamento della risorsa geotermica nell'area di emungimento determinata dal prelievo di fluido da un'area a forte concentrazione di stabilimenti termali, senza reiniezione nello stesso serbatoio. La reiniezione in altra area, comporterà sicuramente variazioni che non sono state valutate e che andrebbero verificate con opportune misure e modelli numerici dei fenomeni.

Il GdL rileva anche che i pozzi previsti attraversano il bordo del blocco risorgente del Monte Epomeo, dominato dalla presenza di sistemi di faglie attive che hanno subito importanti dislocazioni verticali e che manifestano movimenti recenti significativi. Sia l'attraversamento con le perforazioni di questi sistemi di faglie che l'esercizio dell'impianto con prelievo e reiniezione di fluidi lungo questi sistemi può produrre nuovi movimenti e dislocazioni, sia per le variate condizioni di P e T, sia per la "lubrificazione" tramite immissione di fluidi di faglie esistenti. Anche questi effetti non sono minimamente considerati nel progetto.

Le variazioni (deformazione del suolo, sismicità, variazioni geochimiche) naturali e quelle indotte dalla realizzazione ed esercizio dell'impianto sarebbero, comunque, difficilmente distinguibili.

4 - Resoconti delle audizioni e delle osservazioni giunte in forma scritta

Le questioni a cui gli esperti sono stati invitati a rispondere sono espresse sinteticamente nei tre punti seguenti:

- 1 Ritenete che la realizzazione degli impianti geotermici di cui ai permessi in oggetto possa determinare condizioni di incrementata pericolosità dell'area per fenomeni vulcanici e sismici, o per fenomenologie connesse? Se sì, in che modo?
- 2 Ritenete che la realizzazione e l'esercizio dell'impianto in oggetto, anche in relazione all'estrazione e reiniezione di fluidi, possa influenzare l'acquisizione di dati della strumentazione di sorveglianza o arrecare disturbo alle strumentazioni dedicate al monitoraggio vulcanico delle aree in questione? Ritenete che un adeguato monitoraggio industriale possa garantire il riconoscimento degli effetti antropici e quindi un'appropriata interpretazione dei dati di sorveglianza vulcanica?
- 3 Ritenete che la caratterizzazione dei serbatoi geotermici come riportata nei progetti in oggetto sia adeguata e coerente con le attuali conoscenze geologiche, geofisiche e geochemiche, delle due aree vulcaniche anche in relazione alla loro dinamica?

4.1 Sintesi dei pareri degli esperti auditi realizzata dal GdL per le audizioni del 22 settembre e 19 ottobre 2017.

4.1.1 Audizione degli esperti Dott. Giovanni Chiodini, Prof. Alessandro Sbrana e Dott. Giuseppe Mastrolorenzo del 22 settembre 2017.

Presenti presso la sede INGV di Roma: Mauro A. Di Vito, Francesca Bianco, Augusto Neri, Stefano Caliro, Leonardo Sagnotti, Daniela Pantosti, Ugo Bilardo, Sergio D'Offizi, Micol Todesco, Claudio Chiarabba.

Il coordinatore legge i tre quesiti che si è deciso di sottoporre agli esperti e si procede a sentire Giovanni Chiodini. Preliminarmente sia Giovanni Chiodini che Alessandro Sbrana concordano nel consegnare a breve una nota riassuntiva dell'audizione, che per Chiodini integrerà quanto a suo tempo già inoltrato ai vertici INGV ed al Ministero dell'Ambiente. Su loro richiesta all'audizione sono ambedue presenti contemporaneamente.

Audizione del Prof. Giovanni Chiodini

Chiodini afferma di voler parlare quasi esclusivamente delle perforazioni geotermiche proposte per i Campi Flegrei per i quali egli ritiene che l'esistenza di serbatoi continui e confinati non è certa

in quanto le conoscenze attuali e la letteratura non lo dimostrano.

Si discute sulle attuali tecniche estrattive e di reiniezione a sistema chiuso, la problematica principale che emerge è relativa alla reiniezione di fluido raffreddato in un serbatoio non confinato. Sia Sbrana che Chiodini hanno molti dubbi sulla possibilità di reiniezione di gas incondensabili che, se reiniettati, potrebbero risalire lungo fratture del sistema e raggiungere la superficie.

Chiodini sottolinea come i Campi Flegrei siano un'area densamente abitata. Ne deriva che le problematiche connesse con la realizzazione di impianti geotermici devono tenere conto di rilevanti vincoli ambientali. Dal 2005 è ripreso il sollevamento del suolo nell'area (unrest), con ripresa della sismicità e variazioni continue del rapporto $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$. È stato rilevato anche un progressivo ampliamento della zona di emissione di CO_2 unitamente ad un aumento areale della temperatura al suolo. Entrambi gli incrementi sono incentrati nell'area del progetto Scarfoglio. La stragrande maggioranza degli eventi sismici dell'area flegrea si concentrano nei primi due km di profondità e nell'area dove sono previsti i pozzi.

Chiodini cita il lavoro di D'Auria et al. (2015) che ipotizzano la risalita di una massa magmatica al di sotto dell'area in esame fino a circa 3 km di profondità che sarebbe responsabile delle variazioni osservate a partire dal 2005. Aggiunge che si tratta di modelli interpretativi che non permettono, per definizione ed allo stato attuale delle conoscenze, di definire con certezza un modello per il sottosuolo dell'area. Cita a tale proposito il lavoro di Christopher R.J. Kilburn et al. "Progressive approach to eruption at Campi Flegrei caldera in Southern Italy", pubblicato su Nature Communications (2017), per evidenziare che numerosi autori ipotizzano che i Campi Flegrei potrebbero essere prossimi all'eruzione. Ritiene quindi che la sismicità registrata nell'area potrebbe essere anche in relazione a processi di trasferimento di fluidi.

Chiodini fa rilevare che nel recente articolo di Amoruso et al. 2017 (Thermally-assisted Magma Emplacement Explains Restless Calderas, SCIENTIFIC REPORTS. Vol. 7. Pag.7948-7948) si ipotizzano temperature, sotto l'area in esame di 700°C ad una profondità di 3.5 km. I gas che arrivano in superficie deriverebbero dal degassamento di un corpo magmatico a bassa profondità sotto Pozzuoli; il gas risalirebbe a impulsi per entrare nel sistema idrotermale. Le acque del sistema sono sia meteoriche che magmatiche.

L'aumento di emissioni di CO è interpretato come conseguente al progressivo aumento di temperatura del sistema idrotermale.

Dal sistema Solfatara-Pisciarelli sono emesse tra 2.000 e 3.000 t/giorno di CO_2 , valore simile a quello dei vulcani attivi noti nel mondo, 4-6 volte più alta di tutti gli impianti geotermici islandesi e 3 volte più alta di quelli della Nuova Zelanda.

L'area che emette gas si è andata via via allargando, come risulta dalle mappe pubblicate in Chiodini et al. (2010) ed in Cardellini et al. (2017). È importante notare come i pozzi previsti nel

progetto geotermico in questione sono ubicati proprio nelle aree dove i flussi sono variati.

La modellazione del sottosuolo evidenzia come 1 km al di sotto dell'area della Solfatara sia presente solo gas, non liquidi e il gas non si può reiniettare.

In ogni caso anche se venissero emunti fluidi in fase liquida, il loro emungimento richiamerebbe gas. Per fare una prima valutazione, Chiodini presenta i risultati di una simulazione numerica in cui un pozzo estrae 100 kg/s di fluidi, nella posizione prevista dal progetto. La simulazione mostra che, nell'arco dei due anni simulati, l'estrazione va a modificare la geometria del sistema geotermico richiamando progressivamente gas verso l'area di emungimento e verso la superficie. Benché preliminare, la simulazione indica che l'estrazione provocherebbe un cambiamento nel pattern di risalita della CO₂. L'incremento di gas verso l'area di estrazione e verso la superficie in area urbanizzata potrebbe avere effetti gravissimi e andrebbe considerata in una valutazione degli effetti dell'emungimento.

Nel corso dell'incontro si fa anche riferimento all'incidente avvenuto poco prima dell'incontro in Solfatara, e costato la vita di tre persone. Chiodini fa notare che se lo stesso evento fosse avvenuto con i pozzi attivi, sarebbe stato difficile dimostrare che i pozzi non erano stati la causa della disgrazia avvenuta. Analogamente ci sono ricercatori che sostengono che il terremoto di M=6.5 di Norcia abbia innescato la sismicità ai Campi Flegrei. Questo evidenzia la difficoltà di stabilire la relazione causa/effetto di alcuni eventi naturali e di fenomeni antropici sui sistemi naturali.

Alla domanda sulla possibilità di incremento di pericolosità derivante da attività previste dal progetto, Chiodini risponde che la pericolosità vulcanica resterebbe inalterata, ma l'hazard naturale legato all'emissione di fluidi/gas aumenterebbe significativamente per l'area adiacente l'impianto. Il cambiamento delle temperature del sottosuolo indotto dall'estrazione modificherebbe, in modo imprevedibile, i pattern di emissione dei fluidi, con modifiche anche permanenti. Questi cambiamenti in un'area densamente popolata potrebbero essere molto gravi. Chiodini evidenzia che i dati utilizzati dalla Società proponente per preparare il progetto Scarfoglio non rispecchiano quanto noto al momento della sua stesura, ma piuttosto sembrerebbero riferiti alla situazione pre-2005. A Pisciarelli, al centro dell'area interessata, la situazione nel 2005 era completamente diversa da quella rappresentata nel progetto. In quell'anno, infatti, sono cominciate le grosse variazioni che hanno portato alla situazione attuale. Ora i flussi di gas dal sottosuolo sono simili a quelli dei crateri di Stromboli. I pozzi in progetto si verrebbero ad inserire in un'area con forti variazioni, sicuramente molto diversa dal 2005. Chiodini sostiene, quindi, che sia il momento sbagliato per realizzare un progetto del genere, oltre che l'area inadatta.

Infine, il rischio di incidenti nel corso di perforazioni in aree ricche di gas in pressione sarebbe alto, e la morfologia del territorio favorirebbe l'accumulo della CO₂ nella conca adiacente. Chiodini rileva che il progetto non affronta in modo adeguato il problema del gas.

Con riferimento al progetto per Serrara Fontana, pur non esprimendosi in generale, Chiodini comunica che il problema della CO₂ è molto più limitato, in quanto l'emissione di CO₂ è molto inferiore rispetto a quella misurata ai Flegrei.

Audizione del Prof. Alessandro Sbrana

Alle ore 12.30 viene ascoltato Alessandro Sbrana il quale inizia evidenziando che, in generale, se da un serbatoio geotermico si estrae una miscela di gas e liquido, gli incondensabili non si possono reiniettare. Il gas può essere compresso e reiniettato insieme al liquido, ma tenderebbe a separarsi dal liquido e fuggire nelle rocce risalendo verso la superficie in modo imprevedibile.

Sbrana valuta che, nel caso di Scarfoglio, sia il progetto che il grado di conoscenza del sistema naturale sono piuttosto indefiniti e si chiede cosa è stato previsto di reiniettare (che tipo di miscela e con quali proporzioni), a quale profondità e con quali caratteristiche delle rocce incassanti. Nel progetto manca completamente una discussione su questi argomenti.

Sbrana ricostruisce quindi l'evoluzione che ha portato alla chiusura del pozzo SVI, dovuta alle complicazioni legate alla presenza di fluido supercritico che ha finito per essere prodotto attraverso l'intercapedine, invece che dal foro.

Fa notare che le portate di produzione e reiniezione indicate nel progetto sono quelle teoricamente necessarie a garantire il funzionamento di una centrale da 5 MW, ma il progetto non fornisce alcuna informazione circa l'effettiva esistenza di un serbatoio in grado di garantire quelle portate.

A suo parere, il progetto è incompleto in quanto non descrive come gestire la presenza di gas incondensabili e non specifica come verrebbe assicurata la sicurezza del pozzo (in particolare la stabilità del casing) in caso di deformazioni verticali del suolo.

Relativamente al progetto Serrara Fontana, Sbrana rileva che, rispetto all'istanza presentata nel 2012 al MISE, è cambiata la localizzazione dei pozzi proposti, prima previsti nell'area del campo sportivo Panza a Forio d'Ischia. La nuova localizzazione è prevista in un contesto geologico significativamente diverso. I dati di sottosuolo mostrati nel progetto dalla proponente sono stati estrapolati dai pozzi SAFEN Pc46-47. Si conoscono temperatura e composizione fluidi, ma non la permeabilità dei terreni da attraversare e che costituiscono il serbatoio. Inoltre non si conosce il serbatoio, la sua geometria e le sue caratteristiche.

La nuova ubicazione è su un ciglio che delimita il bordo dell'Epomeo, dove sono presenti importanti faglie bordiere del blocco risorgente. Sono previsti tre pozzi devianti: due produttori ed uno reiniettore.

L'attuale stato delle conoscenze per l'area è piuttosto carente di informazioni sulla parte profonda. E' nota la presenza di un corpo magmatico collocato a circa 1000 m di profondità, ma

del quale però non si conoscono le caratteristiche (fratturazione, permeabilità, ecc.).

Il modello geologico riportato non tiene conto che si perforano ed attraversano faglie attive, con le quali si andrebbe ad interferire sia in fase di perforazione che di esercizio.

I pozzi interesserebbero due serbatoi, dei quali è parzialmente caratterizzato solo quello di produzione. Di quello di reiniezione, ubicato sotto l'Epomeo non si conosce nulla, neanche dov'è la falda. Il fatto di emungere da un serbatoio con due pozzi e reiniettare in un altro può comportare evidenti squilibri nella stabilità della risorsa geotermica. Non ci sono dati sufficienti per valutare se le operazioni possono creare problemi oppure no. Infine, Sbrana ribadisce la preoccupazione relativamente all'interferenza dei pozzi di produzione con le faglie bordiere dell'Epomeo.

Per quanto riguarda il rischio legato ad attività di perforazione, non vi sono dati su eventuali sovrappressioni.

In conclusione questi i principali problemi evidenziati dal Prof. Sbrana:

- Il serbatoio di estrazione è diverso dal serbatoio di reiniezione.
- Si alterano entrambi i serbatoi, senza valutare le conseguenze.
- Si crea un campo di pressioni e temperature diverse lungo le faglie dell'Epomeo.
- Non si conoscono gli effetti di decompressione, dovuta all'estrazione, sulle faglie.
- Nella zona di reiniezione è presente sismicità recente.
- Non vengono valutati gli effetti di estrazione senza reiniezione dal serbatoio che alimenta molti impianti termali.

Audizione del Dott. Giuseppe Mastrolorenzo

Alle ore 16 viene ascoltato Giuseppe Mastrolorenzo via Skype e poi via telefono in viva voce:

Mastrolorenzo fa rilevare di aver prodotto ampia documentazione (Allegato 2) per esprimere parere contrario alla realizzazione degli impianti Serrara Fontana e Scarfoglio. Questa documentazione è stata spedita a vari interlocutori, fra cui: i vertici INGV (maggio-giugno 2015), il capo del DPC, il Ministero dell'Ambiente e il presidente della Regione Campania.

In questa documentazione, Mastrolorenzo denunciava la possibilità di sismicità indotta, esplosioni freatiche, subsidenza, esplosioni di pozzo, ecc.

Mastrolorenzo fa rilevare che:

- in nessuna parte del mondo sono state realizzate centrali geotermiche in aree urbane. Tra l'altro, per Campi Flegrei siamo in fase di allerta "gialla" (Attenzione);
- la relazione e il modello geologico redatto e presentato per Forio è stato trasferito senza modifiche a Serrara Fontana in ambiente morfologico e geologico totalmente diverso;
- il progetto indica esplicitamente che l'impianto può generare sismicità di magnitudo inferiore a 3;

- Scarfoglio è un sito strategico per il monitoraggio sismico e vulcanico;
- è previsto il monitoraggio in corso d'opera;
- l'evoluzione del sistema durante le attività di perforazione e estrattive non è prevedibile in maniera quantitativa;
- visto che non siamo in grado di calcolare gli effetti dovrebbe vigere il principio di precauzione;
- il sottosuolo è scarsamente conosciuto e la sua conoscenza è appena sufficiente a fare modelli di propagazione sismica (pur se approssimati).

Mastrolorenzo sostiene che perturbazioni anche piccole nel sistema geotermico possono portare a grandi modificazioni in quanto detto sistema non si comporta in modo lineare.

Ribadisce inoltre che in zone disabitate si potrebbe procedere in modo esplorativo, ma in aree a densa urbanizzazione l'esperimento è da considerarsi rischioso.

In conclusione, rispetto ai quesiti riportati nella lettera di invito, fa rilevare che vi sono i seguenti rischi per entrambe i siti (Scarfoglio e Serrara Fontana):

- sismicità indotta;
- subsidenza;
- diffusione di gas e modificazione degli acquiferi;
- processi franosi (soprattutto per Serrara Fontana);
- esplosioni freatiche;
- rischio di intercettare vene magmatiche (poco probabile, ma non si può escludere con certezza).

Mastrolorenzo nota che la relazione di Scarfoglio appare più debole e meno adeguata di quella di Serrara Fontana. Entrambe le relazioni hanno il carattere di esperimenti pilota in zone ad elevata criticità ed alto rischio.

La riunione si chiude alle ore 17.30 e si dà incarico al coordinatore di verificare la disponibilità della Prof.ssa Tiziana Vanorio, del Dott. Paolo Papale e di un componente del Tavolo di Lavoro "Ischia" per gli aspetti di geotermia dell'Isola d'Ischia, che verrà individuato tra i ricercatori della Sezione di Palermo.

Audizione della Prof. Tiziana Vanorio del 19 ottobre 2017.

Viene ascoltata Tiziana Vanorio in collegamento Skype tra le 18:00 e le 19:00.

I gruppi sono riuniti presso le sedi di Napoli, Bologna e Roma.

Tiziana Vanorio (TV) ha già fornito relazioni al Ministero riguardanti i due permessi Scarfoglio e

Serrara Fontana. Conferma i pareri rilasciati e li dettaglia maggiormente.

Chiede di partire dal quesito n. 3 proposto nella lettera di invito alle audizioni riguardante la conoscenza adeguata del serbatoio geotermico, e divide la risposta in due parti. La prima parte, riguarda le normali tecniche di caratterizzazione delle aree di sfruttamento geotermico e la seconda come è stata effettuata la caratterizzazione delle due aree per il progetto di realizzazione degli impianti, sulla base dei dati disponibili.

Vanorio afferma che generalmente in questo tipo di progetti si effettuano indagini di sismica a riflessione ad alta risoluzione (dell'ordine del metro). La riflessione è preferita alla sismica a rifrazione per la possibilità di individuare di sacche di gas e fluidi in generale.

Nei progetti presentati sono state effettuate solo prospezioni geoelettriche e magnetotelluriche, che sono da ritenersi integrative, non sostitutive delle prospezioni in sismica a riflessione. Le indagini presentate sono quindi da considerarsi indagini di massima. Le proprietà elettriche e magnetiche delle rocce non sono discriminanti ai fini della caratterizzazione dei serbatoi geotermici e per la corretta ubicazione e realizzazione di pozzi.

La sismica a riflessione deve poi essere ancorata ai log dei pozzi che forniscono ulteriori elementi per la caratterizzazione di acquiferi e serbatoi geotermici. Nell'area flegrea sono stati realizzati dalla joint venture Agip-Enel 12 pozzi, i cui dati sono disponibili. Vanorio si chiede come mai non sono stati considerati nella ricostruzione delle proprietà fisiche delle rocce e degli acquiferi geotermici.

I log e le proprietà fisiche delle rocce sono fondamentali in quanto forniscono le basi per l'interpretazione delle indagini sismiche e permettono una ricostruzione di dettaglio di un modello di sottosuolo dove si possano riconoscere porzioni ricche in fluidi, ben evidenziate attraverso l'analisi della propagazione delle onde sismiche. Questa parte manca del tutto nei progetti. In altre parole, la caratterizzazione del reservoir non segue le usuali procedure industriali e non risulta quindi adeguata. Questa mancanza è particolarmente rilevante in quanto la non conoscenza delle caratteristiche e variazioni laterali e verticali di un reservoir non permette la corretta ubicazione e programmazione della posizione e profondità dei pozzi geotermici.

In aree di vulcanismo attivo la caratterizzazione del serbatoio è ancor più complicata a causa delle importanti variazioni che possono derivare dalla dinamica di un sistema magmatico attivo. Questo complica ulteriormente la caratterizzazione del serbatoio. Evidenze di modifiche nel sistema geotermico profondo dell'area della Solfatara-Pisciarelli sono state discusse in alcuni lavori scientifici recenti. In ogni caso la prospezione geofisica fornisce eventualmente una fotografia del bacino in una condizione generale statica. La dinamica comporta che il bacino possa subire modifiche sia durante la fase di realizzazione dell'impianto che durante la fase di esercizio. Queste possono essere connesse sia a fenomeni esterni che alla realizzazione e conduzione dell'impianto.

Vanorio aggiunge che il rumore sismico ('noise') deve essere studiato e quantificato prima della

realizzazione dell'impianto e poi deve essere monitorato. L'esercizio dell'impianto causa noise prodotto dall'estrazione e reiniezione di fluidi e dalla loro migrazione. Non approfondisce l'argomento in quanto non lo ritiene di sua specifica competenza. In ogni caso l'analisi e la quantificazione del noise rientra tra le normali procedure da seguire in questo tipo di progetti, ma nei due progetti non sono previste analisi e monitoraggio di noise.

Sergio D'Offizi ricorda l'esecuzione dei pozzi nell'area flegrea, dove non è stata effettuata un'indagine di sismica a riflessione e chiede cosa si può ottenere con questo tipo di indagine. Vanorio ribadisce che con la sismica a riflessione si cerca di individuare e delineare le possibili aree con sacche di gas e fluidi nel sottosuolo. La sismica a riflessione comunque necessita di energia elevata, non possibile in aree densamente abitate come l'area flegrea. Vanorio chiarisce che nell'individuazione delle sacche di gas e fluido si utilizza l'inversione di velocità e il contrasto di impedenza per evidenziare la presenza di corpi con fluidi in sovrappressione. Tutte le considerazioni precedenti valgono sia per il progetto Scarfoglio che per quello di Serrara Fontana. Vanorio aggiunge che, nonostante il significativo investimento fatto dalla joint venture Agip Enel citata, il proposito di sfruttamento geotermico nell'area flegrea sia stato abbandonato per la bassa permeabilità delle rocce, che presentano valori tipici di aree vulcaniche, troppo bassi per consentirne lo sfruttamento geotermico. Nei pozzi effettuati nell'area flegrea la permeabilità trovata era veramente molto bassa, al punto da rendere il serbatoio improduttivo. Il fluido incontrato si può definire "a basso titolo". A Larderello, ad esempio, il reservoir geotermico è presente nelle rocce carbonatiche, ben più permeabili di quelle vulcaniche.

Alla domanda se sia possibile distinguere sismicità indotta da sismicità naturale, Vanorio risponde che è estremamente difficile. Gli studi in questo settore delicato sono ancora preliminari, ma hanno evidenziato le difficoltà connesse con il fatto che in un sistema geotermale la sismicità naturale è legata a variazioni di pressione, come la sismicità indotta ed è dunque molto difficile distinguere i due tipi di segnale. Riporta l'esempio dell'Oklahoma dove è presente un impianto geotermico e dove è comunque difficile separare le due cause; questo è ancora un problema aperto e non risolto. La sovrappressione dei fluidi sia che essa sia connessa a cause naturali, sia che sia prodotta da realizzazione ed esercizio di un impianto, determina aumento della pressione di poro e genera sismicità. Il meccanismo di generazione della sismicità è cioè lo stesso nei due casi.

Alla domanda se la realizzazione degli impianti previsti può creare condizioni di incrementata pericolosità, Vanorio risponde che non crede che si possa provocare un'eruzione, anche in considerazione della moderata profondità raggiunta dai pozzi, ma che gli impianti possano generare sismicità indotta. Ritiene sia un fatto acclarato che anche se la reiniezione dei fluidi avviene a piccole pressioni e per piccoli volumi, si può generare sismicità indotta se ci sono faglie vicine al punto critico. La loro magnitudo è bassa, quasi sempre inferiore a 4.

Vanorio ribadisce che uno dei motivi per cui non fu portato avanti progetto AGIP Enel prima della crisi bradisismica del 1982 era che non c'era permeabilità sufficiente, anche per i reservoir più profondi.

Il progetto attuale è mirato allo sfruttamento del reservoir entro i primi 1000 m di profondità, attraverso i tufi. Il problema è che i dati disponibili indicano che non c'è un serbatoio tale da poter essere sfruttato a tali profondità.

Ugo Bilardo chiede se sia mai stata fatta un'analisi di convenienza economica, in termini di praticabilità di un progetto, basata su indicazioni realistiche.

Vanorio risponde che in effetti il punto di partenza dei progetti sarebbero dovute essere le relazioni dell'AGIP, dalle quali si poteva evincere che “la spesa non valeva l'impresa”.

In conclusione, con riferimento ai rischi indotti, ribadisce che nell'esecuzione di impianti del genere i fenomeni sono solo localmente pericolosi per l'impresa che li esegue e non per aree vaste.

4.2 Note inviate dagli esperti Dott. Salvatore Inguaggiato e Dott. Paolo Papale

Il Dott. Salvatore Inguaggiato, della Sezione di Palermo dell'INGV, è stato ascoltato il 9 novembre 2017 presso la Sezione di Roma dell'INGV ed ha poi inviato la nota che segue.

Nota del Dott. Salvatore Inguaggiato (Primo Ricercatore INGV)

Oggetto: relazione di approfondimento per valutazione della pericolosità vulcanica a Ischia nell'area Serrara-Fontana a seguito delle perforazioni per lo sfruttamento di energia geotermica.

Le questioni a cui sono chiamato a rispondere sono le seguenti:

- 1 Ritenete che la realizzazione degli impianti geotermici di cui ai permessi in oggetto possa determinare condizioni di incrementata pericolosità dell'area per fenomeni vulcanici e sismici, o per fenomenologie connesse? Se sì, in che modo?
- 2 Ritenete che la realizzazione e l'esercizio dell'impianto in oggetto, anche in relazione all'estrazione e reiniezione di fluidi, possa influenzare l'acquisizione di dati della strumentazione di sorveglianza o arrecare disturbo alle strumentazioni dedicate al monitoraggio vulcanico delle aree in questione? Ritenete che un adeguato monitoraggio industriale possa garantire il riconoscimento degli effetti antropici e quindi un'appropriata interpretazione dei dati di sorveglianza vulcanica?
- 3 Ritenete che la caratterizzazione dei serbatoi geotermici come riportata nei progetti in oggetto sia adeguata e coerente con le attuali conoscenze geologiche, geofisiche e geochemiche, delle due aree vulcaniche anche in relazione alla loro dinamica?

Premessa:

Il progetto geotermico Serrara-Fontana si propone di realizzare l'emungimento di fluidi a temperature superiori ai 200°C nell'area Ovest dell'isola di Ischia mediante la realizzazione di due pozzi di emungimento di circa 1350 mt di profondità ed un pozzo di re-iniezione ubicato a circa 1000 metri dai pozzi di emungimento. Il sito per la perforazione è localizzato a circa 450 m di altitudine (sull'Horst) rispetto al livello del mare; il pozzo inizia perpendicolare e poi, dopo circa 500 metri di perforazione, continua in obliquo portandosi al disotto del centro abitato a circa 800 metri di profondità rispetto al livello del mare e raggiungendo così il serbatoio geotermico profondo ad alta temperatura. Il progetto prevede l'emungimento a circuito chiuso di circa 300 t/h (totali dai due pozzi) di fluido termale dal serbatoio geotermico (>200°C) e la sua reiniezione in profondità (a circa 90°C), da un solo pozzo, senza perdita di gas e materia in generale.

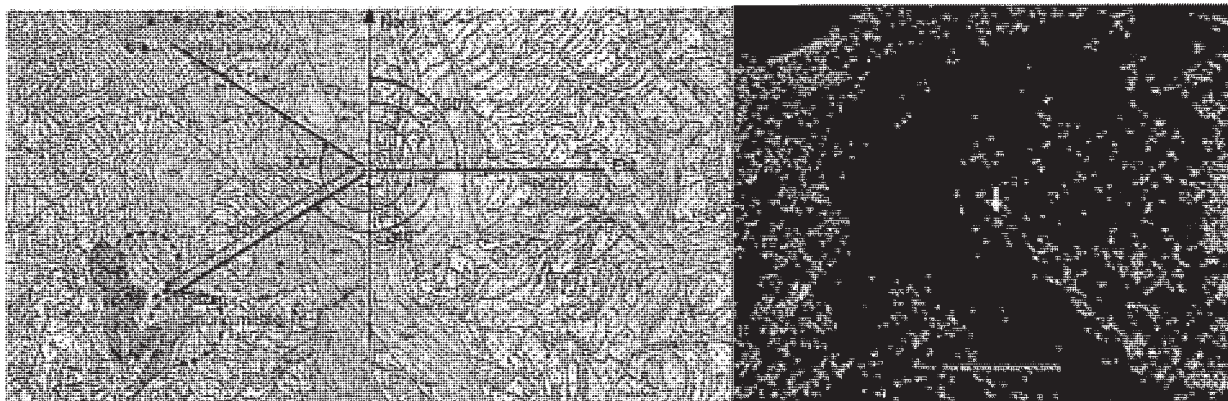


Fig. 14.1 b. Traccia della sezione geotermica della figura precedente, il cerchio rosso indica la posizione dell'impianto geotermico.

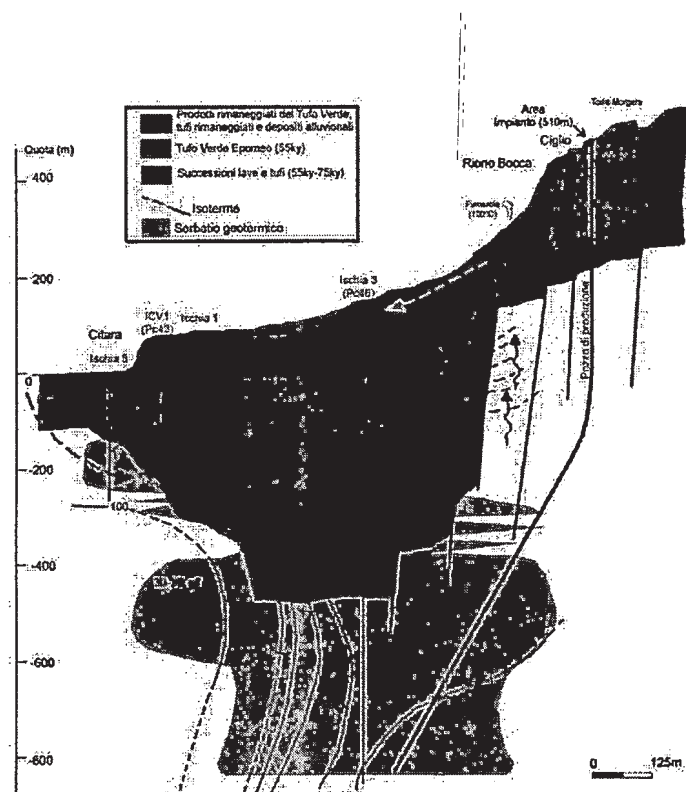


Fig. 14.1b. Sezione geotermica (A-A') all'incirca EW (vedi fig. 14.1a per traccia, sezione), passante per il sito dell'impianto geotermico. Vengono indicate le isoterme ricavate dalle temperature dei pozzi profondi (AGIP, 1987); l'estensione verticale dei possibili reservoir geotermici; i pozzi profondi SAFEN (Ischia 1, 3 e 5); e la traccia di uno dei due pozzi di produzione previsti per la realizzazione dell'impianto. Le frecce tratteggiate (blu e azzurra) indicano rispettivamente la ricarica marina e meteorica. Le frecce blu continue indicano le zone preferenziali di risalita del fluido (acqua+vapore) in superficie, dove si individuano importanti campi fumarolici ad elevata temperatura (~100°C). Vengono riportati infine i valori di salinità per diverse zone, in grammi per litro (modificato da Sbrana et al., 2010).

Per quanto riguarda la prima domanda (Ritenete che la realizzazione degli impianti geotermici di cui ai permessi in oggetto possa determinare condizioni di incrementata pericolosità dell'area per fenomeni vulcanici e sismici, o per fenomenologie connesse? Se sì, in che modo?).

La risposta è Sì! Per quanto riguarda fenomeni sismici.

Come si evince dalla stessa relazione di progetto presentata dalla società geotermica Ischia Geotermia s.r.l., si ipotizza la possibilità che la perforazione determini della sismicità indotta nell'area di re-iniezione dei fluidi.

Nella stessa relazione è stata presentata una modellazione fisica che prevede la possibilità di terremoti fino a magnitudo 2,4 della scala Richter a circa 800-1000 mt di profondità rispetto al livello del mare, nell'area di reiniezione dei fluidi geotermici con temperature intorno ai 90°C.

A tal proposito si nota che la modellizzazione eseguita è molto conservativa, si basa su un modello semplice caratterizzato da tre strati orizzontali sovrapposti a permeabilità differente, senza considerare la presenza delle faglie che nel caso in studio giocano un ruolo preminente nella circolazione dei fluidi nell'area di re-iniezione prevista dal progetto.

Per quanto riguarda fenomeni vulcanici, considerando che l'impianto geotermico sottrae energia al sistema naturale e di conseguenza al corpo magmatico, il funzionamento dell'impianto non dovrebbe determinare una pericolosità vulcanica diretta. Però, sempre in considerazione della attività sismica indotta a causa della re-iniezione dei fluidi in zone di faglia (contatto Horst-Graben), questa potrebbe creare una riattivazione delle faglie profonde con conseguente diminuzione della permeabilità, creando un DP negativo che potrebbe aumentare l'essoluzione di volatili dal magma e/o la rimobilizzazione del corpo magmatico.

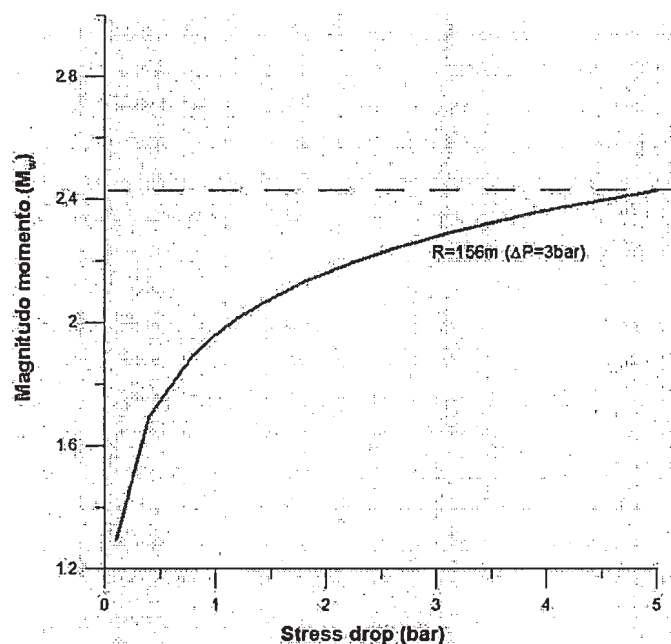


Fig. 1.5.2. Magnitudo (momento) massima attesa per potenziali terremoti associati all'attività di reiniezione dei fluidi geotermici. E' stata imposta una soglia di incremento di pressione dovute alla reiniezione pari a $\Delta P = 3 \text{ bar}$, oltre la quali si può potenzialmente sviluppare sismicità. R rappresenta il raggio della faglia circolare, la cui superficie equivalente attraversa l'intero volume di roccia in cui si verificano i suddetti incrementi di pressione

Inoltre, come si evince dalla indagine magnetotellurica eseguita, (in basso sono riportati i due profili effettuati N-S e W-E) la zona di emungimento e la zona di re-iniezione risultano separate da una zona a bassa permeabilità che non garantisce la re-iniezione dei fluidi nel sistema geotermico da cui vengono emunti. Questo produrrebbe nel tempo una forte differenza di pressione fra le due aree (di emungimento e di reiniezione).

Profilo A

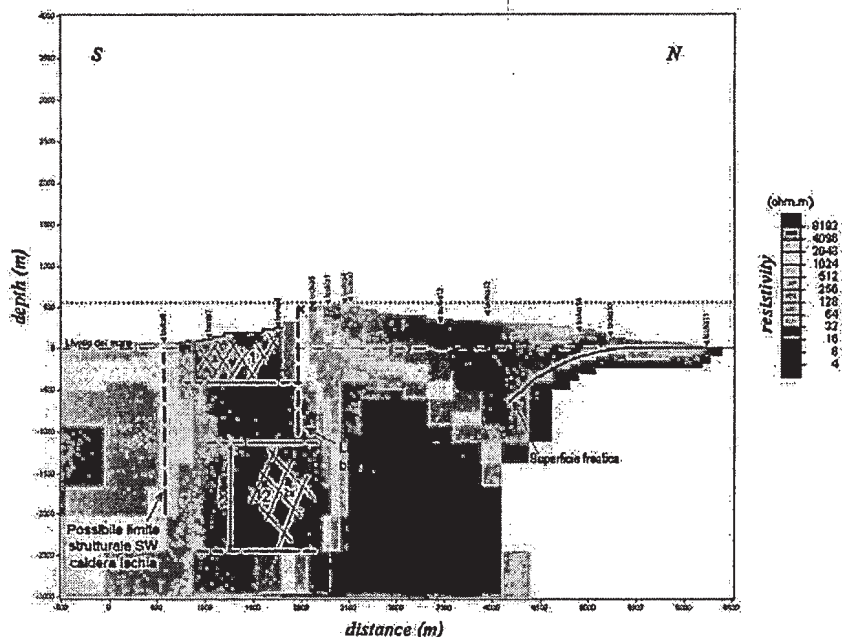


Figura 7. Modello 2D di resistività relativo al profilo Nord-Sud con individuazione dei due acquiferi (1 e 2) con potenze rispettivamente di circa 600m e 800m. Sono indicate le possibili strutture vulcano-tettoniche ricavate dai contrasti di resistività, e in particolare il limite della caldera nel settore Sud-Ovest e il limite strutturale del blocco risorgente del Mt. Epomeo. Viene inoltre individuata una struttura resistiva, assimilabile al basamento laccoltico previsto dai modelli vulcano-tettonici dell'isola, il cui top è localizzato intorno ai 2.3 km di profondità. La croce (x) in figura indica l'ubicazione dell'impianto.

Profilo B

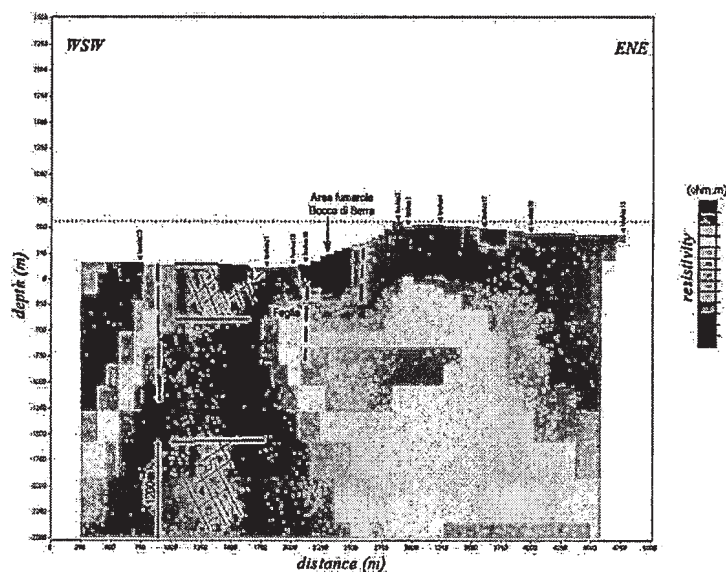


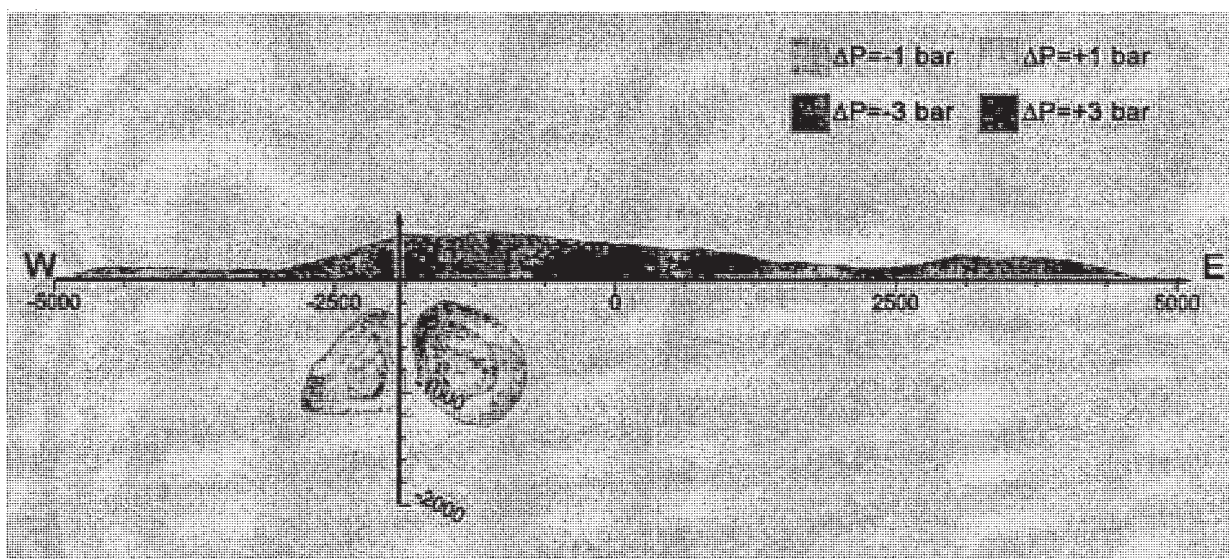
Figura 8. Modello 2D di resistività relativo al profilo WSW-ENE con individuazione dei due acquiferi (1 e 2) con potenze rispettivamente di circa 600m e 800m. Sono indicate le possibili strutture vulcano-tettoniche ricavate dai contrasti di resistività, e in particolare il limite

Figura 2. Disposizione dei due profili di misura A e B, realizzati lungo le direttrici N-S e WSW-ENE rispettivamente. La lunghezza del profilo A è di circa 5 km, quella del profilo B è di circa 3 km.

Infine, occorre ricordare che uno dei pericoli maggiori che possono accadere durante una perforazione geotermica è la perdita di controllo dell'impianto geotermico per aumento della

pressione totale dei fluidi essolti dal sistema naturale. Per quanto riguarda le fenomenologie legate alla eventuale sovrappressione del sistema geotermico determinato dalla re-immissione dei fluidi, dalla sismicità indotta e dalla micro-fratturazione del sistema, possiamo riconoscere i seguenti processi:

- Blow-out diretto che avviene dal pozzo di emungimento,
- Blow-out del sistema geotermico che avviene invece attraverso «path» alternativi che collegano il sistema geotermico profondo in sovrappressione con la superficie.



Differenza di pressione litostatica/idrostatica fra la zona di perforazione (450 m slm) e la zona dove insiste il serbatoio geochimico (-800 m slm).

In letteratura sono presenti diversi casi di perdita di controllo del sistema naturale con risalita di fluidi da percorsi alternativi (aree di debolezza strutturale del sistema naturale, faglie, fratture, sorgenti termali, etc.) che hanno determinato una catastrofe ambientale non circoscrivibile.

Per quanto riguarda la 2a domanda (Ritenete che la realizzazione e l'esercizio dell'impianto in oggetto, anche in relazione all'estrazione e reiniezione di fluidi, possa influenzare l'acquisizione di dati della strumentazione di sorveglianza o arrecare disturbo alle strumentazioni dedicate al monitoraggio vulcanico delle aree in questione? Ritenete che un adeguato monitoraggio industriale possa garantire il riconoscimento degli effetti antropici e quindi un'appropriata interpretazione dei dati di sorveglianza vulcanica?) la risposta è Sì! La realizzazione di questo impianto può influenzare l'acquisizione dei dati dalla strumentazione di sorveglianza sia geofisica che geochimica.

I terremoti ad Ischia sono prevalentemente ubicati nell'area nord dell'isola (Casamicciola) ad una profondità massima di circa 2 km, nella zona di contatto fragile-duttile, e sono responsabili degli ingenti danni causati al comune di Casamicciola. Per cui teoricamente non dovrebbero essere influenzati dalla sismicità indotta nell'area a sud-ovest (Serrara Fontana) perché dai riscontri geologici sembrerebbe che non ci sia una continuità/connessione con le faglie dell'area di Casamicciola. (Questo ovviamente è valido se la sismicità indotta non determini un aumento della micro-fratturazione nell'area suddetta ed una propagazione e riattivazione delle faglie in direzione dell'area di Casamicciola).

Considerando questa prima ipotesi (molto conservativa) la sismicità indotta (antropogenica di Serrara Fontana) dovrebbe essere ben localizzata e separata dall'attività sismica naturale che si riscontra ad Ischia nell'area di Casamicciola. Di contro l'attività dovuta alla sismicità indotta necessiterebbe un adeguato monitoraggio industriale (con una rete sismica dedicata nell'area di interesse geotermico) che potrebbe discriminare i due tipi di sismicità (antropogenica/naturale).

Il monitoraggio geochimico merita una nota a parte. L'emungimento dei fluidi determina un depauperamento di fluidi dalla zona serbatoio i quali vengono poi ricollocati in un'altra area (non necessariamente in continuità con il serbatoio da cui si emunge). Questo comporta due problemi differenti al monitoraggio geochimico:

- Scomparsa di aree sensibili di degassamento già conosciuta e quindi perdita di informazioni "storiche";
- Comparsa di nuove aree di degassamento non conosciute, conseguente ad un aumento della pressione totale dei fluidi, che necessitano essere investigate e modellizzate.

Per quanto riguarda la 3a domanda (Ritenete che la caratterizzazione dei serbatoi geotermici come riportata nei progetti in oggetto sia adeguata e coerente con le attuali conoscenze geologiche, geofisiche e geochimiche, delle due aree vulcaniche anche in relazione alla loro dinamica?)

La caratterizzazione del serbatoio geotermico si basa su una notevole quantità di dati e modelli bibliografici sia geofisici che geochimici e su una indagine supplementare di magnetotellurica eseguita ad hoc per questo progetto. Nonostante questa grande mole di dati e ricerche, mancano informazioni determinanti che occorre acquisire prima di qualunque operazione di emungimento e reiniezione. Infatti, la mancanza di dettaglio nell'area di contatto fra la zona di emungimento e la zona di reiniezione non permette una chiara valutazione dell'evoluzione del campo geotermico in funzione del suo sfruttamento nel tempo.

Ovviamente qualunque modello va poi corroborato dai dati raccolti durante la perforazione ed il funzionamento dell'impianto.

Considerazioni conclusive:

Riassumendo quanto detto precedentemente, la realizzazione di un impianto geotermico ubicato nell'area Serrara Fontana (Ischia) aumenta il rischio sismico e vulcanico nell'area in oggetto e può arrecare disturbo al monitoraggio vulcanologico sia continuo che discontinuo operato dall'INGV, sia da un punto di vista geofisico che geochimico. Inoltre, gli studi riportati a supporto del progetto sia bibliografici che effettuati ad hoc (indagine magnetotellurica) non sono sufficienti e/o esaustivi a rappresentare il sistema in oggetto in funzione della realizzazione di un progetto geotermico in questa area.

P.S.: Tutte le figure ed i grafici riportati nella relazione sono stati estratti dal progetto geotermico Serrara Fontana della società Ischia Geotermica S.r.l.

Il Dott. Paolo Papale non avendo potuto partecipare alle audizioni ha inviato il 14.11.2017 la relazione che si riporta di seguito:

Nota del 14.11.2017 presentata dall'esperto Dott. Paolo Papale INGV.

(Realizzate a seguito di richiesta specifica da parte del Gruppo di Lavoro INGV relativo alle perforazioni a scopo geotermico previste nelle aree dei Campi Flegrei e di Ischia - prot. INGV N. 9781 del 28/07/2017).

In relazione alle domande postemi, in queste note risponderò, in coerenza con le mie conoscenze scientifiche, solo in relazione all'area dei Campi Flegrei, su cui insiste il progetto di sfruttamento geotermico denominato "Scarfoglio". Inoltre, dei molti documenti presenti sul sito indicato, mi riferisco qui esclusivamente al documento "Relazione geologico-geotermica AMRA-INGV" (All. 1 al Doc. SCA-006-SIA-00-A01), che contiene gli elementi relativi alle valutazioni di tipo geologico/geofisico/geochimico che giustificano queste mie note.

Premetto che la situazione mi crea qualche imbarazzo; il mio Istituto, l'INGV, risulta infatti parte del Gruppo di Lavoro che ha collaborato con la società Geoelectric per lo sviluppo dell'iniziativa di cui in oggetto (Doc. SCA-001-SIA-00-INT pag. 18), ed è tra gli autori della "Relazione geologico-geotermica AMRA-INGV" (All. 1 al Doc. SCA-006-SIA-00-A01). Tale relazione costituisce, di fatto, il riferimento per le domande che mi vengono poste. Mi trovo quindi nella situazione in cui il mio Istituto, attraverso un suo GdL, mi chiede un parere ufficiale sul proprio operato in relazione a documenti ufficiali già inviati presso i Ministeri competenti. Rispondo quindi esclusivamente con lo spirito di fornire il contributo richiestomi, e nell'ottica di un confronto del tutto interno all'Istituto,

senza che tale contributo voglia in alcun modo rappresentare una critica all'operato dell'Istituto. Di seguito fornisco, in maniera per quanto possibile succinta, le mie risposte alle domande poste.

Ritenete che la realizzazione degli impianti geotermici di cui ai permessi in oggetto possa determinare condizioni di incrementata pericolosità dell'area per fenomeni vulcanici e sismici, o per fenomenologie connesse?

Stiamo trattando del possibile sfruttamento geotermico di fluidi di media entalpia (o medio/alta entalpia, a seconda di quale definizione si adotti per il limite medio-alto) in un'area vulcanica attiva, sede di rilevanti manifestazioni nelle ultime decine di anni, intensamente urbanizzata anche nelle zone immediatamente adiacenti l'area prevista per l'installazione dell'impianto geotermico, comunemente considerata tra le aree a più alto rischio vulcanico al mondo, e attualmente classificata al secondo livello (livello "giallo" o "attenzione") nella scala di allerta del Dipartimento della Protezione Civile. Tale premessa, che è ovviamente più che nota al GdL, è comunque necessaria affinché il seguito si ponga nel giusto contesto.

Gli elementi che potrebbero "determinare condizioni di incrementata pericolosità dell'area" si relazionano all'emungimento di fluidi, e – ancor più – alla re-iniezione di fluidi nel sottosuolo, necessaria per la tipologia di impianto previsto (a "ciclo binario"). Si tratta di elementi che in principio sono in grado di determinare modifiche meccaniche e termiche nel sottosuolo, attraverso processi estremamente complessi (di natura non-lineare) e intorno ai quali ad oggi non vi è, nella comunità scientifica internazionale, uniformità di vedute.

Il Documento AMRA/INGV "Relazione geologico-geotermica AMRA-INGV" (da ora: All. 1) riporta nella sua ultima parte una analisi di tali elementi, suggerendo che il volume di rocce interessato da variazioni significative di pressione sia estremamente ridotto, e l'entità di tali variazioni sia sufficientemente piccola, da non dover destare eccessive preoccupazioni. Personalmente trovo che le condizioni di rischio potenziale richiedano approfondimenti di gran lunga maggiori, anche alla luce del fatto che le sovra-pressioni locali, calcolate nell'All. 1, arrivano a 3 MPa, un valore certamente non trascurabile e che meriterebbe quindi ulteriori analisi di sensitività al fine di definirne i possibili margini di variazione. In generale, ritengo che sia necessaria una analisi globale dei rischi a un livello decisamente più approfondito. Ad esempio, non ho trovato riferimenti ad eventuali modifiche nelle condizioni P-T-X superficiali tali da poter favorire il verificarsi di esplosioni di tipo freatico, che nell'area in esame potrebbero impattare sull'urbanizzato. Sebbene l'ipotesi che attività geotermiche in pozzi fino a profondità inferiore ai mille metri possano innescare processi tali da condurre a una eruzione vulcanica possa apparire a prima vista remota, le dimensioni del rischio associato e la non-linearità dei processi vulcanici, richiedono un coinvolgimento e un

approfondimento importante da parte di una ampia comunità scientifica, a un livello decisamente superiore di quello rappresentato nell'All. 1.

Ritenete che la realizzazione e l'esercizio dell'impianto in oggetto, anche in relazione all'estrazione e reiniezione dei fluidi, possa influenzare l'acquisizione di dati della strumentazione di sorveglianza o arrecare disturbo alle strumentazioni dedicate al monitoraggio vulcanico delle aree in questione?

Ritenete che un adeguato monitoraggio industriale possa garantire la discriminazione dei segnali indotti dalla presenza dell'impianto e quindi un'appropriata interpretazione dei dati di sorveglianza vulcanica?

L'esperienza da altri campi geotermici mostra che le attività di estrazione e reiniezione di fluidi sono in grado di causare attività sismica. Nel presente caso non ci si attende grandi pressioni di reiniezione (per intendersi, niente di simile a quanto di prassi con tecniche tipo “fracking”, peraltro non in uso in Italia). Le argomentazioni nell'All. 1 presentano la visione secondo cui la probabilità di un evento sismico, indotto dalle attività relative allo sfruttamento geotermico, e di magnitudo tale da causare effetti significativi, sia trascurabile. Ritengo tali argomentazioni un buon punto di partenza, comunque da approfondire ulteriormente coinvolgendo una più ampia comunità di esperti. Sono comunque da attendersi, in principio, variazioni delle condizioni locali, in termini di pressione, temperatura, composizione dei fluidi, pressioni di poro (questi elementi sono tutti giustamente citati nell'All. 1), tali da risultare in variazioni e segnali registrabili dalle reti di monitoraggio sismico e vulcanico. Sull'entità di tali segnali è difficile esprimersi senza aver condotto studi specifici e approfonditi; ricordando che stiamo parlando di fenomenologie estremamente complesse, governate da relazioni altamente non-lineari, in sistemi con molti gradi di libertà, la cui conoscenza proviene da informazioni indirette – sostanzialmente, da inversioni di segnali geofisici e geochimici, che notoriamente hanno molteplici soluzioni – e sulle cui caratteristiche e proprietà la discussione scientifica è vivace e gli esperti sono tutt'altro che concordi. L'all. 1 riporta una valutazione delle “interferenze di tipo sismico” (dalla quale emerge il valore di 3 MPa sopra citato); al contrario, le “interferenze con l'attività vulcanica” sono trattate in tre righe che riportano una affermazione alquanto discutibile: “..poiché l'energia geotermica sottrae energia al sistema vulcanico, potrebbe semmai essere considerata stabilizzante, allontanandola dal punto critico (eruzione).” Si tratta di un argomento che ricorda molto quello, tristemente famoso e successivamente apparso del tutto ingiustificato, dello “scarico di energia sismica” emerso in relazione al terremoto de L'Aquila del 2009, secondo cui lo sciame sismico dei giorni precedenti il main shock avrebbe dovuto “scaricare” il sistema impedendo o limitando il

verificarsi di un terremoto di alta magnitudo. Una tale affermazione, non accompagnata da una approfondita analisi delle grandezze in gioco, non appare scientificamente accettabile.

Un elemento importante è che l'impianto verrebbe realizzato proprio nell'area complessivamente caratterizzata dai segnali geofisici e geochimici più rilevanti all'interno della caldera flegrea. Poiché risulta chiaro che le attività di sfruttamento geotermico vanno a incidere sulle condizioni locali di pressione (e più in generale, di stress), temperatura, composizione, pressione di poro, etc. (con distribuzione spaziale e temporale ed entità, come sopra detto, che andrebbero studiate in maniera approfondita), sembra del tutto naturale attendersi interferenze con i segnali delle reti di monitoraggio vulcanico e sismico. In relazione alla seconda parte della domanda, un serio monitoraggio industriale certamente potrebbe contribuire al riconoscimento di segnali anche di piccola entità nell'area dell'impianto e nelle aree immediatamente circostanti; non sono altrettanto certo, però, che possa condurre a una chiara discriminazione sull'origine dei segnali stessi – se naturale, o se direttamente legata alle attività industriali. Allo stato attuale delle conoscenze non ci sono elementi chiari, universalmente accettati, che permettano di discriminare in maniera robusta e affidabile (si vedano ad esempio le conclusioni della Commissione Ichese sulle possibili relazioni tra attività industriali e verificarsi dei terremoti in Emilia nel 2012, che ad oggi sono ancora largamente dibattute e talvolta aspramente contestate). Ovviamente, non è escluso che da una eventuale futura forte cooperazione tra l'INGV e la compagnia geotermica non possano emergere elementi scientifici utili in tal senso; ma si tratterebbe di sperimentazione, non certo dell'applicazione di tecniche già note e scientificamente robuste, e come tale non è dato sapere in anticipo quali risultati potrà produrre (devo dire che non mi è nemmeno chiaro quale sia il livello previsto per una futura collaborazione tra INGV e compagnia geotermica: ad esempio, è previsto che i dati ottenuti in ambito industriale siano disponibili, in tempo reale, all'INGV? Visto il ruolo di quest'ultimo nel sistema nazionale di protezione civile, e le responsabilità specifiche nell'area in questione, questo dovrebbe essere stabilito in maniera forte e chiara fin dall'inizio).

In sostanza, lo scenario che mi sembra di gran lunga più probabile, nel caso di realizzazione dell'impianto, somiglia al seguente: nel momento in cui dovessero manifestarsi nuovi segnali, in una vasta area centrale della caldera (ovvero dove si concentrano oggi la maggior parte dei segnali registrati dalle reti multi-parametriche dell'INGV), le ipotesi scientifiche e i modelli a favore o contro un contributo parziale o totale delle attività geotermiche nel determinare tali segnali si incontreranno e si scontreranno a tutti i livelli, assai difficilmente si perverrà a una visione condivisa, e avremo quindi a che fare con un aumentato livello di incertezza in relazione a ciò che staremo osservando e alle possibili evoluzioni del sistema. Se poi dovessero verificarsi eventi in grado di produrre danni a cose o persone, il dibattito si sposterà necessariamente sulle responsabilità, con tutte le incertezze e le conseguenze che si possono facilmente immaginare.

Ritenete che la caratterizzazione dei serbatoi geotermici come riportata nei progetti in oggetto sia adeguata e coerente con le attuali conoscenze geologiche, geofisiche e geochemiche, delle due aree vulcaniche anche in relazione alla loro dinamica?

Vorrei riferirmi qui in maniera più ampia alla caratterizzazione del sistema vulcanico (comprendente anche i serbatoi geotermici), come emerge dall'All. 1. Vi sono, infatti, alcuni elementi che destano qualche perplessità.

Inizierei con la conclusione del documento, dove si dice: “..l'osservazione più generale, supportata dall'esperienza di circa 40 anni di fenomeni bradisismici, che gli strati più superficiali (almeno i primi 1-2 km) sono sostanzialmente asismici. E' questo il vantaggio più evidente di un'area...”. Questa affermazione è difficilmente comprensibile alla luce dei dati esistenti; ad esempio, dalla Figura 4 in D'Auria et al. (2011), riportata nello stesso All. 1 come Fig. 2.3.2, emerge che almeno il 50% dei sismi della sequenza 1982-84 si localizzano a una profondità inferiore ai 2 km, e oltre il 60% dei sismi nel periodo 1989-2010 si localizzano nello stesso range di profondità.

Altro elemento che suscita perplessità è il fatto che l'intero documento non discute l'ipotesi dell'esistenza di un corpo magmatico alla profondità di 3-4 km, così come emerge da una abbondante letteratura (p.es.: Gottsmann et al., JGI (2006); Crescentini & Amoruso, GRL (2007); Amoruso et al., GRL (2007), EPSL (2008); Woo & Kilburn, JGR (2010); Trasatti et al., EPSL (2011); Amoruso & Crescentini, GRL (2011); solo per citare alcuni di quelli già disponibili alla data dell'All. 1).

Al contrario, dalla lettura dell'All. 1 si ricava la visione (si veda anche la Fig. 3.2.1.5) secondo cui non vi sarebbe magma – né allo stato di melt, né come mush cristallina – al di sopra dei 4 km di profondità; e che il bradisismo dei Campi Flegrei sia del tutto imputabile all'azione dei fluidi geotermali, visione questa anch'essa sostenuta da una buona letteratura, ma che qui viene presentata unilateralmente. Al massimo, un possibile ruolo attivo da parte del magma nelle variazioni osservate in superficie viene vagamente accennato come ulteriore ipotesi, ad esempio dove si dice: “I meccanismi interpretativi più recenti del bradisismo flegreo prevedono che il fenomeno di sollevamento e subsidenza che si osserva nelle fasi di unrest e post-unrest, rispettivamente, può essere generato dalla perturbazione dei fluidi geotermali che attraversano la zona più permeabile della caldera tra 500 m e circa 3 km di profondità, le cui proprietà fisiche dipendono dalle condizioni di temperatura e pressione del sistema geotermale stesso (figura 2.3.1). Tuttavia non può essere escluso anche un contributo magmatico al sollevamento.” Oppure, un riferimento vago alla possibile presenza di magma più superficiale, sebbene non esplicito, si può

ricavare (se uno già lo sa) dal seguente: “Secondo recenti studi un meccanismo più accreditato, responsabile del sollevamento, sarebbe da associarsi alla dinamica del sistema acquifero superficiale, il cui aumento di temperatura e pressione sarebbe strettamente legato alla dinamica della camera magmatica posta al disotto di questo.” Nei fatti la possibile presenza di magma nei primi km di profondità non è analizzata, non dando quindi il necessario credito ai numerosi studi, alcuni sopra citati, che ne ipotizzano e analizzano la messa in posto e le caratteristiche. In questa forma, l’All. 1 non sembra rappresentare in maniera adeguata e corretta la pluralità di visioni e di possibilità presente nella letteratura scientifica.

La sessione 2.5.1 “Composizione chimica delle fumarole” tratta il tema in pochissime righe, dando l’impressione di un sistema generalmente stabile nel quale non si osservano variazioni di rilievo. Si dice: “La temperatura della fumarola Pisciarelli nel 2004 non ha mostrato variazioni significative ($T < 97^{\circ}\text{C}$) dopo l’aumento registrato nel periodo maggio-luglio 2002. [...] La stabilità della composizione chimica indicherebbe invece un relativo equilibrio geochimico del sistema geotermale rispetto alle condizioni di temperatura e pressione dei serbatoi.” Queste valutazioni, espresse molti anni dopo il 2004 (l’All. 1 riporta la data del gennaio 2015), non sembrano tenere conto dei risultati di varie pubblicazioni allora esistenti, nelle quali si mettono in luce significative variazioni termiche e composizionali delle fumarole; ad es. Chiodini et al., *Annals of Geophysics* (2011), sulle fumarole della Solfatara: “Since 2007, the gas geoindicators have indicated pressurization of the system, which is most probably caused by the arrival of deep gases with high CO_2 contents in the shallow parts of the hydrothermal system. This pressurization process causes critical conditions in the hydrothermal system, as highlighted by the increase in the fumarole temperature, the opening of new vents, and the localized seismic activity. If the pressurization process continues with time, it is not possible to rule out the occurrence of phreatic explosions.” E ancora Chiodini et al., *Geology* (2012): “More recently the behaviour of the system has changed: the magmatic component of fumaroles has increased, swarms of earthquakes are more frequent, and the ground has started a general uplifting trend, indicating that the hydrothermal system undergoes repeated injections of magmatic fluid.” Ancora una volta, sembra inevitabile dover concludere che l’All. 1 non riflette pienamente la pluralità di conoscenze e visioni della comunità scientifica, anche interna allo stesso INGV.

Mi soffermo infine sull’elemento costituito dai gradienti termici, e in particolare dalla loro estrapolazione a profondità maggiori che non quelle di misura, si vedano le Figg. 2.5.2.2 e 2.5.2.3. Tali estrapolazioni mostrano che temperature magmatiche si otterrebbero alla profondità di circa 7.5 km, dove quindi andrebbe localizzato il magma (in accordo, in tal caso, con i risultati delle tomografie sismiche, citati nell’All. 1). Credo che un elemento di rilievo, che può essere utile in

questo caso, sia emerso dai risultati delle attività di perforazione alla caldera del Krafla, in Islanda, sede di una importante attività di sfruttamento geotermico.

Nell'ambito di un progetto ICDP volto alla ricerca di fluidi supercritici, un consorzio internazionale aveva eseguito numerosi studi geofisici multi-parametrici volti alla definizione delle condizioni per la presenza di tali fluidi; nel 2009 si è proceduto alla perforazione, con l'obiettivo di raggiungere 4 km di profondità, dove si credeva di trovarsi al di sopra del corpo magmatico, e in condizioni supercritiche. Al contrario, alla profondità di soli 2.1 km e in maniera del tutto inaspettata, le trivelle hanno incontrato magma praticamente afirico (allo stato liquido). Questo rappresenta il primo, ancora uno dei pochissimi, e senz'altro il più conosciuto e studiato caso di "encounter" con un corpo magmatico all'interno della crosta terrestre.

La composizione del melt è riolitica, completamente diversa dai basalti eruttati in epoca storica (e per ultimo a cavallo dei '70-'80) all'interno della caldera. Retrospectivamente, si è compreso che in almeno altri due casi con certezza, forse in altri due casi ancora, le trivelle avevano già incontrato magma liquido alla stessa profondità, a distanze rilevanti all'interno della caldera, suggerendo quindi la presenza di un orizzonte esteso, forse un sill, composto da magma allo stato liquido. I gradienti termici misurati durante la trivellazione hanno mostrato andamenti relativamente bassi fino a sole pochissime decine di metri dal magma; in pratica, nell'arco di circa 30 m le temperature aumentavano da circa 300 a oltre 900 °C.

Questo rilevante esempio – che non si basa su modelli o speculazioni, ma su osservazioni dirette – suggerisce due aspetti che mi sembrano particolarmente di rilievo nel caso presente:

L'estrapolazione verso il basso dei gradienti termici più superficiali può non avere alcuna rilevanza nel definire la transizione solido-liquido;

Persino in un caso estremamente studiato, a livello comparabile e per certi aspetti superiore a quello dei Campi Flegrei, la presenza di magma a livelli superficiali può sfuggire alle più moderne tecniche di prospezione geofisica.

Credo che anche di questi elementi sia opportuno tenere conto, nell'immaginare, alla luce delle conoscenze attuali, la struttura interna della caldera dei Campi Flegrei.

Pisa, 14 novembre 2017

5 -CONCLUSIONI GENERALI

Le conclusioni seguenti sono basate sulle valutazioni del GdL di tutto il materiale disponibile relativamente ai pozzi di Bagnoli (Campi Flegrei) e sui permessi di ricerca Scarfoglio (Campi Flegrei) e Serrara Fontana (Ischia), nonché sulle audizioni e sulle memorie dei colleghi indicati al Capitolo 1 della presente relazione. Le conclusioni, già in gran parte presentate nei capitoli 1.2, 2.5 e 3.6 della presente relazione, sono qui di nuovo riportate per ciascuna delle tre aree di interesse.

5.1 Pozzi di Bagnoli

Il GdL rileva che i due pozzi di Bagnoli hanno raggiunto profondità limitate e non sono oggetto di attività industriali che richiedano emungimento e re-iniezione di fluidi. Pertanto non si ritiene che questi due pozzi, spinti rispettivamente a 200 e 500 m di profondità dal piano campagna, possano interferire con le attività di monitoraggio e con la stima della pericolosità vulcanica, anzi la presenza di strumentazione al loro interno migliora sicuramente il livello di detezione di segnali per la sorveglianza. Inoltre la loro esecuzione ha permesso una buona caratterizzazione delle sequenze di rocce e degli acquiferi presenti nell'area di Bagnoli.

5.2 Permesso Scarfoglio

Il livello di approfondimento delle conoscenze presentato per la definizione del sistema geotermico presente nell'area di Scarfoglio è assolutamente insufficiente a definire il/i serbatoio/i geotermici da sfruttare e il suo/loro stato (fratturazione, permeabilità, tipo di fluido e possibile presenza di sacche di gas, corpi geologici interessati ecc.).

La trattazione idrogeologica non dice nulla sulla falda profonda. I dati presentati non sono ritenuti sufficienti a definire il serbatoio geotermico da sfruttare e il suo stato (fratturazione, permeabilità, tipo di fluido ecc.). Il tipo di fluido è descritto sulla base di una perforazione superficiale effettuata in prossimità del Tennis Hotel ad Agnano (100 m di profondità) che intercetta una falda superficiale che potrebbe non avere relazioni dirette con il o i potenziali serbatoi geotermici da sfruttare.

I dati geochimici delle fumarole presentati nel progetto sono riferiti a misure effettuate nel corso del 2004 e si riferiscono ad un intervallo di tempo troppo limitato per essere rappresentativo dell'evoluzione geochimica dell'area. Tra l'altro nell'area interessata dal progetto è presente il sito

idrotermale di Pisciarelli, nel quale la temperatura della principale emissione è aumentata a partire dal 2005 da circa 97°C fino a raggiungere circa 115°C, mentre il campo fumarolico presenta significative variazioni ed estensioni, ampiamente documentate già presenti e note all'atto della stesura della proposta progettuale (2015).

Il modello concettuale del serbatoio geotermico presentato nell'area dei Campi Flegrei è caratterizzato da strati piano-paralleli, in forte contraddizione con i risultati di magnetotellurica, che illustrano la presenza di grosse variazioni laterali nelle caratteristiche elettriche delle rocce attraversate. Tali variazioni sono determinate da significative discontinuità strutturali e marcano zone ad elevata permeabilità con risalita di fluidi profondi, a contatto con aree a ridotta permeabilità e temperatura verosimilmente inferiore. Eventuali segnali indotti dalla coltivazione del serbatoio geotermico, sarebbero localizzati nelle stesse aree dove oggi si registra sismicità, deformazione del suolo, emissione di fluidi geotermici ed andrebbero a sovrapporsi a quelli, del tutto simili e probabilmente indistinguibili da quelli generati dal sistema vulcanico.

I proponenti non discutono la possibilità che l'interazione tra attività industriale e sistema vulcanico comporti dei rischi aggiuntivi, legati ad esempio ad esplosioni freatiche.

Infine, l'intero progetto è stato sviluppato dai proponenti supponendo che il serbatoio geotermico si trovi in uno stato stazionario e non si prende in considerazione l'evolversi del sistema vulcanico e non viene discussa l'eventualità che le condizioni del serbatoio geotermico possano cambiare, come invece dimostrato dalla recente dinamica.

Il GdL conclude che gli elementi tecnico-scientifici presentati nel progetto sono incompleti, mancando completamente di indicazioni sulle caratteristiche del serbatoio geotermico che si vuole coltivare. Questo impedisce di valutare e approfondire gli effetti dell'eventuale impianto sulla pericolosità vulcanica e sismica nell'area di Solfatara-Pisciarelli. Appare comunque assai probabile che i fenomeni sismici, deformativi ed esalativi associati all'installazione di un impianto geotermico nell'area possano creare seri problemi nell'interpretazione dell'evoluzione naturale dei fenomeni vulcanici in atto.

5.3 Permesso Serrara Fontana

Manca, a parere del GdL, un'adeguata definizione del quadro sismo-tettonico d'insieme che, considerata la sismicità dell'area in grado di produrre effetti devastanti, non può essere trascurata.

Il serbatoio di prelievo appare abbastanza ben caratterizzato, mentre quello di reiniezione, diverso e isolato dal precedente, non è conosciuto da un punto di vista idrogeochimico e non è stato oggetto di alcuna forma di investigazione da parte dei proponenti il progetto. Ne deriva che non è stato analizzato dal progetto, e non è quindi possibile valutare le variazioni del sistema geotermico indotte dalla reiniezione di fluidi raffreddati in serbatoi diversi da quello di emungimento.

Si ritiene che la valutazione dell'eventuale incremento della pericolosità sismica dell'area a seguito della realizzazione e dell'esercizio dell'impianto geotermico in progetto sia stata fatta senza disporre di un modello sismo-tettonico attendibile.

Non è valutato sia l'incremento della pericolosità sismica connesso con il possibile approfondimento locale della transizione fragile/duttile che comporterebbe un maggior spessore di roccia in grado di accumulare energia deformativa (Weertman & Weertman, 1975), sia la diminuzione della resistenza di attrito lungo le superfici di faglia attive nell'area. Inoltre, non è valutata l'entità del depauperamento della risorsa geotermica nell'area di emungimento determinata dal prelievo di fluido da un'area a forte concentrazione di stabilimenti termali, senza reiniezione nello stesso serbatoio. La reiniezione in altra area, comporterà sicuramente variazioni del sistema che non sono state valutate e che andrebbero verificate con opportune misure e modelli numerici dei fenomeni.

I pozzi previsti attraversano il bordo del blocco risorgente del Monte Epomeo, dominato dalla presenza di sistemi di faglie attive che hanno subito importanti dislocazioni verticali e che manifestano movimenti recenti significativi. Nel progetto, non sono considerati né l'attraversamento delle perforazioni di questi sistemi di faglie né l'esercizio dell'impianto con prelievo e reiniezione di fluidi lungo questi sistemi. Le variazioni (deformazione del suolo, sismicità, variazioni geochimiche) naturali e quelle indotte dalla realizzazione ed esercizio dell'impianto sarebbero, comunque, difficilmente distinguibili.

Allegato 1. Relazione dell'Ing. Alberto Bottai relativa allo stato del pozzo realizzati nell'area di Bagnoli Futura.

ISPEZIONE E VERIFICA DELLO STATO DEL POZZO BAGNOLI FUTURA – PROPOSTE OPERATIVE

L'ispezione è avvenuta il giorno 8.9.16 alla presenza del dott. Stefano Carlino dell'INGV-Osservatorio Vesuviano ed è stata preceduta da una ricostruzione della "storia" del pozzo con riferimento particolare ad anomalie rilevate e ai risultati realizzati a partire dalla fine della perforazione.

Segue una sintesi delle attività di perforazione eseguite.

Perforazione del pozzo

La perforazione del pozzo è avvenuta rispettando sostanzialmente il profilo di tubaggio previsto dal programma di perforazione.

Come riportato nel Final Well Report preparato dalla Baker Hughes, 2012, la perforazione è stata realizzata in due tempi:

- Un primo intervento, realizzato nel luglio 2012, fino alla profondità di circa 200 m impiegando un impianto di capacità adeguata al raggiungimento di tale profondità; durante questa fase sono stati posti in opera un conductor pipe del diametro di 24"1/2 e cementato fino a circa 8 m di profondità, un primo casing del diametro 13"3/8 che è stato cementato a 30 m di profondità e un secondo casing del diametro 9"5/8 a 219 m circa; su questo casing è stata installata la testa pozzo riportata in Fig. 1;
- un secondo intervento, realizzato nel dicembre 2012, con un impianto di maggiore potenzialità del primo per raggiungere la profondità stabilita nel progetto che è risultata di 501 m; durante questa fase sono stati installati un terzo casing diametro 7" cementato interamente e un liner 4"1/2 finestrato appoggiato sul fondo.

Alla profondità di 422 m è stata prelevata una carota.

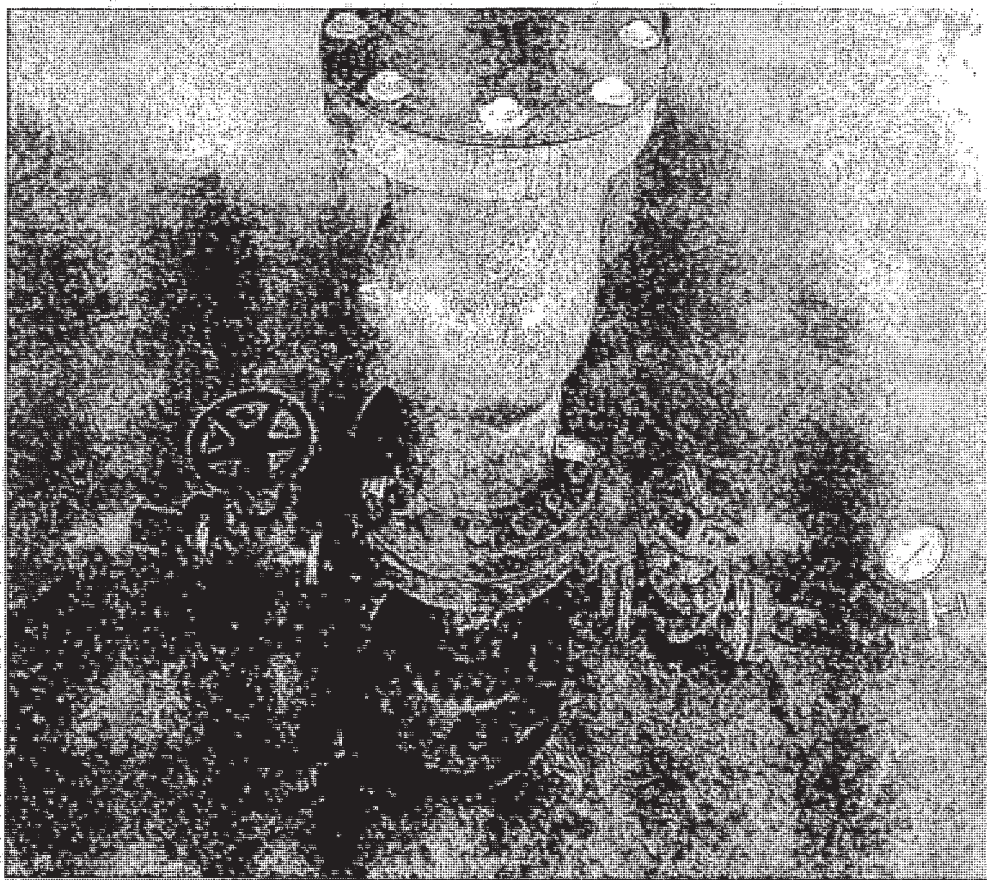


Fig. 1 – Testa pozzo installata dopo la perforazione

Anomalie riscontrate durante la perforazione del pozzo

È stata segnalata la presenza di H_2S nel fango di perforazione, prontamente rilevato dal sistema di sensori, alla profondità di 312 m. le prove effettuate durante la perforazione non hanno evidenziato la presenza di un serbatoio quanto piuttosto la presenza di gas diffuso, comunemente detto drilling gas.

Log in pozzo

Prima di iniziare la seconda fase di perforazione, ovvero circa sei mesi dopo il termine della prima fase, a dicembre 2012 è stato eseguito un log di temperatura (Log T) i cui risultati sono riportati in Fig. 2 (colore blu). Il grafico mette in evidenza un andamento mediamente crescente della temperatura ad eccezione del tratto 100-180 m caratterizzato da un gradiente nullo o quasi, tipico della presenza di fluidi. Alla profondità di circa 220 m la temperatura risulta di 50 °C.

Il log T è stato ripetuto a fondo pozzo, a fine dicembre, ovvero 24 ore dopo la fine della perforazione. I risultati sono riportati in verde nella stessa Fig. 2 anche se viene riferito che la “coincidenza” tra la curva blu e quella verde è frutto di un certo “aggiustamento”.

La curva di colore nero riporta invece i risultati della rilevazione mediante fibra ottica nel gennaio 2016. Il grafico mostra però una discontinuità nella rilevazione alla profondità di circa 400 m non facilmente spiegabile dal punto di vista geofisico. Tra l'altro questa discontinuità caratterizza, in maniera ancora più accentuata, anche i successivi rilievi riportati in Fig. 3.

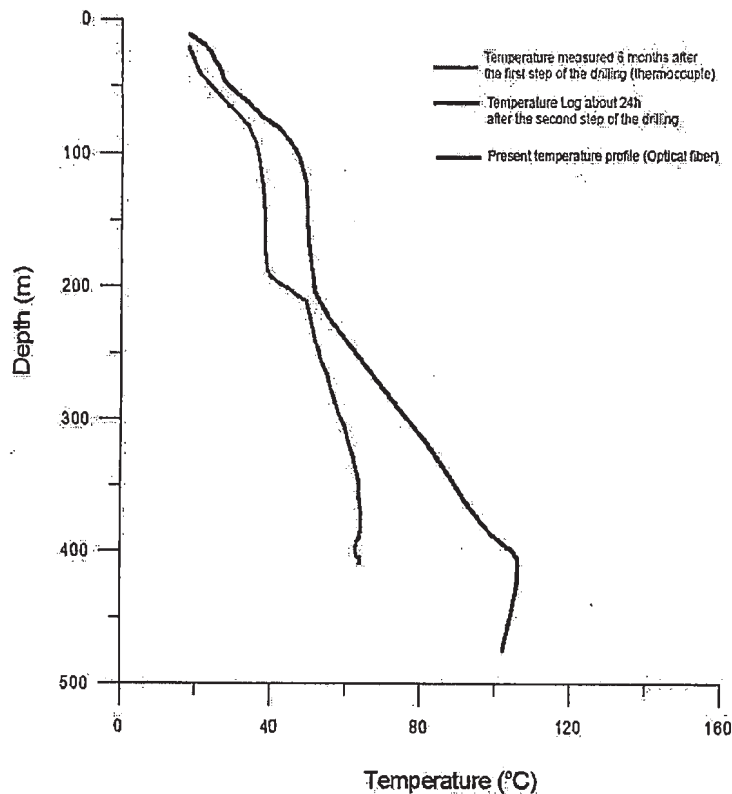


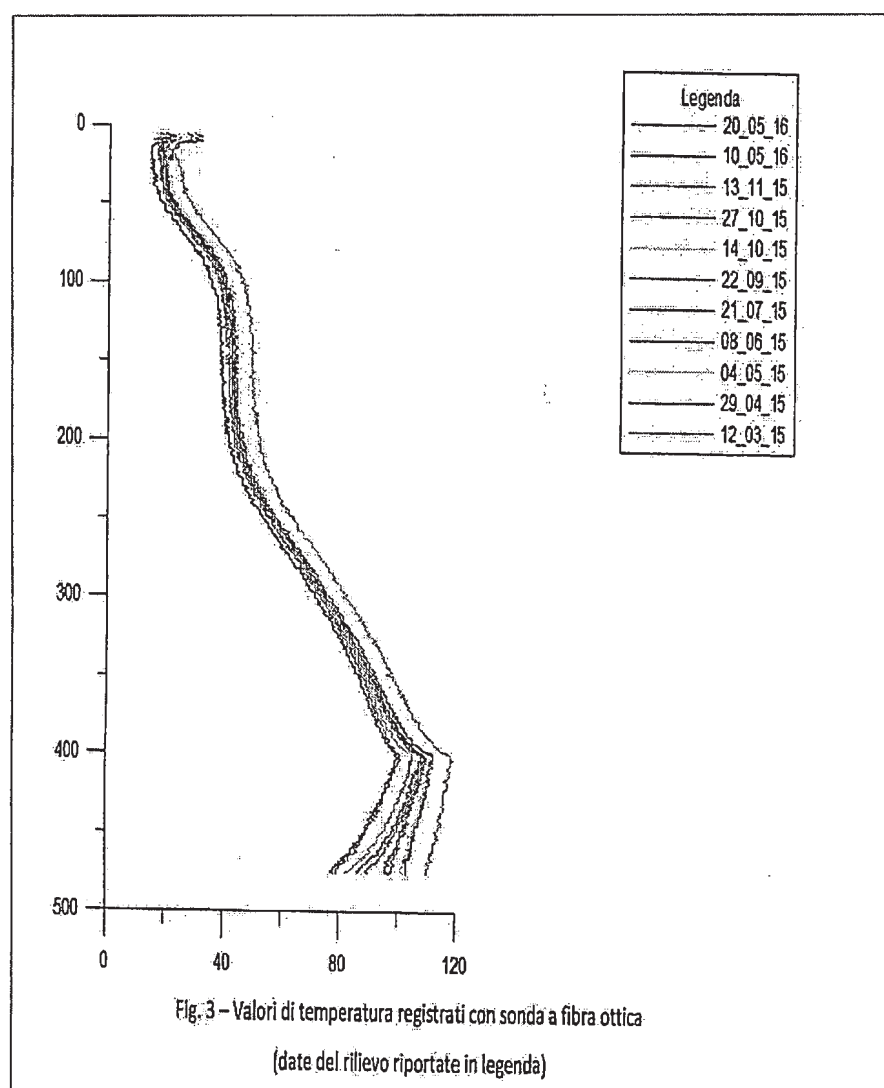
Fig. 2— Log di temperatura realizzati durante e dopo la perforazione
(In nero la rilevazione del gennaio 2016)

Anche se INGV riferisce che le condizioni di montaggio della fibra avrebbero permesso di riscontrarne il corretto posizionamento e funzionamento, sarebbe prudente approfondire lo studio per verificare se tale apparente anomalia sia da attribuire a cause esterne, ad esempio legate in qualche modo alla tecnica di rilevazione (fibra ottica). Infatti la cuspidella della curva, evidente a circa 400 m sembra mettere in risalto una discontinuità difficilmente rilevabile in natura e difficilmente giustificabile in assenza di operazioni del tutto particolari in pozzo.

Inoltre, dai rilievi di Fig. 3, la temperatura sembra diminuire nel tempo (si veda ad esempio il rilievo del 4 maggio 2015 e quello del 10 maggio 2016) con modalità che interessano ciascuna curva nella sua interezza, quasi una sorta di traslazione.

Esistono quindi tre motivi che suggeriscono di verificare con cura la correttezza delle modalità di rilevazione:

- la presenza di una “cuspidè” a 400 m;
- la riduzione della temperatura nel tempo;
- il modo in cui la variazione di temperatura interessa l'intera curva del Log.



Pressione di testa pozzo e anomalie rilevate in fase di esercizio

Viene riferito da INGV/Carlino che la pressione di testa pozzo si era stabilizzata a circa 7 bar, valore rilevato sia con un manometro (fondo scala 25 bar) posto su un'uscita laterale da 2", sia da un sensore elettronico con lettura in remoto.

Dopo un certo tempo si è provveduto a depressurizzare la testa pozzo scaricando lentamente il gas nell'atmosfera e il pozzo lasciato aperto attraverso le valvole laterali: al momento dell'ispezione la testa pozzo è stata trovata infatti a pressione zero.

Viene anche riferito, sempre da INGV/Carlino, come un'apparente anomalia rilevata durante l'esercizio del pozzo, che aprendo una delle valvole laterali utilizzata per lo scarico del pozzo, la fuoriuscita di materiale "fangoso o sabbioso".

Un'altra apparente anomalia riscontrata sarebbe costituita da impedimenti al passaggio di sonde per rilievi di temperatura alla profondità di circa 400 m.

Un'altra anomalia riferita riguarderebbe la difficoltà di realizzare un log di T nel marzo 2016 perché la sonda (freatimetro $d = 5$ mm) non scendeva oltre la profondità di 160 m.

Ancora, nell'agosto 2016, lo stesso tipo di sonda sembrava non voler scendere oltre la profondità del fondo cantina.

Verifiche e prove effettuate l'8.9.16, raccomandazioni per l'esercizio del pozzo

Verifica dello stato della bocca pozzo e del casing

La testa pozzo attualmente montata è riportata in Fig. 4 ed è strutturalmente conforme a quella prevista nel progetto del pozzo, a meno del corredo strumentale. È infatti presente il tubicino in fibra ottica, di circa 7 mm di diametro, supportato da un sistema di tenuta a premistoppa posto su un elemento cilindrico solidale alla flangia in lamiera avvitata sulla flangia superiore della valvola master.

A fianco del premistoppa per la fibra ottica è stato inoltre collocato un secondo elemento di tenuta per supportare un secondo tubicino (circa 3 mm di diametro) per duplicare le rilevazioni con fibra. Il tubo in fibra e il secondo tubicino sono stati uniti mediante fascette durante la discesa in modo da costituire in pozzo un'unica stringa.

Sulla testa dell'elemento cilindrico solidale alla lamiera superiore di chiusura della flangia è presente anche un foro tenuto normalmente chiuso mediante un tappo filettato.

Anche se il giorno dell'ispezione il manometro indicava pressione zero a testa pozzo, quando è stata aperta una valvolina laterale che opera su un tubicino di uscita con passaggio di circa 5 mm, da questo fuoriusciva acqua, a conferma che il pozzo è pieno di liquido fino alla testa pozzo. L'acqua fuoriuscita era fortemente maleodorante per probabile contaminazione da gas forse anche di natura organica (mercaptani?), pertanto la valvola è stata immediatamente richiusa per evidenti motivi di sicurezza.

La raccomandazione, nel caso si dovessero ripetere operazioni di scarico o prelievo di acqua per campionamenti, è di NON farlo operando dal fondo cantina ma stando in posizione di sicurezza all'esterno di questa per prevenire l'esposizione al gas.

Nella Fig. 5 è riportato lo stato del fondo cantina. Il casing 9"5/8 su cui è assemblata la testa pozzo presenta segni di una certa corrosione probabilmente accentuati dalla presenza di detriti e fango che erano stati trattiene sul fondo cantina (vedi Fig. 1) ed in grado di trattenere acqua e quindi accelerare i fenomeni di corrosione dell'acciaio del casing.

La raccomandazione in questo caso è pertanto quella di ripulire accuratamente il fondo cantina dal detrito e realizzare anche un piano inclinato intorno al casing che supporta la testa pozzo abbassando, se necessario, anche la testa residua del casing 13"3/8 e del conductor pipe, in modo che l'acqua che confluisce in cantina sia indirizzata verso la zona periferica della stessa e, attraverso un piccolo scavo, confluisca nel terreno permeabile sottostante.

L'obiettivo è quello di realizzare un efficace drenaggio della cantina per assicurare la minima esposizione del casing 9"5/8 al contatto con l'acqua.

Si raccomanda anche di osservare periodicamente se all'esterno del casing che supporta la testa del pozzo via sia gorgogliamento di gas la cui presenza costituirebbe motivo di accelerazione dei fenomeni corrosivi e sarebbe sintomo di altre problematiche.

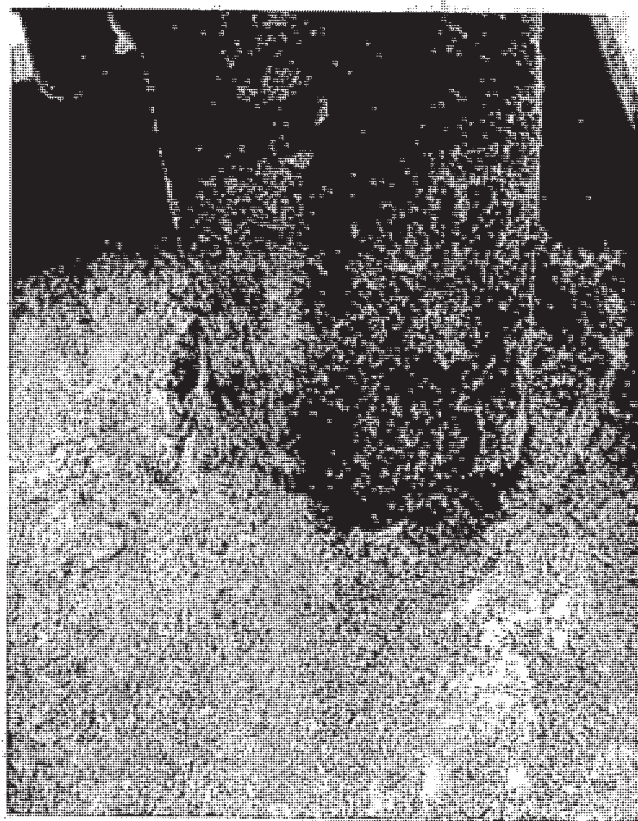


Fig. 5 – Stato del casing 9"5/8 che supporta la testa pozzo

Tentativo di discesa di un freatimetro

Il freatimetro impiegato, avente un diametro di 5 mm, è dotato anche di sensori di temperatura ed è stato calato in pozzo attraverso il foro praticato sul top dell'elemento cilindrico saldato sulla flangia superiore della master valve e normalmente chiuso con un tappo filettato in acciaio.

Importante fenomeno osservato: man mano che il freatimetro veniva calato in pozzo, l'acqua presente nel casing – evidentemente spiazzata dal volume del freatimetro stesso – fuoriusciva dal foro di passaggio del freatimetro. Era di tuta evidenza che l'acqua spiazzata aveva un contenuto non trascurabile di gas disciolto o disperso in essa che si liberava via via che l'acqua veniva sollevata e portata all'atmosfera. Il fenomeno è ben visibile in Fig. 6.

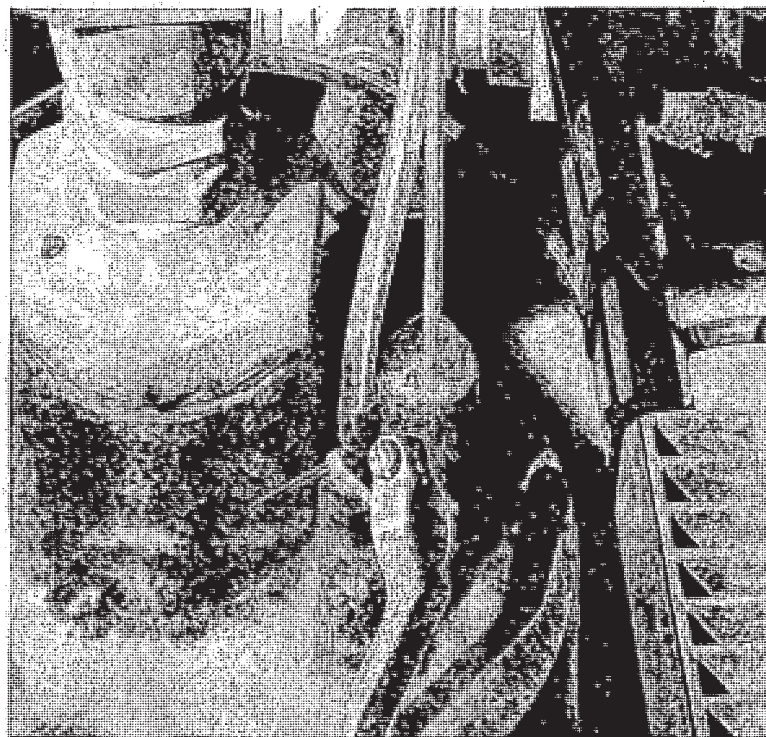


Fig. 6 Imbocco del freatimetro impiegato il 8.9.2016 con emissione di gas

La sonda ha superato senza problemi la profondità del fondo cantina contrariamente a quanto avvenuto nell'agosto 2016. La causa apparente dell'anomalia è da attribuire con ogni probabilità al fatto che la testa pozzo è stata assemblata sul casing 9"5/8; all'interno di questo, in modo più o meno concentrico, è stato cementato il casing 7" la cui testa, a seconda della cura con la quale è stato realizzato il cono di invito, può costituire ostacolo alla discesa di sonde in conseguenza della posizione che queste assumono al contatto con la testa del cono d'invito. L'accorgimento da adottare in questi casi è quello di spostare la sonda, anche ruotandola sul proprio asse longitudinale, fino a trovare il foro interno del casing. Di solito sono sufficienti pochi tentativi spostando la sonda lungo la circonferenza anche in questo caso la manovra non è semplice essendo disponibile un solo punto di passaggio.

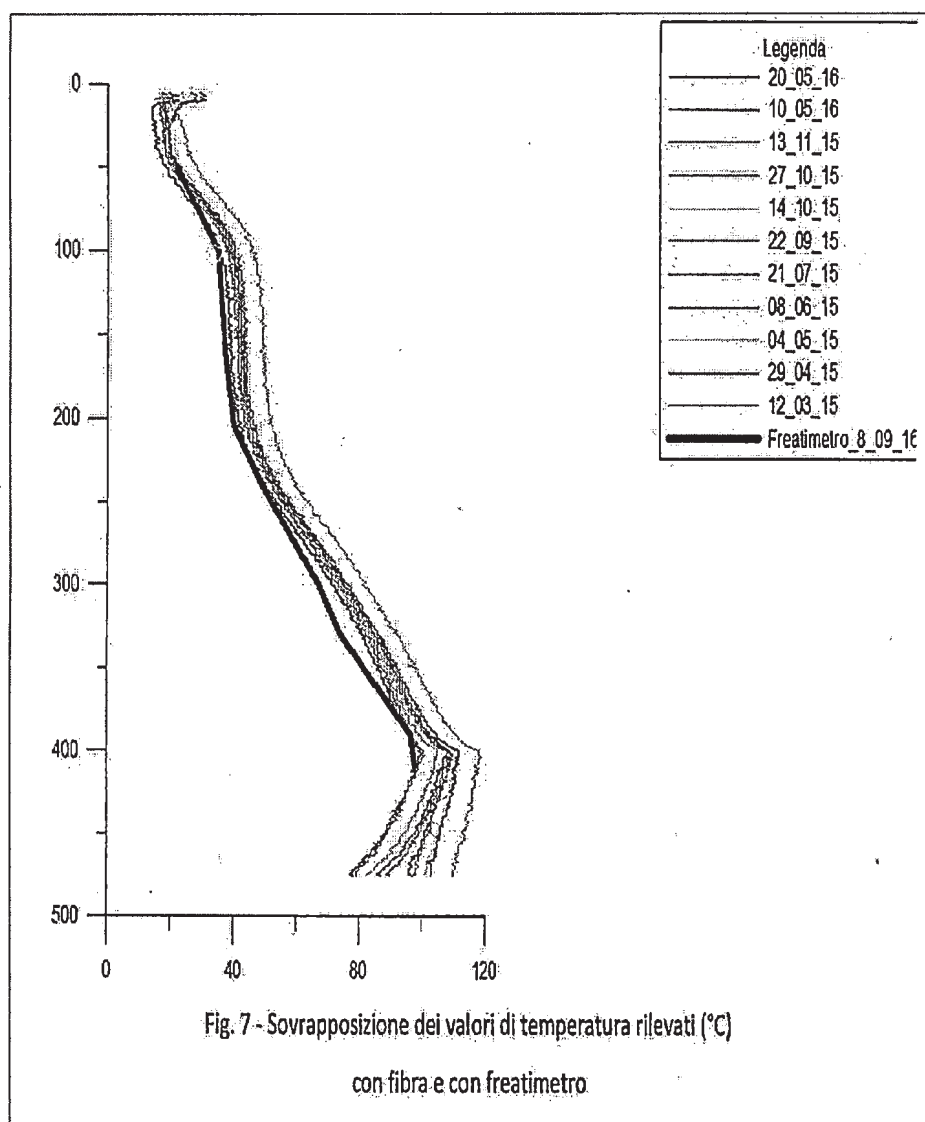
Indipendentemente dalla presenza del gradino tra i due casing, è bene tenere presente anche che la stessa presenza della fibra, tra l'altro costituita da due fibre tenute unite da fascette, può costituire ostacolo da superare con tentativi analoghi a quelli sopra indicati.

Il freatimetro ha raggiunto senza problemi la profondità di 401 m, ma oltre non sembrava possibile scendere per la presenza di un ostacolo che, in termini di "sensazione manuale" (ma si è trattato

solo di sensazione), sembrava costituito da fluido molto viscoso o gelificato. L'analisi chimica del materiale solido apparentemente in sospensione anche a testa pozzo e la sua caratterizzazione litologica, incluso quello che si potrà raccogliere dentro la guaina esterna del freatimetro, potrà essere utile anche per capire l'origine della ipotizzata presenza di solidi o di gel a fondo pozzo. Le misure realizzate con il freatimetro sono riportate con linea marcata in nero nella Fig. 7, in sovrapposizione alle precedenti fornite dalla fibra ottica.

Il risultato sembra confermare una riduzione del valore della temperatura che interessa l'intera lunghezza del pozzo, il che conferma la necessità di verificare la corretta calibrazione del sistema a fibra ottica e il corretto funzionamento del sistema di sensori.

Quanto alla presenza della cuspidè, in prossimità dei 400 m la curva in neretto del freatimetro presenta solo un accenno del cambio di gradiente della temperatura, tuttavia la penetrazione oltre i 400 m è insufficiente per altre deduzioni.



Condizioni in cui è stato lasciato il pozzo

Mentre nei mesi recenti il pozzo era stato lasciato con le valvole laterali aperte per consentire lo scarico del gas, alla fine delle operazioni con freatimetro, in data 8.9.2016, il suggerimento è stato di chiudere il pozzo con l'obiettivo di rilevare il valore di pressione che si stabilizza a testa pozzo. Questo dato può essere utile anche per avere un'indicazione della capacità di tenuta degli elementi di testa pozzo e per avere conoscenza del valore massimo che raggiunge la pressione, anche se un dato è già stato raccolto in passato con la pressione che risultava di 7 bar. È da preferire sempre un doppio controllo con strumenti e sensori tarati, per avere maggiore affidabilità del dato rilevato. Inoltre, mantenere il massimo valore possibile a testa pozzo implica anche interrompere e quindi ridurre il flusso di gas che dalla formazione geologica entra in pozzo.

Analisi del fenomeno dell'emissione di gas e problematiche connesse

Come riportato sopra, in passato il pozzo aveva raggiunto una pressione di circa 7bar; allo stesso tempo era però stato rilevato un livello di acqua in pozzo a 7-10 m.

Il fatto che il pozzo sia tuttora pieno di acqua significa che il gas presente nella formazione comunicante con il pozzo ha una pressione superiore alla somma della pressione idrostatica più quella di testa pozzo: ne consegue che il gas che fuoriesce dalla formazione scoperta, compresa tra 422 m e 501 m, è superiore a 48 bar.

L'ingresso in pozzo di tale gas non genera blowout perché la permeabilità della formazione è molto bassa per cui il gas che man mano entra in pozzo passa in soluzione alla fase liquida presente e si diffonde lungo l'asse del pozzo per gorgogliamento dando luogo alla saturazione dell'acqua alle varie profondità.

Il mantenimento della pressione a testa pozzo, che forse raggiungerà ancora 7 bar, non sarà in grado di produrre sostanziali cambiamenti del fenomeno di ingresso del gas in pozzo ma potrà limitarlo in qualche misura.

L'immagine dell'emissione di gas dal bocchello impiegato per calare il freatimetro il giorno 8.9.16, fa ritenere che la colonna d'acqua presente in pozzo sia ormai interamente interessata dal gorgogliamento del gas.

Se queste condizioni si manterranno nel tempo, e tutto lascia presumere che sia così, una volta che la committente decida o debba procedere a realizzare interventi in pozzo si troverà a gestire l'intera colonna satura di gas. Tanto per esemplificare, un litro di acqua che si trova a 500 m di

profondità ha un contenuto di gas pari al 2,7% in peso, ovvero un volume di gas che supera 14 Normal litri per litro di acqua. La gestione di tale fluido, in conseguenza dell'emanazione in atmosfera, sia dal punto di vista ambientale (olfattivo, per la presenza di gas organici percepiti chiaramente durante le prove dell'8.9.16) che di sicurezza, non avrebbe (non avrà) effetti trascurabili anche per la vicinanza del pozzo dalle abitazioni; quando il problema si porrà, l'operazione dovrà essere realizzata con molta cautela e gradualità, adottando gli accorgimenti di sicurezza idonei per le operazioni in presenza di gas (vedi il completamento di seguito proposto).

Occorre anche mettere in conto l'importanza che la committente attribuisce alla rilevazione della temperatura e della pressione a fondo pozzo a fini scientifici o di altra natura.

Infatti la forma della curva di temperatura e il suo "traslare" nel tempo suggeriscono di fare una verifica del corretto funzionamento della strumentazione, la sua calibrazione, il suo corretto posizionamento a fondo pozzo, la possibilità di calarla a maggiore profondità di quella attuale. Anche se le condizioni di iniziale assemblaggio della fibra sembravano corrette, solo una sua sostituzione e verifica del suo stato possono dare certezza della correttezza e ripetitività del rilievo.

Da tenere conto anche dell'esigenza di procedere comunque nel tempo a sue sostituzioni, indipendentemente dalla situazione attuale, per accertare le problematiche che possono sorgere in fase di estrazione della sonda, in particolare qualora il tratto basale non fosse allineato all'asse del pozzo. Da non trascurare possibili effetti di "pistonaggio" in estrazione.

Considerazioni riassuntive e proposta operativa

Preso atto delle mutate condizioni del pozzo rispetto al suo stato originario post perforazione, di seguito si riporta la sintesi delle attività suggerite immediatamente eseguibili, dei relativi accorgimenti e una proposta di programma per mettere il pozzo in condizioni di essere esercito riducendo il rischio di incorrere in possibili difficoltà operative e di esercizio.

La realizzazione del programma proposto di seguito si ritiene debba avere carattere di urgenza.

Operazioni eseguibili immediatamente o a breve termine:

- 1) Mantenere il pozzo chiuso con l'obiettivo di verificare il valore che la pressione del fluido assume a testa pozzo;
- 2) La prima operazione che si suggerisce è quella di prelevare almeno tre campioni di fluido dalla testa pozzo per analizzare chimicamente la fase liquida, quella gassosa rilevandone anche la concentrazione di H_2S e caratterizzare il solido apparentemente sospeso nella fase

acquosa sia dal punto della composizione chimica che dal punto di vista litologico; il confronto con l'analisi dei detriti di perforazione e la carota prelevata a 438 m potrà essere utile per capire la sua provenienza; analoga verifica dovrebbe essere condotta sul fluido e solidi apparentemente sospesi nell'acqua penetrata nel tratto basale del freatimetro per un evidente difetto del sistema di tenuta dell'estremità inferiore;

- 3) Si raccomanda di eseguire tutte le operazioni che comportino l'esposizione alla presenza di gas operando in condizioni di sicurezza individuale, in particolare le operazioni che comportassero la necessità di scendere in cantina;
- 4) Adeguamento del drenaggio di fondo cantina per ridurre drasticamente l'esposizione del casing che supporta la testa del pozzo all'umidità e alla conseguente corrosione;
- 5) La sostanza apparentemente sospesa nell'acqua "pescata" dal freatimetro a circa 400 m, visibile attraverso la sua guaina, e presente anche nell'acqua estraibile dalle valvole di bocca pozzo, potrebbe essere zolfo in forma colloidale; indipendentemente da questa considerazione e dall'esito delle verifiche suggerite al punto 2) precedente, per prudenza si ritiene utile, una volta eseguito il piccolo scavo intorno al casing che sostiene la testa pozzo, eseguire anche una verifica dello spessore del casing; si tratta di un'operazione di costo modesto, da realizzare con sonda ad ultrasuoni e personale qualificato, che permette di rilevare eventuali fenomeni di corrosione in atto anche sulla superficie interna del tubo e quindi l'eventuale perdita di spessore rispetto allo stato di montaggio;
- 6) Osservare se in presenza di acqua sul fondo cantina si nota gorgogliamento o comunque manifestazioni di gas e possibilmente da rilevare con strumentazione ordinaria per CO_2 e H_2S ;
- 7) Eseguire le verifiche di funzionalità della sonda in fibra ottica nella sua configurazione attuale, cioè con estremità inferiore quasi a fondo pozzo;
- 8) Estrazione della sonda per verificarne lo stato fisico e procedere alla sua completa verifica e collaudo di funzionalità in laboratorio. L'operazione di estrazione dovrà essere fatta con molta cautela, previa verifica dell'eventuale stato di presa (che comporterebbe il rischio di rottura per strappo) e possibilmente mantenendone la funzionalità per rilevare eventuali anomalie nel Log di risalita. Come accennato sopra, l'estrazione in sé avrebbe l'obiettivo di fornire indicazioni relativamente ad eventuali problematiche operative specifiche e dovrebbe essere realizzata con tutte le cautele del caso tenuto conto della presenza di gas in pozzo.

Operazioni successive da realizzare convenientemente a partire dai prossimi mesi:

- 9) Calibrazione del foro di passaggio interno del pozzo calando una sonda con cavo per verificarne lo stato effettivo di passaggio nei casing. L'operazione dovrebbe avvenire in più stadi con sonda di diametro crescente per accertare anche fino a quale profondità del liner finestrato da 4"1/2 è possibile scendere;
- 10) Studio di fattibilità e successivo progetto di completamento del pozzo sulla base dei risultati e dei dati raccolti con le operazioni precedenti; il progetto del sistema di completamento del pozzo dovrebbe tendere, a meno di sorprese nelle rilevazioni precedenti, a rendere possibile:
 - Accedere con un tubing al fondo oppure in prossimità di esso, circolando anche dal fondo per sostituire il fluido e mettere in sicurezza il pozzo sostituendo interamente il fluido presente, ricco di gas, con acqua pulita;
 - Calare la sonda in fibra all'interno di tale tubing di completamento in modo che le operazioni di messa in sicurezza siano sempre possibili e il controllo del pozzo sia fattibile anche con sonda inserita;
 - Facilitare l'inserimento della sonda fino al fondo del tubing eventualmente "aiutandola" mediante circolazione idraulica ove necessario per continuare la rilevazione con fibra in sicurezza.

Da tener presente che lo stesso completamento potrà essere impiegato per realizzare anche la chiusura mineraria del pozzo, operazione da ritenere prima o poi comunque necessaria, pertanto il costo del completamento o di una realizzazione equivalente sarebbe comunque da sostenere.

Allegato 2. Osservazioni aggiuntive del dott. Giuseppe Mastrolorenzo (vulcanologo ricercatore dell'Osservatorio Vesuviano dell'INGV) inviate per email al coordinatore Mauro Di Vito il 21 settembre 2017

Note integrative alle Osservazioni, inviate al Ministero dell'Ambiente in data 3/7/2015.

Ad integrazione delle Osservazioni già inviate in merito al progetto " Scarfoglio", in data 3/7/2015, rilevo come nel corso dell'ultimo anno, siano state registrate alcune sequenze sismiche, con localizzazione epicentrale nell'area Solfatara- Pisciarelli, all'interno della quale è individuato il sito per la realizzazione del progetto pilota di centrale geotermica. Tra tali sequenze, avvertite in modo rilevante dai residenti in una estesa area tra i comuni flegrei e la città di Napoli, è da segnalare in particolare quella del 7 ottobre 2015, con magnitudo circa 2 gradi Richter, che ha indotto molti residenti ad abbandonare le proprie abitazioni, e ha causato l'evacuazione di numerosi istituti scolastici e uffici pubblici. La sequenza sismica più recente del 31 agosto 2016, con almeno quarantacinque eventi, con magnitudo massima di 1.7, è localizzazione epicentrale nell'area Solfatara-Pisciarelli, analogamente a quella del 7 ottobre, ha causato grave allarme nelle comunità locali, anche a causa dell'elevata avvertibilità derivante dalla bassa profondità ipocentrale (circa 1 chilometro).

In aggiunta a tali eventi, dallo studio delle deformazioni del suolo avvenute tra il 2012 e 2013, una ricerca del dott. Luca D'Auria ed altri ricercatori INGV e CNR, pubblicata nell'agosto 2015, sulla rivista Nature - Scientific Reports, ha dimostrato come in detto periodo, si sia verificata una possibile risalita di magma fino ad una profondità di circa 3 km, proprio al di sotto della zona centrale della caldera. Tale risultato, ha evidenziato la scarsa rilevabilità in tempo reale della possibile risalita di corpi magmatici e della stessa presenza di tali corpi a bassa profondità, attraverso i sistemi di monitoraggio attualmente disponibili. Tali evidenze indicano come, corpi magmatici eventualmente presenti a bassa profondità nell'area di Agnano-Pisciarelli, possano risultare assolutamente non rilevabili ma potrebbero innescare processi esplosivi in caso di attività di trivellazione, estrazione e reiniezione di fluidi. Inoltre l'area di Agnano- Pisciarelli, è strategica e prioritaria per il monitoraggio geofisico e geochimico della caldera attiva dei Campi Flegrei, con database ultradecennali dei dati monitorati ed utilizzati per valutazioni di pericolosità e dei livelli di allerta determinanti per l'eventuale attuazione di piani di emergenza. Pertanto, ogni alterazione meccanica e termo-fluido-dinamica, indotta da attività di trivellazione, estrazione e reiniezione di fluidi nel sistema idrotermale, comprometterebbe in modo non controllabile e imprevedibile i parametri monitorati,

vanificando irreparabilmente l'uso dei database, per la valutazione di eventuali anomalie. Database che hanno richiesto l'investimento di ingenti risorse pubbliche, umane e materiali.

Conseguenza diretta delle perturbazioni indotte nel sistema, dalle attività industriali, sarebbe la impossibilità di discriminare tra fenomenologie di origine naturale e indotte da dette attività, con gravissime conseguenze per il monitoraggio, le valutazioni di pericolosità, la mitigazione del rischio e la gestione dell'emergenza nazionale.

In aggiunta a tali problematiche, risulterebbe, di difficile discriminazione l'origine naturale, o indotta di eventuali eventi disastrosi con conseguenti implicazioni di natura giuridica nella individuazione di responsabilità penali e civili, relativamente a danni a persone e/o beni pubblici e privati.

Tali criticità, sono ulteriormente aggravate dalla perdurante assenza di piani di evacuazione operativi per l'area dei Campi Flegrei ad oltre un anno dalle osservazioni precedentemente inviate, nonché dall'assenza di qualsiasi vincolo di inedificabilità in zona rossa e dall'esistenza di progetti governativi e comunali per futura, ulteriore edilizia pubblica e privata all'interno della stessa zona rossa.

Recentemente è stata rilevata la risalita di fluidi fangosi all'interno del pozzo, della profondità di circa 500 metri, trivellato nel 2012, nell'area ex ITALSIDER di Bagnoli, nel medesimo sistema geotermico dei Campi Flegrei. La trivellazione condotta sotto il coordinamento del dott. Giuseppe De Natale, ex direttore dell'Osservatorio Vesuviano e referente del consorzio AMRA, consulente per il progetto pilota " Scarfoglio", era già stata ampiamente contrastata dal sottoscritto e da altri ricercatori, per i rischi associati. Al fine di scongiurare gravi rischi connessi ai fenomeni in corso all'interno del pozzo, con recente decreto, il Commissario, incaricato per l'Osservatorio Vesuviano, dott. Marcello Martini, ha disposto consulenze e interventi urgenti.

Nella riunione del CdA INGV del 25/6/2015, il Presidente e i membri del CdA stesso, rilevavano le criticità del coinvolgimento dell'INGV, attraverso AMRA-INGV ed il dott. De Natale, in un progetto per il quale altri ricercatori INGV, comitati e diversi soggetti, evidenziavano la pericolosità. Lo stesso Presidente INGV, comunicava che avrebbe dichiarato al MATIM, il non coinvolgimento e la non informazione dei vertici INGV in merito al progetto " Scarfoglio", e la propria disponibilità a fornire ove richiesto informazioni e/o valutazioni ufficiali dell'Ente. Ma non è dato sapere se tali contributi siano mai stati forniti.

Relativamente alle ulteriori motivazioni di natura geofisica, geochimica contrarie alla realizzazioni di impianti geotermici pilota nell'area in oggetto, si rinvia alle osservazioni già

trasmesse a Codesto Ministero dal dott. Giovanni Chiodini dell'INGV, dalla prof.ssa Tiziana Vanorio dell'Università di Stanford USA, e dal prof. Franco Ortolani, già professore ordinario presso l'Università di Napoli Federico II.

In aggiunta alle integrazioni, su riportate, si riassumono in modo più dettagliato, i rischi connessi alle attività di trivellazione, estrazione e reiniezione di fluidi nel sistema geotermico dei Campi Flegrei.

Una vasta letteratura mondiale, documenta i rischi connessi ad attività di trivellazione in generale. Tra i più comuni sono osservati gli inneschi di eventi sismici e sequenze sismiche, anche prolungate nel tempo, le esplosioni o eruzioni dei pozzi, con innesco di fuoriuscite di fluidi anche per lunghi periodi di tempo, processi di subsidenza del suolo, alterazioni delle falde acquifere ed eventi franosi. Per tali motivazioni i siti di perforazione sono generalmente posti a distanza dai centri abitati, in aree non interessate da strutture tettoniche attive.

Nel caso delle aree vulcaniche attive i rischi citati sono notevolmente amplificati dagli elevati valori di gradiente termico e di pressione, nonché dalla presenza di fluidi circolanti anche tossici e dalla presenza di sistemi magmatici anche superficiali. Trivellazioni in aree vulcaniche, in numerosi casi hanno comportato conseguenze disastrose, tra gli esempi più noti sono da citare il vulcano Luci a Java, vulcano di fango, prodotto dall'eruzione di un pozzo profondo avvenuta nel 2006, che per anni, con un flusso ininterrotto ha portato alla luce oltre 90 milioni di metri cubi di fango proveniente da depositi profondi, che ha coperto un'area di alcun kmq, con spessore di decine di metri, rendendo necessaria l'evacuazione di decine di migliaia di persone, con danni economici di alcuni miliardi di dollari.

Altri esempi riguardano la caldera del Fogo (Sao Miguel Azzorre), dove da alcuni anni è in corso una estesa modificazione dell'area intorno al pozzo a seguito di una esplosione avvenuta durante una trivellazione, finalizzata alla realizzazione di impianti geotermici, ad una profondità di circa 600 metri. L'esplosione è stata associata, a sequenze sismiche, processi di fratturazione del suolo per estensione di centinaia di metri, nascita di nuovi campi fumarolici diffusi. Il pozzo era localizzato a breve distanza da un impianto geotermico già operativo presso il bordo calderico con caratteristiche analoghe al sistema geotermico flegreo.

Altri eventi esplosivi in campi geotermici, sono ampiamente documentati nella caldera di Yellowstone, negli Stati Uniti, in Nuova Zelanda, nell'isola greca di Nisyros, a Fiumicino e nella stessa caldera dei Campi Flegrei e sull'isola di Ischia.

Comunemente, le esplosioni idrotermali, sono considerate un fattore di rischio elevato in aree geotermiche, con potenziali effetti distruttivi estesi nel raggio di centinaia di metri o chilometri dal centro di esplosione.

Associata a tale rischio, è ampiamente nota l'attività sismica naturale e/o indotta da trivellazioni in sistemi geotermici con magnitudo anche superiori al 4 grado Richter, particolarmente probabile in caso di reiniezione di fluidi in prossimità di strutture tettoniche attive. D'altra parte l'innescò di sequenze sismiche, a seguito di attività di trivellazione, estrazione e reiniezione di fluidi, è ben documentata anche in aree non vulcaniche, come ad esempio è stato osservato in pozzi localizzati presso Basilea, in Oklahoma e in Olanda.

In quest'ultimo caso, si è valutato che i soli danni connessi alla subsidenza indotta da reiniezioni di fluidi in aree urbanizzate ammonterebbero a circa 30 miliardi di euro.

Dettagliate documentazioni, relative a sismicità indotta, emissioni gassose nocive, emissioni acustiche, e anche esplosioni idrotermali, sono registrate storicamente in tempi più recenti, in aree geotermiche anche di vulcani non attivi, come ad esempio nei siti italiani del Monte Amiata e di Larderello.

D'altra parte, nel progetto pilota "Scarfoglio", è prevista la possibilità di eventi sismici indotti, ma per tale area è noto come la magnitudo massima attesa possa superare il 4 grado Richter, che in tale area può produrre danneggiamenti. Il sito prescelto per le trivellazioni, è all'interno dell'area epicentrale delle frequenti sequenze sismiche dei Campi Flegrei e dei maggiori terremoti registrati e avvertiti durante le crisi bradisismiche. In particolare, proprio per il rischio sismico, durante la crisi conclusasi nel 1985 fu decisa la totale evacuazione della popolazione di Pozzuoli, trasferita nel nuovo insediamento di Monterusciello.

Il progetto pilota in oggetto prevede la realizzazione di pozzi di estrazione e pozzi di reiniezione, che rendono probabile, l'eventualità di innescò di strutture sismo-genetiche attive, con magnitudo potenziali anche superiori a 4 e con intensità macrosismiche anche superiori al 7 grado MCS.

Inoltre una vasta letteratura dimostra come i processi di reiniezione di fluidi in profondità aumentino notevolmente i rischi della generazione di eventi sismici e della altre manifestazioni associate.

Tali rischi comprendono:

- Sequenze sismiche, di magnitudo massima non prevedibile, ma probabilmente prossima alle magnitudo potenziali dell'area in oggetto;
- Esplosioni o eruzioni dei pozzi con fuoriuscita non controllabile di fluidi e materiali fangosi anche per lunghi periodi;
- Esplosioni freatiche per rapida decompressione di vapori e gas da pressioni, dell'ordine di varie decine di bar;
- Alterazioni del sistema geotermico in profondità e degli acquiferi superficiali e profondi;
- Innesco di processi franosi e di subsidenza del suolo per modificazioni dello stato di stress derivante da alterazioni del regime di circolazione dei fluidi nei mezzi porosi, nonché alle sollecitazioni sismiche indotte dalle trivellazioni e dalle attività estrattive e di reiniezione;
- Dispersione dei gas, ed in particolare di anidride carbonica con rischi di diffusione nei centri abitati ed in particolare nella piana di Agnano;
- Modificazioni climatiche locali a seguito della bassa efficienza degli impianti e della eventuale dispersione di calore nelle aree prossime circostanti l'impianto;
- In casi estremi innesco di eventi eruttivi di natura esplosiva freato-magmatica, nel caso in cui la trivellazione, attraversi gli acquiferi profondi prossimi alla camera magmatica superficiale e induca processi di fratturazione e contatto fra fluidi idrotermali e magma;

Relativamente ai rischi di esplosioni, di varia natura, che possono essere innescati dalle attività di perforazione di sistemi geotermici, oltre alle evidenze da disastri documentati a livello mondiale, è disponibile una vasta letteratura, di modellistica teorica e fisica, riguardante i fenomeni di "flashing, esplosioni termiche, boiling-point eruption, gas eruption e mixing eruption".

Tali fenomenologie esplosive, associate a rapida decompressione e transizione di fase, di fluidi ad alta pressione e temperatura, sono possibili, nelle aree ad alto gradiente di temperatura, come il sistema geotermico dei Campi Flegrei, già a profondità di alcune decine di metri.

Ricerche condotte dal sottoscritto, in collaborazione con altri colleghi dell'INGV e di altri istituti, pubblicate su riviste internazionali già alla fine degli anni 90 e successivamente, dimostrano l'estrema instabilità dei sistemi geotermici, sotto l'effetto anche di minime perturbazioni termiche e meccaniche, in profondità, con evoluzione imprevedibile e possibili conseguenze catastrofiche. Tali condizioni possono essere indotte proprio da attività di trivellazione.

Le insufficienti conoscenze dell'assetto geologico-strutturale e termo-fluidodinamico del sistema, all'interno del quale è previsto il progetto di trivellazione, e la mancanza di modelli robusti e affidabili sul comportamento di tali sistemi, a seguito di attività di trivellazione, e la presenza di una elevata popolazione residente nell'area, rendono estremamente rischiosa l'attività di trivellazione e sfruttamento d'energia geotermica, in evidente violazione del principio di precauzione.

Di fatto sarebbero esposte a rischio decine di migliaia di persone, o anche un numero maggiore in caso di eventi disastrosi di maggiore portata.

Oltre ai rischi immediati, come anche previsti da modelli di calcolo di processi termo-fluidodinamici in mezzi porosi, modificazioni sostanziali del sistema profondo si potrebbero verificare anche a lungo termine (su una scala temporale di alcuni decenni).

Utilizzando i comuni programmi di calcolo per l'evoluzione di sistemi geotermici in caso di attività di estrazione di fluidi, si può infatti prevedere la generazione di una estesa modificazione di temperatura, pressione, e regime di circolazione dei fluidi in un raggio di centinaia di metri, centrato presso la massima profondità del pozzo, in un periodo che va da alcuni anni a qualche decennio, a partire dall'inizio delle attività estrattive. Le conseguenze sull'ambiente derivanti da tali processi, sono del tutto imprevedibili.

Per le ragioni riportate e vista l'assoluta impossibilità di previsione di eventi disastrosi su base teorica, empirica, o attraverso il monitoraggio delle attività di trivellazione e sfruttamento, dette attività nei Campi Flegrei, ed in particolare nel sito di Agnano Pisciarelli, sono da considerarsi ad altissimo rischio, e quindi da evitare nell'interesse comune, nel rispetto del principio di precauzione, e ai fini della salvaguardia dell'ambiente naturale, anche considerando la vocazione paesaggistica, archeologica e turistica dell'area, inserita nel parco regionale dei Campi Flegrei.

Pertanto si esortano le Commissioni incaricate alla valutazione per il Ministero dell'Ambiente, a non autorizzare il progetto.

Dott. Giuseppe Mastrolorenzo- I Ricercatore Osservatorio Vesuviano-INGV

Di seguito sono riportate integralmente le osservazioni già inviate il 3/7/2015 MATTM.

OSSERVAZIONI su Progetto Scarfoglio- procedura 30/14 per nullaosta VIA

In relazione al progetto per la realizzazione di un impianto geotermico pilota a Scarfoglio, sul versante orientale del Vulcano Solfatara nei Campi Flegrei ad opera di una società privata srl con relazione geologico/tecnica AMRA-INGV, in attesa di autorizzazione da parte del Ministero dell'Ambiente, espongo quanto segue:

Già precedentemente all'effettuazione delle trivellazioni nell'area ex ILVA di Bagnoli, nell'ambito del progetto CFDDP nell'anno 2012, e in più circostanze a partire da tale anno e fino ad oggi, ho denunciato ai vertici istituzionali INGV, agli organi di protezione civile e nell'ambito di conferenze e dichiarazioni ai mass-media, l'estrema pericolosità connessa all'attività di trivellazione del suolo anche a bassa profondità all'interno del supervulcano dei Campi Flegrei.

Con comunicazione mediante posta elettronica certificata inviata ai vertici INGV, in data 20 e 21 gennaio 2015, facente seguito a precedenti segnalazioni, e non seguita da alcun riscontro, esponevo le motivazioni scientifiche, documentate in un'ampia letteratura allegata, a supporto delle valutazioni circa il rischio connesso a trivellazioni all'interno della caldera dei Campi Flegrei, e più specificamente alla generazione di sequenze sismiche con eventi di magnitudo non prevedibile, a fenomeni di esplosione ed eruzione dei pozzi, modificazione del regime delle falde acquifere, generazione di campi fumarolici, propagazione di sistemi di frattura, processi di subsidenza, diffusione di gas nocivi, alterazione del microclima, anche per effetto della circolazione atmosferica locale, esplosioni freatiche ed in casi più rari, di eventi vulcanici.

Tali valutazioni, basate sulle conoscenze acquisite relativamente ai sistemi geotermici in aree vulcaniche attive nonché su un'ampia casistica di incidenti e disastri documentati su scala mondiale, in considerazione della popolazione esposta a rischio (valutata in circa 3 milioni di unità), della imprevedibilità di eventi disastrosi e dell'assenza di qualsiasi piano di emergenza, imponevano di evitare qualsiasi attività di trivellazione nel rispetto del principio di precauzione.

Relativamente al progetto di perforazione elaborato dalla società privata s.r.l., dato il sito prescelto sul Vulcano Solfatara nell'area centrale della caldera dei Campi Flegrei, i rischi già denunciati in generale, risultano ulteriormente amplificati, per le peculiarità geofisiche, geochemiche e vulcanologiche dell'area.

Il sito indicato, è localizzato presso il centro della caldera attiva ed è prossimo all'area epicentrale delle sequenze sismiche associate alle crisi bradisismiche degli anni '70 e '80 ed è caratterizzata dai valori massimi del flusso termico e di fluidi registrati all'interno dell'area calderica. E inoltre l'area di più probabile apertura di nuove bocche eruttive per quanto risulta dalle ricerche vulcanologiche e geologico-strutturali.

A seguito degli aumenti di temperatura e di flusso fumarolico registrati in tale area negli ultimi anni, nonché al sollevamento del suolo tutt'ora in corso e alle sequenze sismiche registrate, nel 2012 il Dipartimento della Protezione Civile decretò il passaggio dal livello verde al livello giallo, (di attenzione), dichiarando di fatto lo stato di anomalia in atto per l'area, e quindi della sua possibile evoluzione verso gli ulteriori livelli arancione e rosso, quest'ultimo corrispondente all'evacuazione dell'intera popolazione potenzialmente a rischio in caso di eventi. Tuttavia, a fronte di tale decisione non è ancora disponibile alcun piano di emergenza che consenta l'evacuazione della popolazione a rischio.

I rischi connessi all'attività di trivellazione in aree vulcaniche attive, sono ulteriormente aggravati nel caso del sito in oggetto, in quanto il progetto della società privata srl prevede la reiniezione di fluidi, che è notoriamente un fattore di possibile innesco di instabilità meccaniche nel sistema geotermico.

Analoghe problematiche concernono i progetti di trivellazioni relativi all'isola di Ischia, caratterizzata da elevatissimi livelli di rischio sismico, vulcanico ed idrogeologico, aggravato dall'assenza di qualsiasi piano di emergenza per la popolazione residente e per l'elevata presenza turistica.

Per quanto esposto sollecito un intervento istituzionale dell'INGV e del Dipartimento di Protezione Civile Nazionale, e degli altri soggetti competenti, ai fini di evitare che rischi indotti dall'attività umana si aggiungano al già elevatissimo rischio sismico, vulcanico ed idrogeologico dell'area napoletana.

Per i gravi rischi connessi, chiedo al Ministero dell'Ambiente di non concedere autorizzazione via al Progetto Scarfoglio, codice procedura 30/14

Distinti Saluti

Giuseppe Mastrolorenzo

Primo Ricercatore INGV-Osservatorio Vesuviano

Stralcio da comunicazione mediante posta elettronica certificata inviata ai vertici INGV, in data 20 e 21 gennaio 2015:

“....omissis.....

Per quanto riguarda la caldera vulcanica attiva dei Campi Flegrei, sulla base delle proprie ricerche, pubblicate sulle più prestigiose riviste scientifiche mondiali, il sottoscritto da anni evidenzia l'estrema pericolosità dell'area e l'elevatissimo rischio al quale è permanente esposta la popolazione per l'assenza di qualsiasi piano di emergenza. Solo di recente le autorità di Protezione Civile nazionale e locale, hanno presentato la prima delimitazione della Zona Rossa per i Campi Flegrei. Questa di fatto, anche se in maniera ancora insufficiente ed inadeguata, comprende il territorio del comune di Napoli, come da tempo sollecitato agli organi istituzionali e divulgato attraverso mass-media esclusivamente dal sottoscritto, sulla base delle ricerche in vulcanologia e modellistica numerica pubblicate negli ultimi due decenni.

-----omissis.....

C) Elevata instabilità del sistema geotermico della caldera dei Campi Flegrei, con possibilità di innesco di fenomeni bradisismici ed eruzioni anche a seguito di minime sollecitazioni meccaniche e/o termiche. Tali caratteristiche del sistema rendono estremamente pericolosa qualsiasi sollecitazione di origine antropica come quella di trivellazione, anche relativamente superficiale,

all'interno del sistema geotermale con potenziale innesco di sequenze sismiche, esplosioni ed, in casi estremi, processi eruttivi come dimostrato in numerosi contesti analoghi a livello mondiale e dalle esplosioni verificatesi nei Campi Flegrei stessi in precedenti campagne di indagine attraverso trivellazioni. Il valore del rischio connesso a tali eventi all'interno dell'area urbana napoletana densamente popolata risulta elevatissimo.

.....omissis.....

Relativamente alle perforazioni del suolo, condotte, negli anni scorsi nell'area di Bagnoli nell'ambito del progetto CFDDP (coordinatori G. De Natale e C. Troise), il sottoscritto, sulla base di risultati di proprie ricerche, pubblicate su riviste internazionali, ha evidenziato l'estrema imprevedibilità e pericolosità di un sistema idrotermale in un caldera attiva come quella dei Campi Flegrei, e della possibilità di eventi imprevedibili, a seguito di sollecitazioni anche modeste (vedi JGR 1998). A tale proposito, ha più volte espresso le proprie preoccupazioni, anche in relazione all'assenza di Piani di Emergenza per i rischi vulcanico sismico ed ambientale per l'area flegrea, ai vertici INGV e del Dipartimento di Protezione Civile. Analogamente al sottoscritto, anche altri esperti quale il prof. De Vivo, il prof. Ortolani, il prof. Morra e la prof.ssa Nunziata dell'Università di Napoli Federico II hanno espresso grave preoccupazione ai vertici istituzionali, alle autorità ed ai mass-media per i rischi connessi alle attività di perforazione per la oggettiva imprevedibilità dell'evoluzione del sistema in un area peraltro sotto inchiesta (e successivamente messa sotto sequestro) per sospetto inquinamento industriale. La pericolosità delle attività di trivellazione, anche a bassa profondità, è ampiamente documentata dai numerosi incidenti e disastri (alcuni ancora in corso) avvenuti negli anni recenti in varie aree del pianeta.

Dott. Giuseppe Mastrolorenzo

6 – Riferimenti bibliografici

- AMORUSO A., & CRESCENTINI L. (2011): Modelling deformation due to a pressurized ellipsoidal cavity, with reference to the Campi Flegrei caldera, Italy. *Geophysical Research Letters*, 38(1).
- AMORUSO A., CRESCENTINI L. & BERRINO G. (2008): Simultaneous inversion of deformation and gravity changes in a horizontally layered half-space: evidences for magma intrusion during the 1982–1984 unrest at Campi Flegrei caldera (Italy). *Earth and Planetary Science Letters*, 272(1-2), 181-188.
- AMORUSO A., CRESCENTINI L., D'ANTONIO M. & ACOCCELLA V. (2017): Thermally-assisted Magma Emplacement Explains Restless Calderas, *Scientific Reports*, 7, 7948-7948.
- AMORUSO A., CRESCENTINI L., LINDE A. T., SACKS I. S., SCARPA R. & ROMANO P. (2007): A horizontal crack in a layered structure satisfies deformation for the 2004–2006 uplift of Campi Flegrei. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L22313, doi: 10.1029/2007GL031644.
- CARDELLINI C., CHIODINI G., FRONDINI F., AVINO R., BAGNATO E., CALIRO S., LELLI M. & ROSIELLO A. (2017): Monitoring diffuse volcanic degassing during volcanic unrests: the case of Campi Flegrei (Italy). *Sci Rep.* 2017; 7: 6757, doi: 10.1038/s41598-017-06941-2.
- CARLINO S. (2012): The process of resurgence for Ischia Island (southern Italy) since 55 ka: the laccolith model and implications for eruption forecasting. *Bulletin of Volcanology*, 74(5), 947-961.
- CARLINO S., CUBELLIS E., LUONGO G. & OBRIZZO F. (2006): On the mechanics of caldera resurgence of Ischia Island (southern Italy). In: Troise C, De Natale G, Kilburn C. (eds) *Mechanisms of Activity and Unrest at large Calderas*. Geological Society, London, Special Publications, 269, 181-193.
- CARLINO S., SOMMA R., TROISE C. & DE NATALE G. (2012): The geothermal exploration of Campanian volcanoes: Historical review and future development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 1004-1030.
- CARLINO S., TROIANO A., DI GIUSEPPE M. G., TRAMELLI A., TROISE C., SOMMA R. & DE NATALE G. (2016): Exploitation of geothermal energy in active volcanic areas: A numerical modelling applied to high temperature Mofete geothermal field, at Campi Flegrei caldera (Southern Italy). *Renewable Energy*, 87(1), 54-66.
- CHIODINI G., AVINO R., CALIRO S. & MINOPOLI C. (2011): Temperature and pressure gas ge indicators at the Solfatara fumaroles (Campi Flegrei). *Annals Geophysics*, 54, 2. doi: 10.4401/ag-5002.
- CHIODINI G., CALIRO S., CARDELLINI C., GRANIERI D., AVINO R., BALDINI A., DONNINI M. & MINOPOLI C. (2010): Long-term variations of the Campi Flegrei, Italy, volcanic system as revealed by the monitoring of hydrothermal activity. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115(B3).
- CHIODINI G., CALIRO S., DE MARTINO P., AVINO R. & GHERARDI F. (2012): Early signals of new volcanic

- unrest at Campi Flegrei caldera? Insights from geochemical data and physical simulations. *Geology*, 40(10), 943-946, doi:10.1130/G33251.1.
- CHIODINI G., CARDELLINI C., AMATO A., BOSCHI E., CALIRO S., FRONDINI F. & VENTURA G. (2004): Carbon dioxide Earth degassing and seismogenesis in central and southern Italy. *Geophysical Research Letters*, 31(7), L07615, doi:10.1029/2004GL019480.
- CRESCENTINI L. & AMORUSO A. (2007): Effects of crustal layering on the inversion of deformation and gravity data in volcanic areas: An application to the Campi Flegrei caldera, Italy. *Geophysical research letters*, 34(9).
- D'AURIAL., GIUDICEPIETRO F., AQUINO I., BORRIELLO G., DEL GAUDIO C., LO BASCIO D., MARTINI M., RICCIARDI G. P., RICCIOLINO P. & RICCO C. (2011): Repeated fluid-transfer episodes as a mechanism for the recent dynamics of Campi Flegrei caldera (1989–2010). *Journal of Geophysical Research*, 116, B04313.
- D'AURIA M., OTTIER W. J., HAZELL J., GILLATT B. T., LONG-COLLINS C., RIDLER N. M. & LUCYSZYN S. (2015): 3-D printed metal-pipe rectangular waveguides. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 5(9), 1339-1349.
- DE NATALE G., TROISE C., MARK D., MORMONE A., PIOCHI M., DI VITO M. A., ISAIA R., CARLINO S., BARRA D., SOMMA R. (2016): The Campi Flegrei Deep Drilling Project (CFDDP): New insight on caldera structure, evolution and hazard implications for the Naples area (Southern Italy). *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 17, 4836–4847, doi:10.1002/2015GC006183.
- DE NATALE G., TROISE C. & PINGUE F. (2001): A mechanical fluid-dynamical model for ground movements at Campi Flegrei caldera. *Journal of Geodynamics* | 32 | 4-5 | 487-517.
- DE NATALE G., TROISE C., PINGUE F., MASTROLORENZO G. & PAPPALARDO L. (2006): The Somma–Vesuvius volcano (Southern Italy); structure, dynamics and hazard evaluation. *Earth Science Reviews*, 74, 73-111.
- DE NATALE G., TROISE C., PINGUE F., MASTROLORENZO G., PAPPALARDO L., BATTAGLIA M. & BOSCHI E. (2006): The Campi Flegrei Caldera; unrest mechanisms and hazards. The Geological Society, London, 269, 25-45.
- GOTISMANN J., CAMACHO A. G., TIAMPO K. F. & FERNANDEZ J. (2006): Unrest at Campi Flegrei: A contribution to the magmatic versus hydrothermal debate from inverse and finite element modelling. *Journal of Geophysical Research*, 111, B07203, doi:10.1029/2005JB003745.
- KILBURN C. R., DE NATALE G. & CARLINO S. (2017): Progressive approach to eruption at Campi Flegrei caldera in southern Italy. *Nature communications*, 8, 15312.
- MORMONE A., TROISE C., PIOCHI M., BALASSONE G., JOACHIMSKI M. & DE NATALE G. (2015): Mineralogical, geochemical and isotopic features of tuff from the CFDDP 506 m hole: Hydrothermal

- activity in the eastern side of the Campi Flegrei volcano (southern Italy), *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 290, 39–52, doi:10.1016/j.jvolgeores.2014.12.003.
- PAOLETTI V., DI MAIO R., CELLA F., FLORIO G., MOTSCHKA K., ROBERTI N., SECOMANDI M., SUPPER R., FEDI M. & RAPOLLA A. (2009): The Ischia volcanic island (Southern Italy): Inferences from potential field data interpretation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 179, 69-86.
- SBRANA A., FULIGNATI P., GIULIVO I., MONTIL & GIUDETTI G. (2010): Ischia island (Italy) geothermal system. In *Proceeding world geothermal congress* (p. 1-6).
- SBRANA A., FULIGNATI P., MARIANELLI P., BOYCE A. J & CECCHETTI A. (2009): Exhumation of an active magmatic-hydrothermal system in a resurgent caldera environment: the example of Ischia (Italy). *Journal of the Geological Society*, 166, 1061-1073.
- SEGALL P. (1989) Earthquakes triggered by fluid extraction. *Geology* 17, 942–946. National Research Council. *Induced Seismicity Potential in Energy Technologies*. (National Academies Press, 2012). doi:10.17226/13355
- TRASATTI E., KYRIAKOPOULOS C. & CHINI M. (2011): Finite element inversion of DInSAR data from the Mw 6.3 L'Aquila earthquake, 2009 (Italy). *Geophysical Research Letters*, 38(8).
- WEERTIMAN J. & WEERTIMAN J. R. (1975): High temperature creep of rock and mantle viscosity. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 3, 293-315.
- WOO J. Y. & KILBURN C. R. (2010): Intrusion and deformation at Campi Flegrei, southern Italy: sills, dikes, and regional extension. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115(B12).

7 – Ringraziamenti

L'attività del GdLè stata realizzata su richiesta del Dipartimento della Protezione Civile e svolta nell'ambito della Convenzione A, anno 2017 e 2018, Tematica B- Pareri e consulenze. Si ringraziano sentitamente tutti i colleghi e gli esperti che hanno contribuito, in varie forme, alle attività del GdLe alla stesura della presente relazione.