

Monitoraggio *indoor* (H₂S e CO₂) sull'isola di Vulcano 10/06/2024 - 31/12/2024

Da settembre 2021 sull'isola di Vulcano è stato osservato un incremento delle concentrazioni e della temperatura dei principali gas vulcanici; gli indicatori di tale instabilità geochimica sono riscontrabili in un forte aumento del degassamento passivo di CO₂ dal suolo e nella variazione delle specie chimiche emesse dalle fumarole crateriche ad alta temperatura a vapore dominante. Si è assistito, infatti, ad un incremento sia della concentrazione che del flusso di CO₂ e SO₂ emessi in atmosfera dalle fumarole, al punto che a seconda delle condizioni del vento, queste raggiungono facilmente la zona abitata di Vulcano Porto.

Il perdurare delle situazioni di criticità, ha indotto il Dipartimento di Protezione Civile a dichiarare lo stato di emergenza nazionale (OCDPC 854/2022), che è cessato il 30/6/2023, e ad individuare ARPA Sicilia quale soggetto attuatore per la realizzazione di una rete di monitoraggio *outdoor* e *indoor*. ARPA Sicilia da novembre 2021 ha quindi avviato una campagna di monitoraggio della qualità dell'aria ed ha realizzato una rete di monitoraggio costituita da 5 stazioni multigas (H₂S, SO₂, CO₂) e una stazione fissa, dotata di analizzatori certificati per gli inquinanti previsti dal D.Lgs. 155/2010 (PM10, NO₂, CO, O₃, SO₂, H₂S, CO₂), in atto operativa.

L'agenzia ha inoltre avviato un progetto di monitoraggio della qualità dell'aria *indoor*, installando presso 32 immobili dell'isola, ubicati a Vulcano Porto a piano terra, due sensori (di norma uno nella zona giorno e l'altro nella zona notte) per immobile per la misurazione continua ed in tempo reale della concentrazione di CO₂ e, in 6 di questi immobili, ulteriori 2 sensori (di norma uno nella zona giorno e l'altro nella zona notte) per la misurazione continua della concentrazione di H₂S. Il progetto, che avrà una durata di 18 mesi, è stato formalmente avviato il 10 giugno 2024. Sarà valutata alla fine del periodo l'efficacia e l'utilità del monitoraggio.



Figura 1: Ubicazione sensori di CO₂ e H₂S sull'isola di Vulcano

Il sistema di monitoraggio *indoor* è stato ideato e progettato dalla Fagor consulting e dalla Befreest srl, quest'ultima, in particolare, ha ingegnerizzato l'architettura di sistema. Attraverso sensoristica dedicata, viene misurata la concentrazione di CO₂, la temperatura e l'umidità e, in alcuni edifici, anche la concentrazione di H₂S. Il sistema consente un monitoraggio puntuale e costante della concentrazione dei due gas presenti eventualmente negli ambienti chiusi con tempo di campionamento pari a 2 minuti. I dati rilevati dai sensori sono raccolti in apposito server cloud (hub), grazie alla connessione LTE che avviene tramite SIM dedicata, di cui sono dotati tutti i sensori, per la conservazione e la successiva elaborazione.

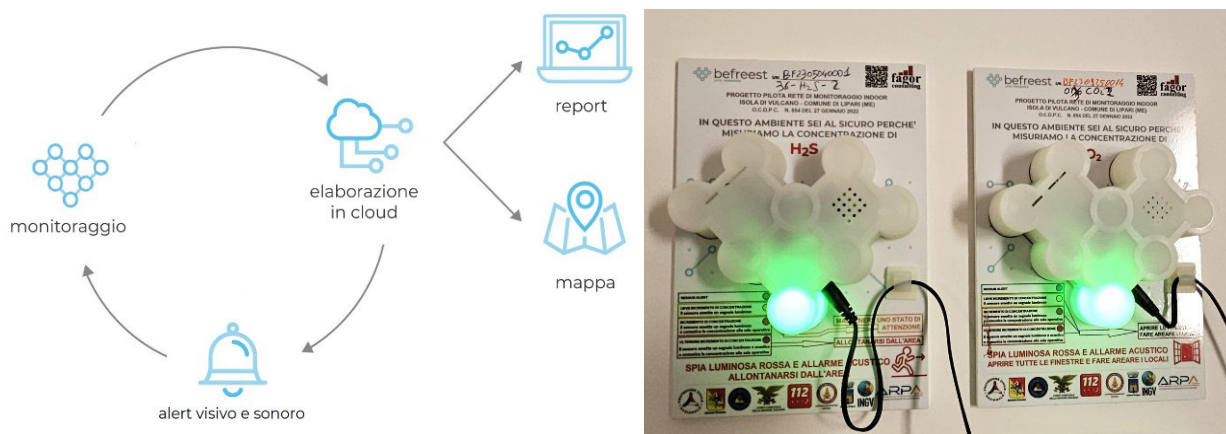


Figura 2: Architettura del monitoraggio e foto dei sensori

Caratteristiche tecniche dei sensori:

Sensori:

- CO₂ (tipo di rilevamento NDIR) Intervallo 0 - 40.000 ppm;
Risoluzione 1 ppm (0,0001%)
Accuratezza ± (0,003% 0 ppm + 3% MV)
- H₂S (electrochemical) Intervallo 0-20 ppm
Risoluzione 0,01 ppm
- TEMPERATURA: 0 - 65 °C; ± (0.4 °C + 0.023 x (T [°C] - 25°C))
- UMIDITA': 20-80%; ± (3% RH (0-100% RH))

Alimentazione AC/DC 220/12V – Accessorio power bank tampone con durata superiore a 2h

TARATURA DEI SENSORI

Tutti i sensori installati sono stati oggetto di una taratura puntuale attraverso l'interconfronto in aria ambiente con sensori dello stesso tipo tarati in maniera puntuale.

Il sensore di riferimento H₂S è stato verificato e calibrato con una miscela certificata a 1.060 ppm mol di Idrogeno Solforato.

Due sensori di CO₂ sono stati oggetto di verifica con un analizzatore Picarro G2401 Gas Concentration Analyzer presso il CNR di Lamezia Terme, inserendo gli stessi nel flusso di aria in ingresso dello strumento primario. I sensori oggetto di verifica sono stati utilizzati per il controllo del resto dei sensori in campo.

SUPERAMENTO DI SOGLIE DI INTERVENTO

Al verificarsi di scenari di rischio locali (superamento di soglie di intervento) vengono attivate segnalazioni luminose e/o sonore con contestuale invio di segnalazione sms/mail di *alert* agli enti preposti. Tale architettura consente di rilevare rapidamente fattori di rischio legati all'attività vulcanica e di avviare eventualmente procedure di protezione civile a tutela della popolazione locale. Le soglie di *alert*, dopo vari confronti, sono state individuate collegialmente con i rappresentanti della ASP ME, dell'INGV, dell'ISS e del DRPC, quest'ultimo ha contribuito in particolare all'individuazione delle azioni da adottare in casa dalle persone presenti, in caso di superamento della soglia. In particolare sono state previste per entrambi i gas tre soglie.

Per la CO₂ la soglia di concentrazione è sempre la stessa, pari a 5000 ppm, ma con un periodo di mediazione via via crescente da 60 a 300 minuti. Nel caso del superamento della soglia 1 e 2 il sistema emette un segnale luminoso. La soglia 3, oltre a una concentrazione pari a 5.000ppm mediata in 300 minuti, individua anche una concentrazione pari a 30.000 ppm mediata in 10 minuti, in modo da segnalare eventuali situazioni di picco. Al superamento della soglia 3 il sistema emette un segnale sia luminoso che acustico. Al superamento sia della soglia 2 che della soglia 3 vengono inviati automaticamente sms ed email agli enti competenti.

Per l'H₂S la prima soglia individua una concentrazione pari a 0.1 ppm mediata in 60 minuti. La soglia 2 e la soglia 3 individuano una concentrazione maggiore, pari a 0.71 ppm con tempi di mediazioni maggiori per la soglia 3. Nel caso del superamento della soglia 1 e 2 il sistema emette un segnale luminoso. Al superamento della soglia 3 il sistema emette un segnale sia luminoso che acustico. Al superamento sia della soglia 2 che della soglia 3 vengono inviati automaticamente sms ed email agli enti competenti.

Tabella 1: Soglie di alert e prime azioni da adottare

Soglie di alert CO ₂	Tipologia di segnale	Azione delle persone presenti in casa
1 soglia: 5000 ppm (mediata in 60 minuti)	segnale luminoso emesso dal sensore presente nell'abitazione	apertura delle finestre e areazione dei locali
2 soglia: 5000 ppm (mediata in 120 minuti)	segnale luminoso emesso dal sensore presente nell'abitazione; verranno inviati sms ed email agli Enti competenti	apertura delle finestre e areazione dei locali
3 soglia: 5000 ppm (mediata in 300 minuti) e 30000ppm (mediata in 10 minuti)	segnale acustico e luminoso emesso dal sensore presente nell'abitazione; verranno inviati sms ed email agli Enti competenti	apertura delle finestre e areazione dei locali
Soglie di alert H ₂ S	Tipologia di segnale	Azione delle persone presenti in casa
1 soglia: 140 µg/m ³ (0,1 ppm) (mediata in 60 minuti)	segnale luminoso emesso dal sensore presente nell'abitazione	mantenere uno stato di attenzione
2 soglia: 1000 µg/m ³ (0,71 ppm) (mediata in 30 minuti)	segnale luminoso emesso dal sensore presente nell'abitazione; verranno inviati sms ed email agli Enti competenti	mantenere uno stato di attenzione
3 soglia: 1000 µg/m ³ (0,71 ppm) (mediata in 60 minuti)	segnale acustico e luminoso emesso dal sensore presente nell'abitazione; verranno inviati sms ed email agli Enti competenti	allontanarsi dall'area

RISULTATI MONITORAGGIO

Il monitoraggio ha messo in evidenza nel periodo, dal 10 giugno 2024 (data di avvio del monitoraggio) al 31 dicembre 2024, concentrazioni superiori alle soglie *alert* sia per CO₂ che per H₂S. Dal grafico sottostante, che mostra l'andamento nel tempo del numero totale di *alert*, si nota che:

- gli *alert* 1 sono più numerosi per H₂S rispetto a CO₂;
- per CO₂ sia gli *alert* 2 che gli *alert* 3 sono stati più frequenti ad agosto e a dicembre;
- per H₂S si sono avuti più *alert* 2 nei mesi di agosto, ottobre e dicembre, così come gli *alert* 3 anche se in misura meno marcata.

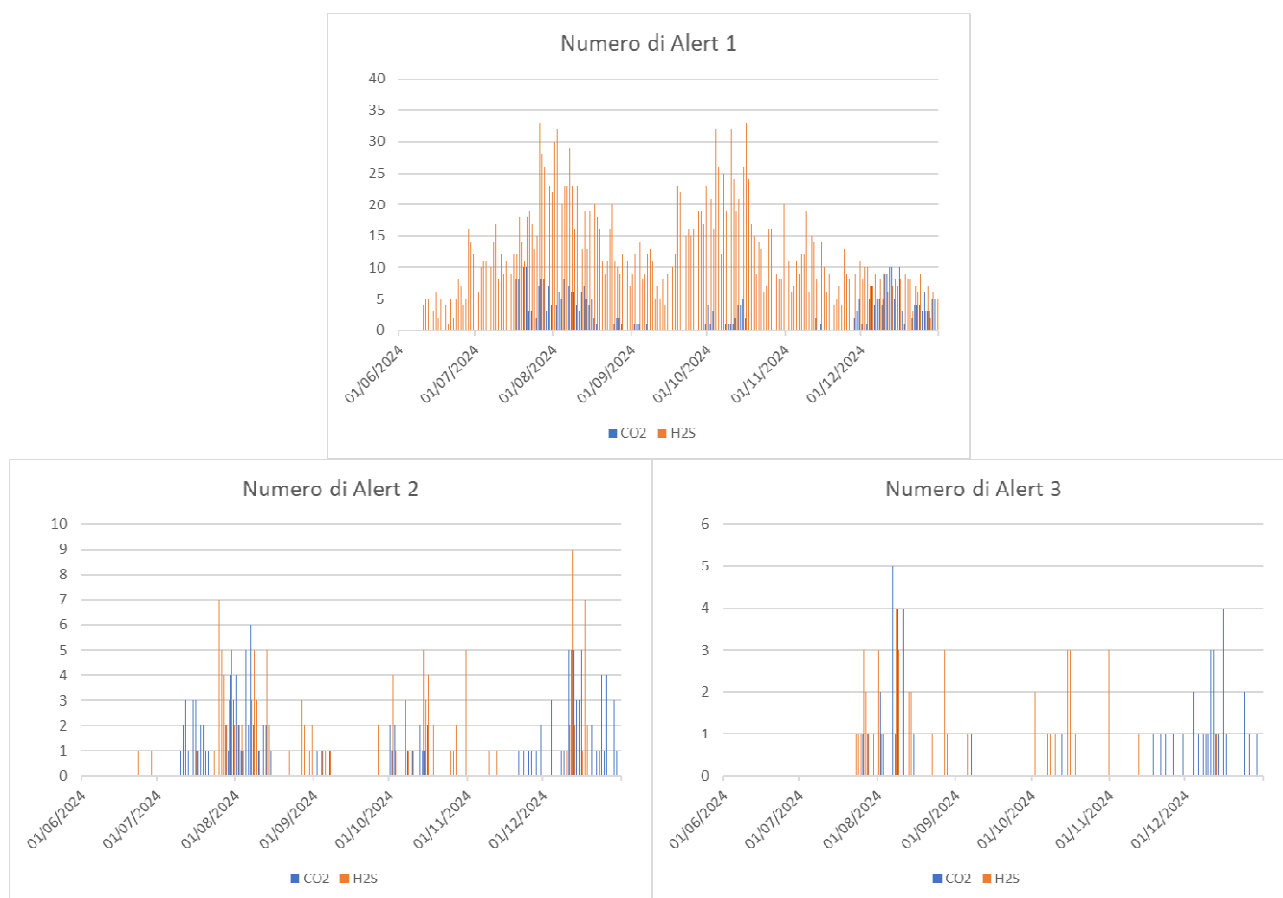


Figura 3: Distribuzione del numero di alert nel tempo

CO₂

Per la CO₂, si sono riscontrate concentrazioni superiori alle soglie *alert* su 6 edifici, riportati nella mappa.



Figura 4: Ubicazione edifici con superamenti alert CO₂ e confronto con la rete

Tabella 2: Numero di alert di CO₂ per immobile e sensore

	ALERT TOTALI	ALERT SOGLIA 1	ALERT SOGLIA 2	ALERT SOGLIA 3
007_CO2_1	139	70	43	26
023_CO2_2	56	21	19	16
007_CO2_2	83	52	24	7
032_CO2_1	253	219	32	2
038_CO2_1	15	10	3	2
028_CO2_1	2	1	1	
031_CO2_2	99	76	23	

Gli immobili riportati in tabella sono ubicati in un'area pari a circa 235.000 m², rispetto all'area complessiva di monitoraggio pari a 1.400.000 m². Tutti gli edifici, ad eccezione del 38, risultano di civile abitazione e sono abitati tutto l'anno anche se non continuativamente, pertanto l'areazione dei locali dovrebbe essere garantita dagli abitanti. Per quanto riguarda l'immobile con alias 38, in cui insiste l'attività di Poste Italiane S.p.a., si evidenzia che gli *alert* soglia 2 e soglia 3, sono stati registrati esclusivamente nelle ore notturne o nelle prime ore del giorno, ovvero nelle fasce orarie in cui i locali risultano chiusi al pubblico e l'ambiente poco ventilato. L'ubicazione degli edifici 28, 7 e 38 è molto ravvicinata, gli altri 3 risultano invece più distanti e

comunque prossimi ad altri edifici dove non si sono registrati *alert*. Pertanto, a meno eventualmente dell'area degli edifici dove insistono il 28, il 7 e il 38, non sembra ipotizzabile individuare un'area con un maggiore emissione di CO₂.

È stata quindi effettuata una ricerca per risalire all'anno di costruzione degli immobili monitorati per verificare l'ipotesi di una correlazione tra le elevate concentrazioni di CO₂ e l'anno di costruzione degli edifici. Tuttavia, dalle informazioni ottenute dalle visure catastali storiche non è possibile risalire alla data di costruzione degli edifici. Se tale informazione potrà essere fornita dal comune di Lipari, si potrà verificare se è ragionevole correlare le elevate concentrazioni di CO₂ con l'anno di costruzione degli edifici.

Nell'edificio 7 si registra la maggiore frequenza di *alert* 3, peraltro in entrambi gli ambienti monitorati, sebbene il maggior numero di *alert* sia stato riscontrato per l'edificio 32.

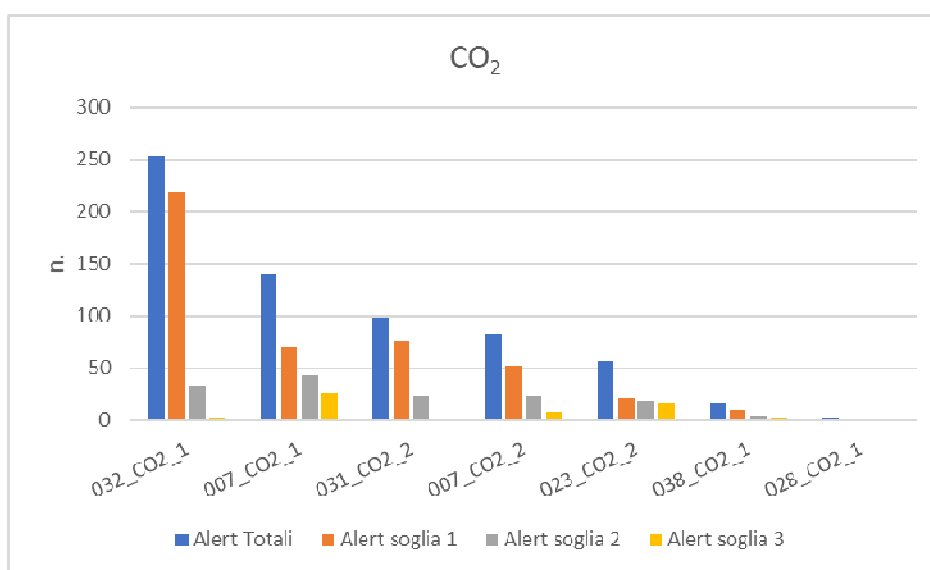


Figura 5: Distribuzione degli alert di CO₂ per immobile e sensore

Ponendo l'attenzione sugli *alert* 3, ed effettuando un'analisi sulla concentrazione massima e la durata, si riscontra che le concentrazioni più elevate, sicuramente non inferiori a 40.000 ppm considerato che questa è la soglia massima di rilevamento del sensore, sono state raggiunte dall'edificio 7 nel mese di agosto; tuttavia la durata è solo di pochi minuti. Invece, gli *alert* 3 riscontrati nell'edificio 23 sono più duraturi fino ad arrivare a più di 60 ore il 26/12/2024.

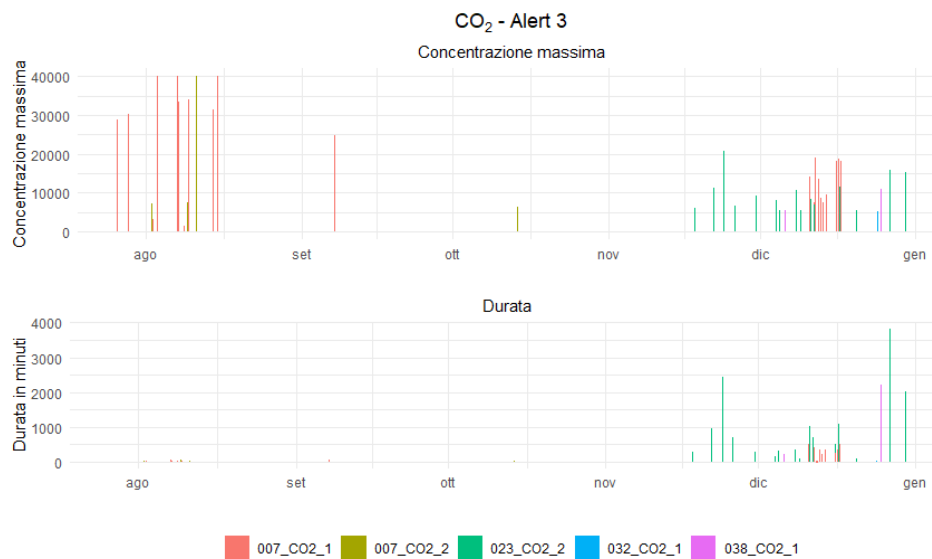


Figura 6: Concentrazione massima e durata degli alert 3 di CO₂

Dal grafico seguente si nota che nelle ore in cui si è verificato l'alert 3 il 26/12/24 nell'edificio 23, la concentrazione al minuto è stata quasi sempre superiore a 6.000 ppm.

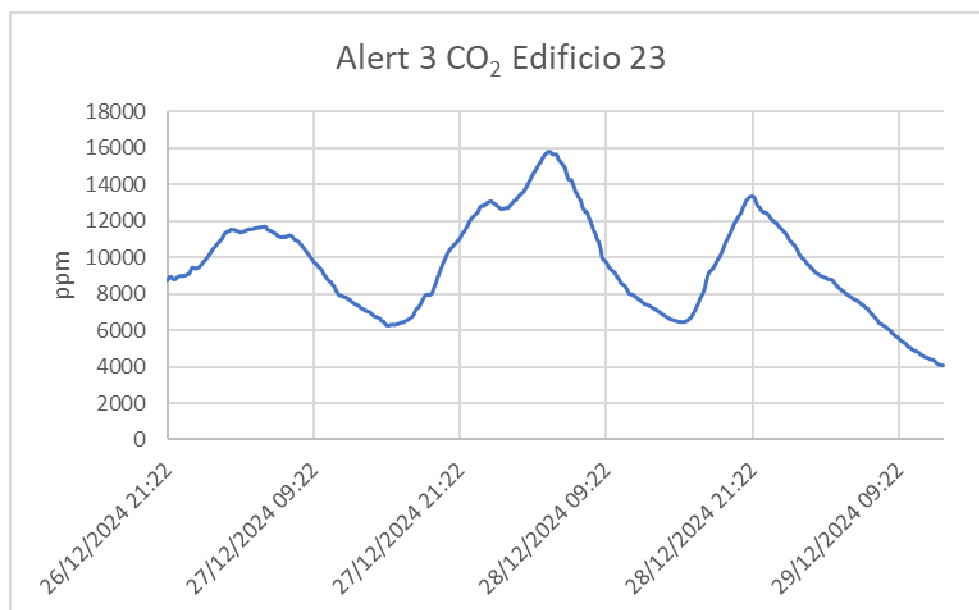


Figura 7: Concentrazione al minuto dell'alert 3 di CO₂ più duraturo

Effettuando un confronto con le stazioni multigas della rete *outdoor* sull'isola di Vulcano non si riscontrano aumenti delle concentrazioni di CO₂ nel mese di agosto né il 26 dicembre, quindi verosimilmente le elevate concentrazioni *indoor* dipendono principalmente dall'aerazione dei locali, e in subordine dalle caratteristiche geomorfologiche dei terreni ed eventualmente dalle caratteristiche costruttive degli edifici.

H₂S

Per l'H₂S, gli edifici a segnalare *alert* (Tabella 3) sono stati 5, riportati nella figura 8. Tre di questi edifici presentano superamenti anche per la CO₂. Gli edifici 19 e 36 hanno invece presentato *alert* solo per H₂S.

Tabella 3: Numero di alert di H₂S per immobile e sensore e distanza dalla vasca di fango

	ALERT TOTALI	ALERT SOGLIA 1	ALERT SOGLIA 2	ALERT SOGLIA 3	Distanza dalla vasca di fango
007_H2S_2	479	379	71	29	60 m
036_H2S_2	281	250	17	14	200 m
031_H2S_3	100	77	15	8	330 m
007_H2S_1	141	121	14	6	60 m
019_H2S_2	623	612	8	3	135 m
028_H2S_1	824	817	5	2	85 m
031_H2S_1	362	350	10	2	330 m



Figura 8: Ubicazione edifici con superamenti alert H₂S e confronto con la rete

Gli immobili riportati in tabella 8 sono ubicati in un'area pari a circa 115.000 m², rispetto all'area complessiva di monitoraggio pari a 170.000 m². Gli edifici 7, 28, 36 e 19 sono molto prossimi tra di loro e distano al più 200 m dalla vasca di fango, sorgente di H₂S. L'edificio 31, più isolato rispetto agli altri 4 dista circa 330 m dalla vasca di fango. Inoltre tutti gli edifici, ad eccezione del 19 e 36, risultano di civile abitazione e sono abitati tutto l'anno anche se non continuativamente. Gli immobili con alias 19 e 36, vengono utilizzati rispettivamente come negozio di souvenir/mangimi per animali e come guardia medica locale, e risultano essere frequentati per tutto l'anno. Di fatto tutti gli edifici dove viene misurato l'H₂S, ad eccezione del 18, hanno presentato concentrazioni superiori alle soglie di *alert*.

Nell'edificio 7 si registra la maggiore frequenza di *alert 3*, sebbene il maggior numero di *alert* sia stato riscontrato per l'edificio 28. Entrambi gli edifici risultano essere i più prossimi alla vasca di fango.

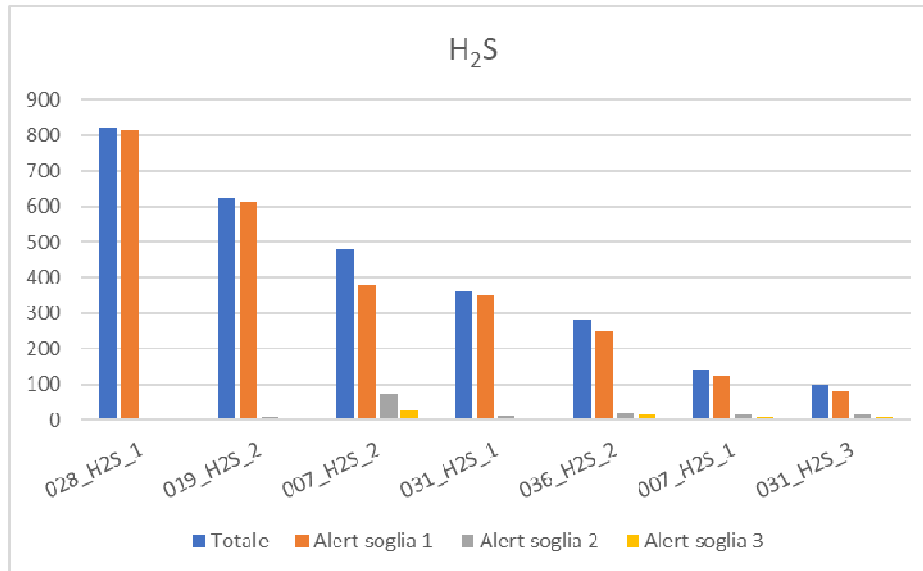


Figura 9: Distribuzione degli alert di H₂S per immobile e sensore

Ponendo l'attenzione sugli *alert 3*, ed effettuando un'analisi sulla concentrazione massima e la durata, si riscontra che anche in questo caso le concentrazioni più elevate sono state raggiunte dall'edificio 7, pari a 3,87 ppm. L'*alert 3* con la massima durata di circa tre ore e mezza è stato invece rilevato nell'edificio 31 il 24/07/2024.

H₂S - Alert 3

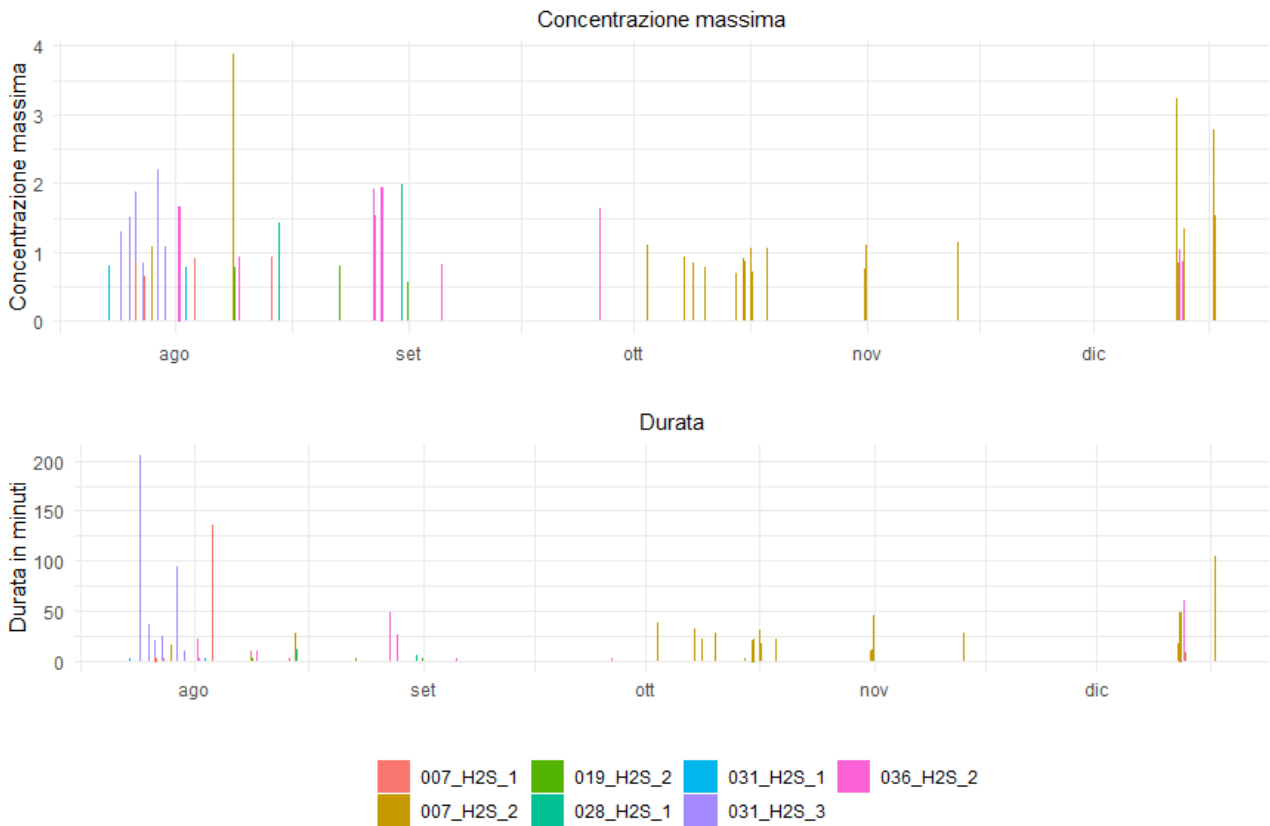


Figura 10: Concentrazione massima e durata degli alert 3 di H₂S

Dalla Figura 11 si nota che nelle ore in cui si è verificato l'alert 3 il 24/07 nell'edificio 31, la concentrazione al minuto è stata sempre superiore a 0,8 ppm. La direzione e la velocità del vento sotto riportate evidenziano che le elevate concentrazioni di H₂S sono associabili alla vasca di fango ubicata a Nord Est dell'immobile 31. L'interruzione del segnale alle 18:22, ripartito il 25/07 alle 12:04, non ci ha permesso di valutare l'evoluzione dell'evento.

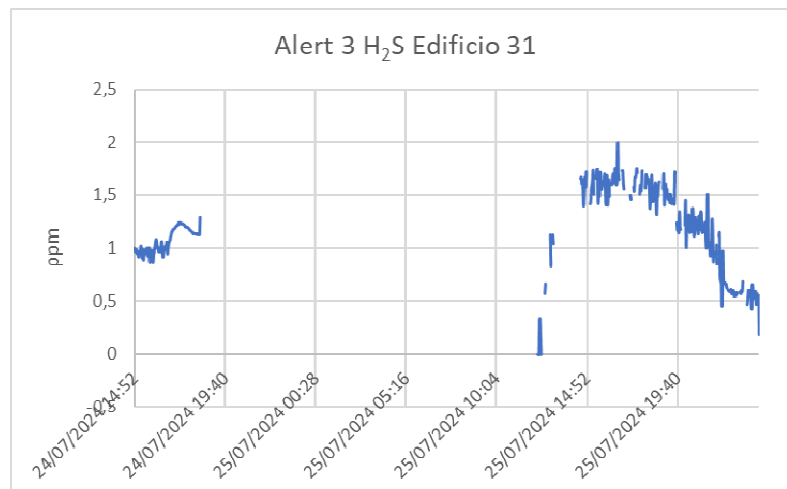


Figura 11: Concentrazione al minuto dell'alert 3 di H₂S più duraturo

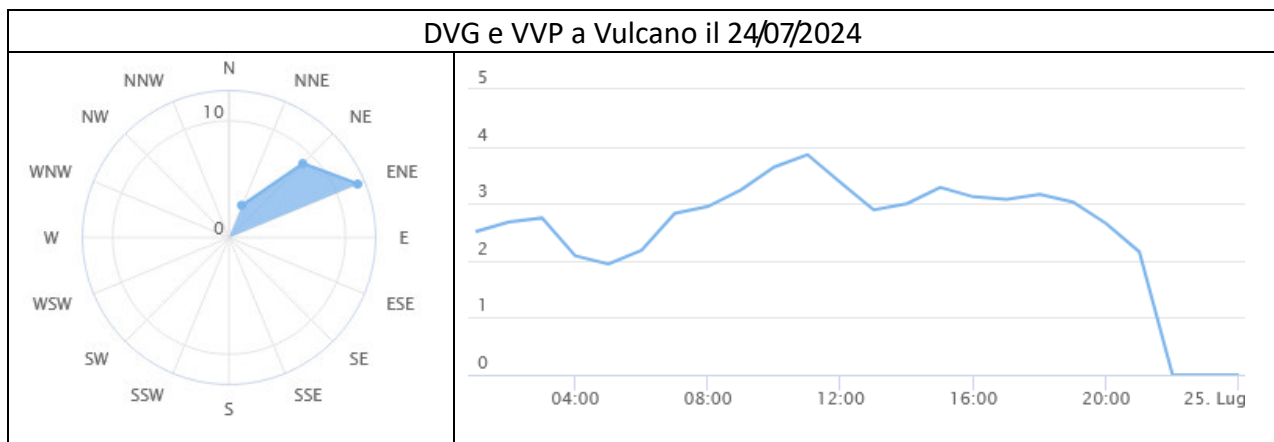
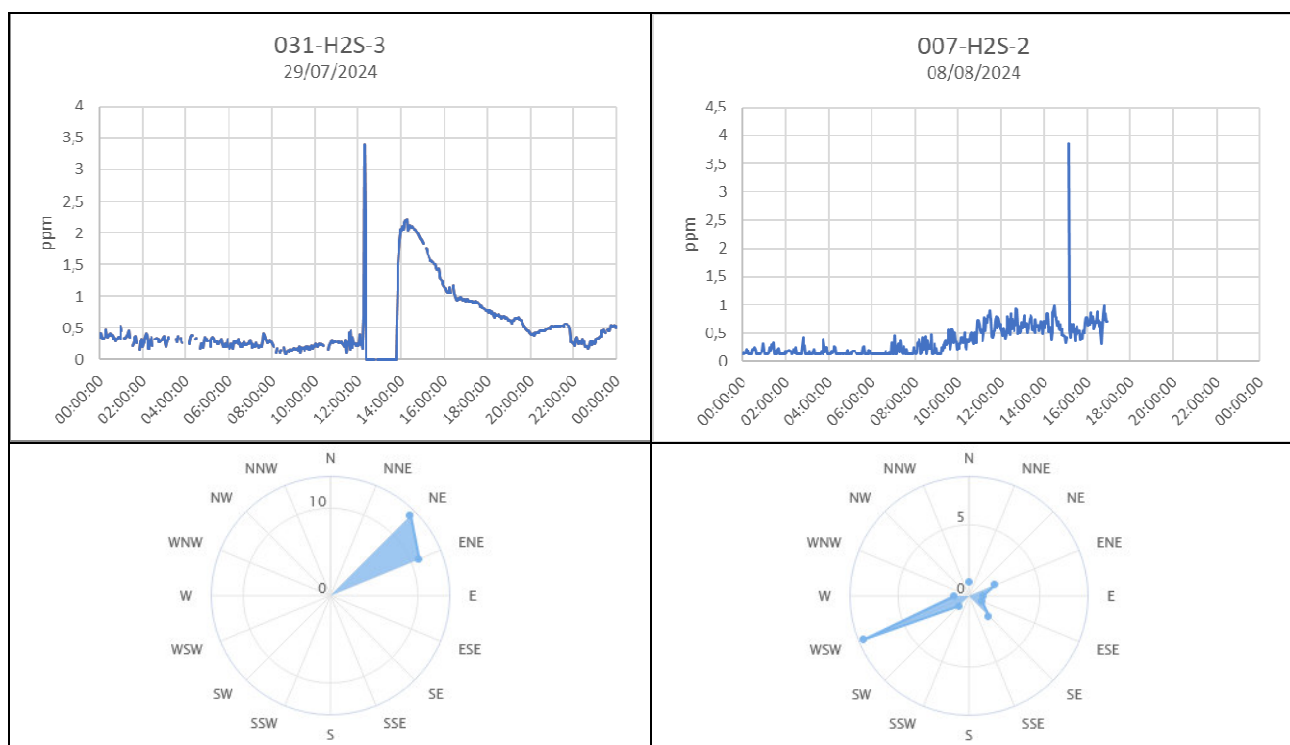
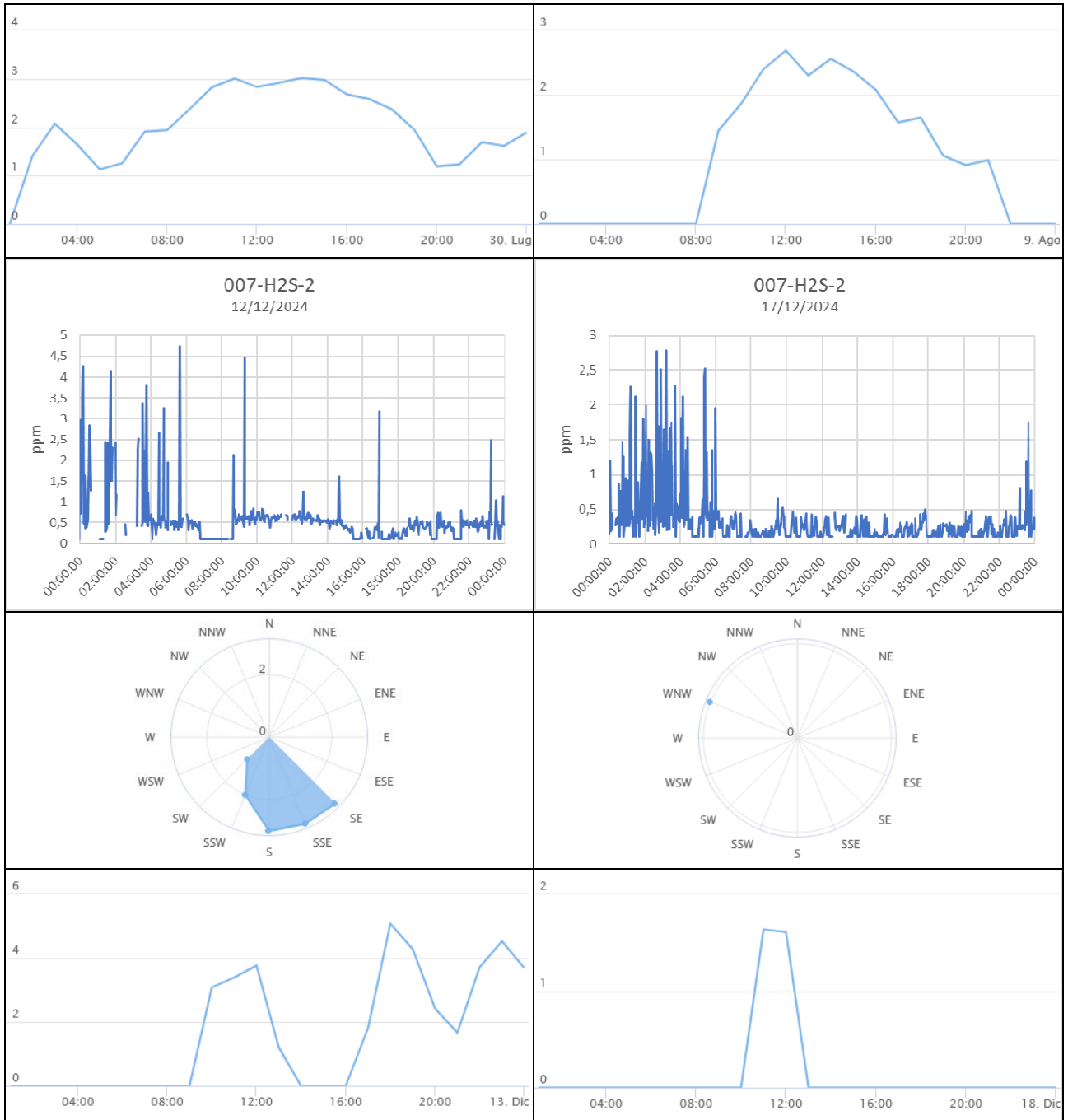


Figura 12: Direzione e velocità del vento il 24/07/2024

Le giornate in cui si sono riscontrate concentrazioni molto elevate, superiori a 2 ppm, sono quattro: una il 29 luglio per il sensore 031-H2S-3 e tre per il sensore 007-H2S-2 (l'8 agosto, il 12 e il 17 dicembre). Effettuando un confronto con le stazioni multigas della rete *outdoor* sull'isola di Vulcano non si riscontrano aumenti delle concentrazioni di H₂S nei giorni sopra individuati. Valutando le condizioni meteo registrate nei giorni di interesse, riportate nei grafici a seguire, si nota che per l'edificio 31 la direzione del vento influenza sicuramente la concentrazione di H₂S. Per l'edificio 7, invece, la relazione è evidente per il 12 dicembre. Tuttavia bisogna considerare che l'edificio 7 è il più vicino alla vasca di fango e quindi è sempre esposto alle emissioni di H₂S provenienti da quella fonte.





CONCLUSIONI

Il monitoraggio ha messo in evidenza concentrazioni, superiori alle soglie *alert* individuate per la CO₂, su 6 edifici dei 32 monitorati e per l'H₂S su 5 dei 6 edifici monitorati. Si evidenzia che le concentrazioni più elevate sia di CO₂ che di H₂S sono state rilevate nell'edificio 7, mentre gli *alert* 3 più lunghi temporalmente sono stati registrati nell'edificio 23 per la CO₂ e nell'edificio 31 per l'H₂S.

Le concentrazioni di CO₂ più elevate sono state registrate in edifici, ricadenti in un'area pari a circa 235.000 m², rispetto all'area complessiva di monitoraggio pari a 1.400.000 m², dove sono comunque presenti altri edifici monitorati in cui non si è registrato alcun *alert*. Pertanto, a meno eventualmente dell'area molto contenuta dove insistono gli edifici 28, 7 e 38, non sembra ipotizzabile individuare un'area con un maggiore emissione di CO₂.

È stata quindi effettuata una ricerca per risalire all'anno di costruzione degli immobili monitorati per verificare l'ipotesi di una correlazione tra le elevate concentrazioni di CO₂ e l'anno di costruzione degli edifici. Tuttavia, dalle informazioni ottenute dalle visure catastali storiche non è possibile risalire alla data di costruzione degli edifici. Se tale informazione potrà essere fornita dal comune di Lipari, si potrà verificare se è ragionevole correlare le elevate concentrazioni di CO₂ con l'anno di costruzione degli edifici.

Le elevate concentrazioni monitorate sono comunque collegate alla frequenza con cui gli abitanti effettuano i ricambi d'aria nei locali. Tant'è che nell'edificio con alias 38, in cui insiste l'attività di Poste Italiane S.p.a., sono stati registrati *alert* esclusivamente nelle ore notturne o nelle prime ore del giorno, ovvero nelle fasce orarie in cui i locali risultano chiusi al pubblico e l'ambiente poco ventilato.

Gli edifici in cui si sono verificate le condizioni di superamento degli *alert* H₂S sono tutti ubicati nell'area intorno alla zona della spiaggia di levante, in cui è presente la pozza dei fanghi, caratterizzata da elevate concentrazioni di H₂S. In particolare gli edifici 7, 28, 36 e 19 sono molto prossimi tra di loro e distano al più 200 m dalla vasca di fango. L'edificio 31, più isolato rispetto agli altri 4 dista circa 330 m dalla vasca di fango.

Durante l'*alert* 3 con la massima durata (circa tre ore e mezza), che è stato rilevato nell'edificio 31 il 24/07/2024 la direzione del vento indica che l'edificio risultava sottovento rispetto alla vasca di fango. Per l'edificio 7, invece, la relazione con la direzione del vento risulta evidente il 12 dicembre. Tuttavia bisogna considerare che l'edificio 7 è il più vicino alla vasca di fango e quindi è sempre esposto alle emissioni di H₂S provenienti da quella fonte.

L'unico edificio monitorato in cui non si sono registrati *alert* (alias 18) risulta essere il più lontano dalla vasca di fango, pertanto le maggiori concentrazioni di H₂S sono da collegare alle condizioni meteorologiche (direzione e velocità del vento) favorevoli alla diffusione di H₂S dalla vasca di fango agli edifici monitorati.