ISTITUTO NAZIONALE
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

RAPPORTO TECNICO-SCIENTIFICO SUL DEGASSAMENTO DAI SUOLI ALLA SPIAGGIA DI LEVANTE E SULLA FENOMENOLOGIA IN ATTO NELLO SPECCHIO D'ACQUA ANTISTANTE

Sezione di Palermo e Sezione di Roma1

26/05/2022

Degassamento diffuso di CO_2 dal suolo della Spiaggia di Levante

Campagne di misura del flusso di CO_2 dal suolo nella zona intorno alla Vasca di Fango sono state eseguite a marzo e il 17 maggio 2022 da ricercatori della Sezione INGV di Palermo. Le misure sono state eseguite con camera di accumulo; i dati sono riportati in Tab. 1 e le relative mappe in Fig. 1. Nell'area di riferimento il flusso totale di CO_2 è aumentato da marzo a maggio 2022 da 9,2 a 16,4 t/d e l'area intorno alla Vasca di Fango era sede il 17 maggio di una vistosa anomalia di flusso di gas.

Tab. 1. *Statistiche principali delle misure di flusso di CO_2 dal suolo nell'area intorno alla Vasca di Fango*

Data	**Misure**	**CO_2 Media**	**Dev. St.**	**CO_2 Min.**	**CO_2 Max.**	**Flusso totale**	**Dev. St.**	**Area**	**Flusso totale Normalizzato per area (7200 m^2)**
	n.	g m^{-2} d^{-1}				t d^{-1}		m^2	t d^{-1}
media 2011-2020	<35	525.0	32.0	2	5.969	3.9	0.35	8,100	**3.3**
mar-22	59	1302.1	29.8	0.5	8.890	11.5	0.41	9,000	**9.2**
17 mag-22	118	2784.3	89.0	0	107.560	21.2	1.8	9,300	**16.4**

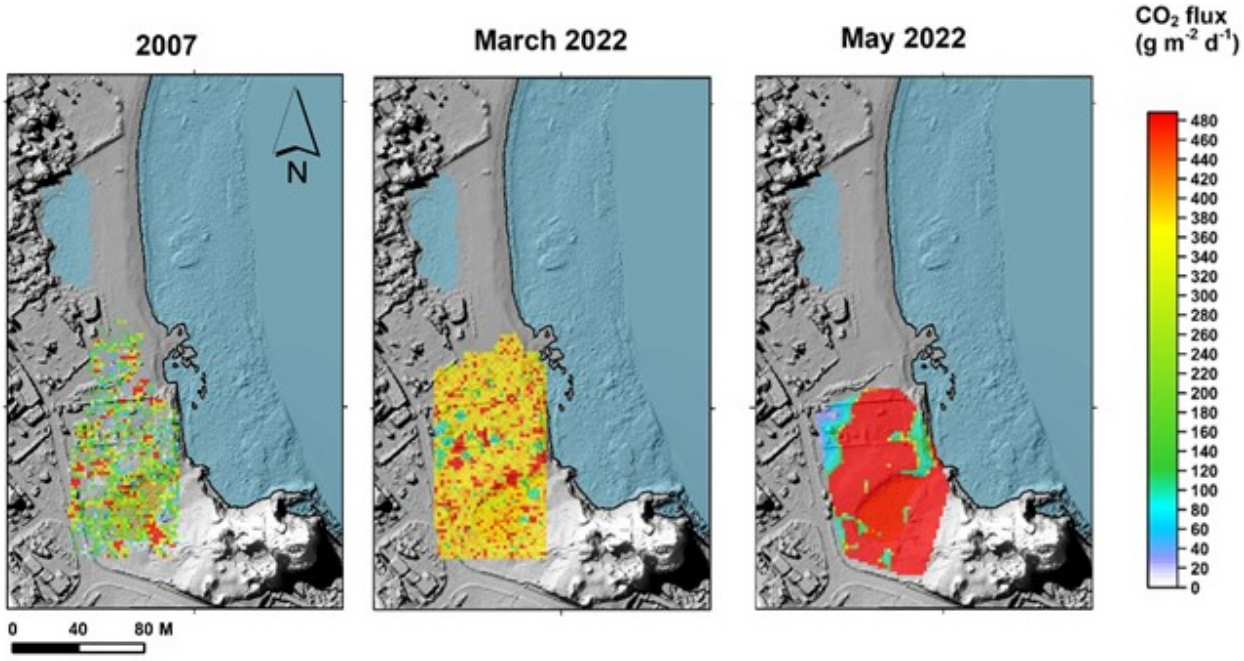

Fig. 1. *Mappe del flusso diffuso di CO_2 dal suolo dell'area attorno alla Vasca di Fango.*

I dati della stazione in continuo del flusso di CO_2 dal suolo dell'Istmo (VSF) mostrano un continuo aumento con valori superiori a 5000 g m^{-2} d^{-1}, registrati nella terza settimana di maggio.

Nei giorni 25 e 26 maggio 2022 è stata eseguita da ricercatori dell'INGV di Roma1 una campagna straordinaria di misura del flusso diffuso di CO_2 dal suolo nell'area target della Spiaggia di Levante.

Fig. 2. *Ubicazione delle misure del flusso di CO_2 dal suolo eseguite nella campagna straordinaria del 25-26 maggio 2022.*

Sono state eseguite 154 misure su un'area di 16.750 m^2 (Fig.2 e Tab.2). Analogamente alle prospezioni dei mesi di febbraio, marzo e maggio 2022, è stato possibile includere il settore centro-occidentale dell'area, in quanto la pozza d'acqua si è prosciugata. La mappa realizzata con il metodo Geostatistical Gaussian Simulation in ArcGis 10.6 è riportata in Fig. 3 e messa a confronto con le tre mappe precedenti.

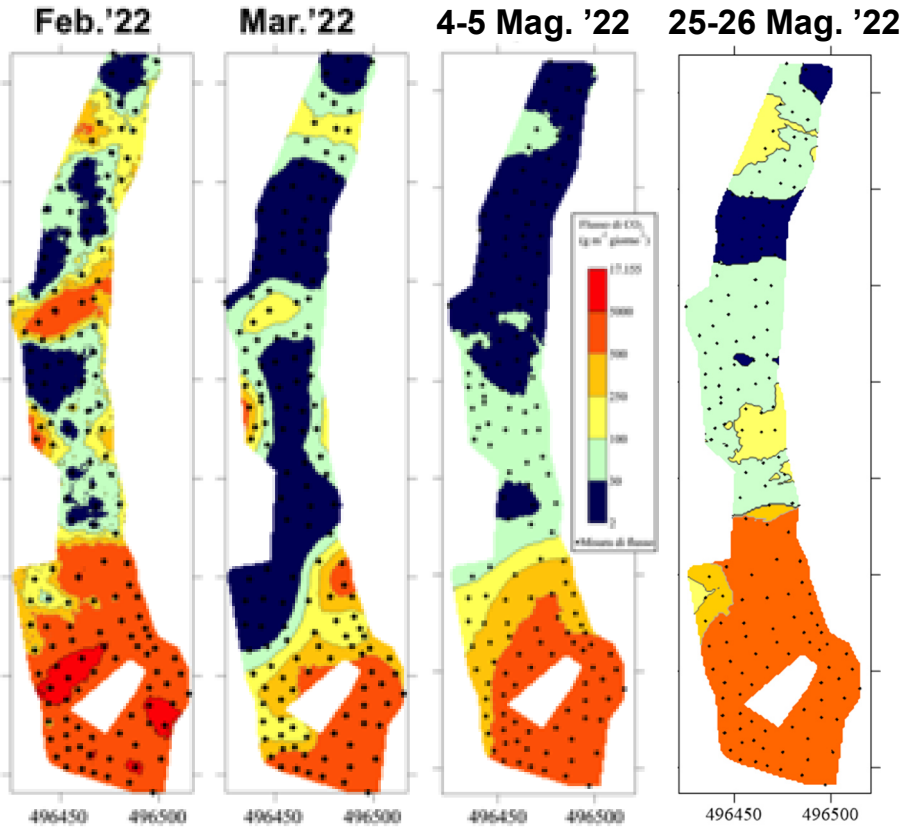

Fig. 3. *Mappe del flusso diffuso di CO_2 dal suolo dell'area target della Spiaggia di Levante. Poligono bianco: vasca di fango.*

A febbraio 2022 il flusso totale di CO_2 dell'area target della Spiaggia di Levante era aumentato fino a un valore di 20 t/d. A marzo il flusso totale stimato era fortemente diminuito (5,20 t/d) rimanendo all'incirca lo stesso nella campagna del 2 maggio (6,04 t/d). Per la campagna del 25-26 maggio si è stimato, con Empirical Bayes kriging, un flusso totale di 15,50 t/d.

Le mappe di Fig. 3 mostrano che l'incremento del flusso di CO_2 è avvenuto principalmente nella zona intorno alla vasca di fango, e in misura minore in qualche settore più a nord lungo la spiaggia (aree gialle in Fig. 3). Ciò conferma i risultati ottenuti dalle prospezioni eseguite solo nell'area della Vasca (vedi sopra).

Tab. 2. *Statistiche principali delle misure di flusso di CO_2 dal suolo nell'area target di Spiaggia di Levante*

Survey	**n. punti/area m^2**	**CO_2 g*m^{-2} giorno^{-1}**			**CO_2 stimato ton*giorno^{-1}**
		min	*max*	*media*	
Ott-Nov. '21	61/15.400	3,29	4.227,10	294,98	7,49
Dicembre '21	131/15.400	5,25	11.485,32	1.045,19	10,54
Gennaio '22	135/15.400	2,10	10.953,18	1.344,46	13,87
Febbraio '22	152/16.750 (131/15.400)*	3,64 (5,87)*	17.154,90 (17.154,90)	1.175,54 (1.340,29)*	20,26 (20,01)*
Marzo '22	153/16.750 (132/15.400)*	0,42 (0,42)*	11.300,80 (11.300,80)	552,21 (579,63)*	5,20 (5,07)*
2 Maggio '22	154/16750 (141/15.400)*	1,12 (1,12)*	19.735,80 (19.735,80)	722,28 (784,79)*	6,04 (6,00)*
25-26 Maggio '22	154/16750	1,51	27.138,5	867,62	# 15,49

 # Risultato preliminare

L'insieme dei dati raccolti indica che il flusso totale di CO_2 nella zona della Vasca di Fango è notevolmente aumentato nel corso del mese di maggio. È importante ricordare che in questo settore permane dunque un potenziale pericolo da gas hazard a causa dell'emissione di gas.

Fenomenologia in atto nel tratto di mare prospiciente la Spiaggia di Levante

Nella giornata di lunedì 23/05/2022 è stata segnalata, da abitanti di Vulcano Porto, la comparsa di una colorazione bianco-lattiginosa diffusa in tutto il tratto di mare antistante la Spiaggia di Levante a Vulcano, per un'estensione stimata di circa 400x200 metri, con larghe chiazze di materiale biancastro flottante (vedi immagini in Fig.4). Approfondimenti tramite testimoni sul luogo hanno evidenziato che la fenomenologia era già iniziata il 22/05/2022. Il fenomeno, osservato tramite la telecamera INGV posta presso l'Osservatorio di Lipari, sembrava aver raggiunto l'acme intorno alle 13.00 ora locale di lunedì, mentre era apparso in netta diminuzione nelle ore successive. Da allora in poi, la fenomenologia ha avuto un andamento oscillante, tra momenti di massimo e minimo delle manifestazioni, probabilmente imputabili a modulazioni legate ad effetti di marea, ed appare tuttora in atto (26/05/2022).

Fig.4 *Immagini del fenomeno investigato. Dall'alto: due vedute panoramiche del tratto di mare interessato (gentile concessione di Giovanni Di Vincenzo), dettaglio dei due vent emissivi principali antistanti la spiaggia e dettaglio del materiale in flottazione sull'acqua*

Nella giornata di martedì 24/05/2022 è stato effettuato un sopralluogo da ricercatori INGV tramite mezzo nautico dell'Istituto, per osservazioni macroscopiche del fenomeno, misure chimico-fisiche sul campo e prelievo di campioni. Al fine di tutelare la sicurezza degli operatori, i campionamenti hanno riguardato il prelievo di acque di mare sul fondo marino in prossimità dei siti di emissione

tramite rosetta azionata dall'imbarcazione, nonché il prelievo di gas gorgogliante dalla superficie dell'acqua. Sono stati anche effettuati campionamenti di gas presso la Vasca dei fanghi termali, che rappresenta il sito di elezione per il monitoraggio del sistema idrotermale che alimenta il degassamento nell'area, con lo scopo finale di ottenere informazioni geotermobarometriche sull'evoluzione del sistema geotermico.

Le misure in acqua di mare hanno mostrato un generale e significativo abbassamento del pH in tutto il tratto di mare interessato, con valori tra 5,8 e 6,0 (Fig.5). Si ricorda che i valori di pH più bassi sono da attribuire ad una maggiore acidità, mentre i valori più alti si avvicinano alle condizioni dell'acqua di mare non interessata da gas (pH = 8,1-8,3). Come evidente dalla mappa allegata, soltanto a distanza di diverse decine di metri a nord del tratto di mare indagato, i valori di pH ritornano prossimi a quelli dell'acqua marina locale. Misure precedenti effettuate in una vasta porzione della baia (Boatta et al., 2013) indicavano valori di pH di 5,6 solo in corrispondenza dei vent principali, con un forte gradiente verso valori più alti a pochi metri di distanza. In attesa di misure più estese in corso nell'area maggiormente interessata dal degassamento, i dati disponibili suggeriscono una maggiore estensione dell'anomalia di pH intorno alle principali emissioni di CO_2. In tal senso è interessante il confronto con dati di pH acquisiti a settembre da INGV-BO, che mostrano come le anomalie di pH fossero molto più circoscritte ai vent principali. I dati attuali riportano invece valori acidi di pH laddove in settembre i valori di pH non risultavano significativamente diminuiti.

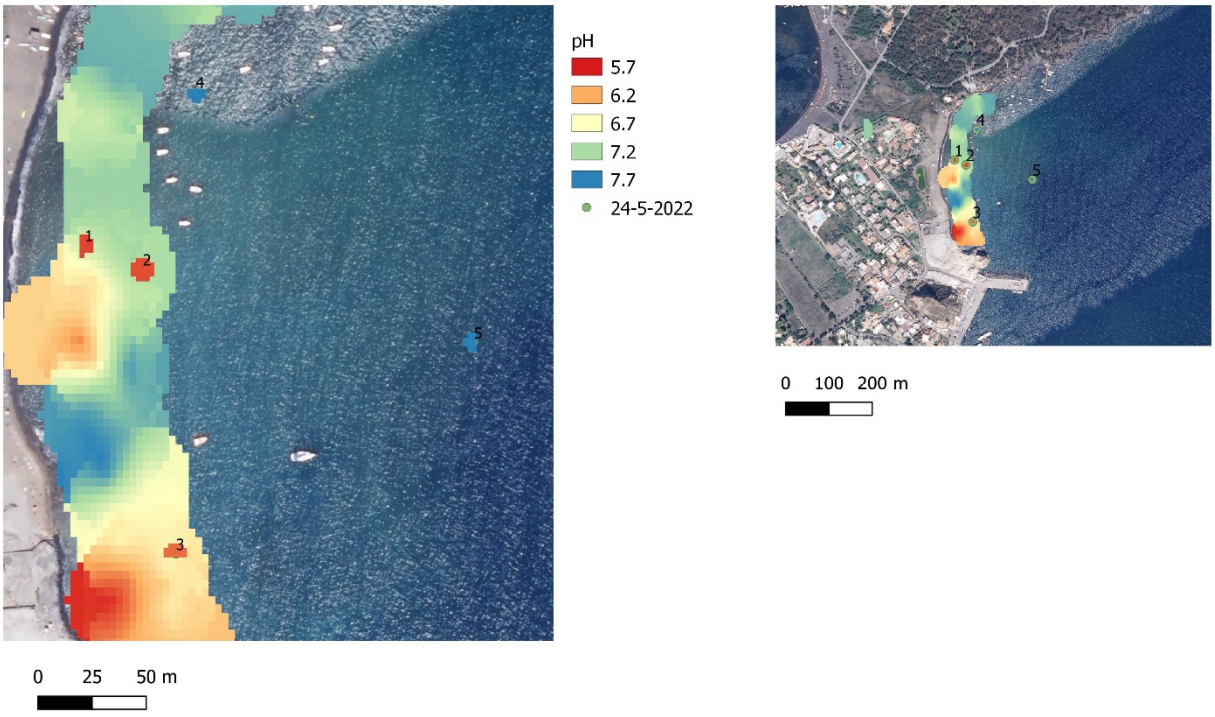

Fig.5 *Misure di pH effettuate nella giornata di martedì 24/05/2022*

I campioni di acqua prelevati nell'area interessata dal fenomeno (vedi Fig.5) hanno mostrato composizione chimica prossima ad un'acqua marina non modificata (Tab.3). In prima

approssimazione, è ipotizzabile dunque che la diffusa acidificazione sia stata principalmente legata ad un incremento nel gorgogliamento di gas acidi (CO_2, H_2S). L'omogeneità dei valori di pH misurati nel tratto di mare anomalo è in favore di questa conclusione. Nell'ipotesi che la diminuzione di pH sia stata prodotta da un incremento del flusso di gas, in via preliminare si è stimata la quantità di gas (costituito principalmente da CO_2 e dal 2% di H_2S) necessaria a causare la diminuzione di pH osservata. Si è ipotizzata una soluzione iniziale costituita da acqua di mare con pH prossimo a 7, considerati i dati precedenti misurati alla distanza di qualche decina di metri dai vent principali. La quantità di gas necessaria a produrre la diminuzione di pH osservata è di circa 4 mmol/kg. Ipotizzando che l'area interessata dall'acidificazione comprenda tutto lo specchio d'acqua tra le misure anomale effettuate il 24/05/2022, l'incremento in termini di superficie avrebbe portato da un'area di 3000 m^2 (riferita alle misure di settembre 2021) ad un'area attuale di 10000 m^2, corrispondente ad un incremento di volume d'acqua di 7000 m^3 (assumendo una profondità media di 1 m). La quantità di CO_2 necessaria ad estendere l'anomalia di pH è stimabile allora in 1.3 tons. Se l'incremento fosse avvenuto nel corso di una giornata (come risulterebbe dalle testimonianze), tale valore corrisponderebbe ad un aumento del flusso di circa 1.3 ton/giorno. Si fa notare che tale valore è un minimo in quanto non considera la quantità di CO_2 che ha attraversato lo spessore d'acqua e si è dispersa in atmosfera. Misure dirette del flusso dal fondo marino, in corso nella giornata di oggi (26/05/2022), consentiranno di affinare queste stime. I risultati saranno forniti nei prossimi giorni.

Benché l'effetto dei gas sembri quello dominante, è stato anche investigato il possibile effetto dell'aggiunta di un liquido idrotermale locale. I due candidati possibili sono identificabili nelle due tipologie di acque campionate al pozzo Vasca in momenti diversi, probabilmente legati ad una stratificazione dell'acqua del pozzo: 1) un'acqua termale acida e salmastra, simile a quella della Vasca dei fanghi, e 2) un'acqua con salinità e chimismo prossimo all'acqua marina e pH intorno a 5-6. Mentre nel secondo caso i valori di pH suggeriscono che le percentuali di soluzione idrotermale siano irrealisticamente alte (>80%), nel primo caso si possono fare stime realistiche di apporto idrotermale liquido. Infatti, nel caso 1), per riprodurre miscele marino-idrotermali coerenti con i valori misurati, i contributi di acqua idrotermale dovrebbero essere intorno a 5-6% nella miscela con acqua marina. Ipotizzando lo stesso incremento del volume di acqua marina anomalo stimato sopra in relazione alla fenomenologia indagata, si può calcolare che una quantità di 350 m^3 di acqua termale in eccesso avrebbe acidificato il tratto di mare di fronte la spiaggia.

In entrambi gli scenari, il perdurare della fenomenologia suggerisce che tali flussi in eccesso sono tuttora in atto.

Tab.3. *Composizione chimica dei due campioni di acqua prelevati (meq/l)*

Sample Name	Date	pH	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO_4	A. T.
202201	24/05/2022	5,8	500	15,3	116	34	577	64,5	2,55
202202	24/05/2022	5,9	503	13,2	114	32,9	559	61,7	2,7
Mare	24/05/2022	7,9	531.7	10.6	124.6	20.6	604,7	62,2	2,7

Presso la Vasca dei fanghi è stato prelevato un campione di gas incondensabili. Il campione ha mostrato composizioni chimiche simili a quelle osservate negli ultimi due o tre mesi (Tab.4). Il contenuto dei gas reattivi ha consentito l'effettuazione di stime geotermobarometriche nel sistema

CO_2-H_2O-CO-H_2-CH_4 in presenza di un sistema liquido-vapore in ebollizione. I risultati sono mostrati in figura, suggerendo che le condizioni termo-bariche del sistema idrotermale non siano sostanzialmente variate, con temperature poco superiori a 200°C e pressioni di circa 16 atm. Si conferma un elevato rapporto CO_2/H_2O nel vapore idrotermale (0,025), che è stato osservato durante tutta la crisi recente. Risulta anche più elevato di quello stimato in crisi passate, raggiungendo valori massimi stimati di 0,045, malgrado le temperature stimate durante questa crisi siano minori o uguali a quelle di crisi precedenti. Ciò suggerisce un incremento nell'apporto di gas profondi ricchi in CO_2 (magmatici) al sistema idrotermale della Vasca, causato certamente dal notevole degassamento profondo che ha segnato la crisi stessa.

***Tab.4**. Composizione chimica del campione di gas incondensabile alla Vasca (mol%)*

He	H2	O2	N2	CO	CH4	CO2	H2S
5,00E-04	3,94E-01	1,0	3,6	5,00E-05	1,51E-02	93,07	3,0

Benché in questa campagna non siano stati raccolti campioni di gas tal quale idonei alla misura del rapporto CO_2/H_2O nel gas (e.g. con metodo ampolla a soda), si fa presente che il rapporto CO_2/H_2O misurato in questi gas in precedenza risulta sempre molto variabile, con valori di 0,1 o superiori, indicativi di processi di condensazione verosimilmente occorrenti al sito di campionamento. Si è dunque preferito applicare un metodo geotermobarometrico che fosse indipendente da questa misura.

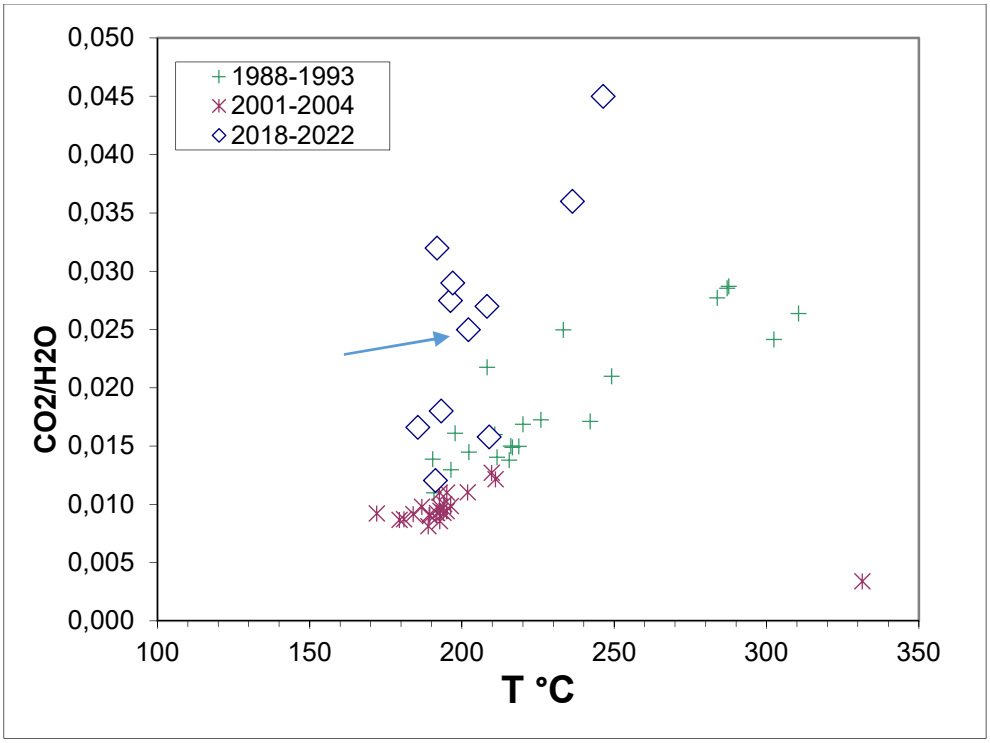

***Fig.6** Stime del rapporto CO_2/H_2O e temperatura del vapore idrotermale da equilibri chimica nel sistema CO_2-H_2O-CO-H_2-CH_4 liquido-vapore. La freccia indica il dato di martedì.*

Interpretazione e considerazioni preliminari

Le interpretazioni sul significato della fenomenologia, già fornite negli scorsi documenti inviati da questo Istituto, rimangono sostanzialmente le stesse. La durata e l'entità dell'evento, nonché la comparsa della diffusa colorazione lattiginosa, suggeriscono che uno o più eventi impulsivi di degassamento abbiano interessato l'area esalante prospiciente la Spiaggia di Levante, peraltro storicamente interessata da emissioni di gas da siti presenti a bassa profondità sul fondo del mare. Un fenomeno di rilascio di fluidi per incremento di pressione nel sistema idrotermale può infatti causare la formazione di zolfo elementare e solfati per l'apporto massiccio di H_2S gassoso, insieme a solfuri disciolti nel liquido idrotermale associato (seppure la quantità di quest'ultimo appare modesta). La successiva flocculazione produce l'aspetto bianco-lattiginoso del tratto di mare interessato dal fenomeno. La dinamica impulsiva del degassamento causa inoltre la dispersione in acqua di depositi preesistenti di zolfo nativo, contribuendo a rafforzare il fenomeno in questione. Gli elevati flussi di gas osservati nell'area della Vasca e l'incremento nel numero degli eventi VLP (vedi Bollettino settimanale del 24/05/2022) sarebbero peraltro coerenti con un incremento della pressurizzazione del sistema geotermico profondo ed un aumento della permeabilità della coltre di rocce sovrastante il serbatoio geotermico.

L'entità degli incrementi di flusso stimati sono compatibili con gli incrementi di flusso di CO_2 che stanno interessando l'area della Vasca e della Spiaggia negli ultimi mesi, a conferma del generale incremento nel contributo profondo di gas magmatici. Tenendo conto che in periodi di quiete il rapporto CO_2/H_2O si mantiene intorno a 0,015 e considerando il massimo raggiunto nella crisi attuale (0,045, vedi sopra), il sistema idrotermale starebbe subendo incrementi di pressione significativi (nell'ordine di diverse atmosfere) a causa dell'incremento di CO_2 e temperatura. Finché il sistema sarà in grado di smaltire l'eccesso di gas profondi e contenere gli incrementi di pressione, lo stesso rimarrà in sostanziale equilibrio. Il perdurare del trend in incremento della pressione aumenterà ulteriormente le probabilità di disequilibrio del sistema e quindi la possibilità di accadimento di fenomeni pericolosi (forti emissioni di gas, anche impulsive e, al limite, eventi esplosivi freatici). Purtroppo gli eventuali limiti di rottura del sistema dipendono da molti parametri attualmente ignoti o poco definiti, per cui una previsione quantitativa della pericolosità da esplosioni freatiche, nonché della taglia degli eventi attesi, non è al momento disponibile.

Responsabilità e proprietà dei dati.

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 sismiche regionali e locali in regime di convenzione con il Dipartimento della Protezione Civile.

L'INGV concorre, nei limiti delle proprie competenze inerenti la valutazione della Pericolosità sismica e vulcanica nel territorio nazionale e secondo le modalità concordate nella convenzione biennale attuativa per le attività di servizio in esecuzione dell'Accordo Quadro tra il Dipartimento della Protezione Civile e l'INGV (Periodo 2022-2025), alle attività previste nell'ambito del Sistema Nazionale di Protezione Civile. In particolare, questo documento, redatto in conformità all'Allegato Tecnico 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 arrecati 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.