



ARPAT
Agenzia regionale
per la protezione ambientale
della Toscana

REGIONE
TOSCANA



Concentrazioni in aria
di H_2S e Hg nelle aree
geotermiche toscane.
Monitoraggi ARPAT e
validazione dati Enel
Green Power Italia
S.p.A - anno 2023



Concentrazioni in
aria di H₂S e Hg nelle
aree geotermiche
toschane.

Monitoraggi ARPAT
e validazione dati
Enel Green Power
Italia S.p.A.
Anno 2023

Firenze, 2024

Concentrazioni in aria di H₂S e Hg nelle aree geotermiche toscane
Monitoraggi ARPAT e validazione dati Enel Green Power Italia S.p.A - anno 2023

A cura di:

Alessandro Bagnoli – ARPAT, Settore Supporto tecnico, Dipartimento di Piombino
Francesca Andreis, Andrea Fattori, Giulia Bartoccini - ARPAT, Settore Geotermia

Hanno collaborato:

Simone Magi, Emanuele Cecconi – ARPAT, Settore Geotermia

Copertina e editing:

Settore Comunicazione, informazione e documentazione

Immagine di copertina: ARPAT

ARPAT, 2024



INDICE

1. PRESENTAZIONE	6
2. SINTESI DEI RISULTATI ENEL GP	7
3. INTRODUZIONE E FINALITÀ DEL MONITORAGGIO	10
4. INDICATORI	11
4.1 Idrogeno solforato	11
4.1.1 Valori di riferimento per la tutela sanitaria	11
4.2 Mercurio	12
4.2.1 Valori di riferimento per la tutela sanitaria	12
5. STAZIONI DI RILEVAMENTO ENEL GP PER L'H ₂ S	14
5.1 Stazioni Q.A. di Arcidosso, Santa Fiora, Bagnore e Merigar	14
5.1.1. Media mobile calcolata su 24 ore	15
5.1.2. Media mobile calcolata su 14 giorni	15
5.1.3. Media mobile calcolata su 90 giorni	16
5.1.4. Media annuale (2010-2023)	16
5.2 Stazioni Q.A. di Piancastagnaio (PICA e PICA2)	17
5.2.1 Media mobile calcolata su 24 ore	18
5.2.2 Media mobile calcolata su 14 giorni	18
5.2.3 Media mobile calcolata su 90 giorni	19
5.2.4 Media annuale	19
5.3 Elaborazione dei dati delle Stazioni Q.A. di Canneto, Lustignano, Serrazzano	20
5.3.1 Media mobile calcolata su 24 ore	21
5.3.2 Media mobile calcolata su 14 giorni	21
5.3.3 Media mobile calcolata su 90 giorni	22
5.3.4 Media annuale	22
5.4 Elaborazione dei dati delle Stazioni Q.A. di Sasso Pisano e Monterotondo Marittimo	23
5.4.1 Media mobile calcolata su 24 ore	24
5.4.2 Media mobile calcolata su 14 giorni	24
5.4.3 Media mobile calcolata su 90 giorni	25
5.4.4 Media annuale	25
5.5 Elaborazione dei dati delle Stazioni Q.A. di Larderello, Castelnuovo e Montecerboli	26
5.5.1 Media mobile calcolata su 24 ore	27
5.5.2 Media mobile calcolata su 14 giorni	27
5.5.3 Media mobile calcolata su 90 giorni	28
5.5.4 Media annuale	28
5.6 Elaborazione dei dati delle Stazioni Q.A. di Belforte, Travale, Montalcinello e Chiusdino	29
5.6.1 Media mobile calcolata su 24 ore	30
5.6.2 Media mobile calcolata su 14 giorni	30
5.6.3 Media mobile calcolata su 90 giorni	31
5.6.4 Media annuale	31

6.	MEZZI MOBILI ARPAT E CONFRONTO CON I DATI DI ENEL GP	32
6.1	Stazione fissa Q.A. ARPAT di Pomarance (PI), loc. Montecerboli	32
6.2	Mezzo ARPAT GEO 1	34
6.2.1	Monitoraggio presso il cimitero di Selvena (Castell'Azzara, GR). Periodo 15/02/2023 – 15/01/2024	34
6.3	Mezzo ARPAT GEO 2	34
6.3.1	Monitoraggio in Loc. Chiusdino (SI), nel parcheggio vicino alla palestra comunale. Periodo dal 1/6/2023 al 15/10/2023	34
7.	CONCLUSIONI	38

1. PRESENTAZIONE

La Toscana nelle zone delle Colline Metallifere e del Monte Amiata presenta particolari anomalie geotermiche, con caratteristiche tali da renderne particolarmente conveniente lo sfruttamento energetico.

Ad oggi sono attivi 36 gruppi produttivi geotermoelettrici gestiti da Enel GP Italia SpA (da ora in poi Enel GP) che risultano dislocati nelle seguenti aree territoriali: Larderello, Lago (Val di Cornia), Radicondoli (nel loro insieme indicate come Area “tradizionale” o “storica”) e le aree di Bagnore e di Piancastagnaio (queste ultime due, nel loro insieme, indicate come Area “Amiata”).

La produzione di energia geotermoelettrica annuale è di circa 5000 MWh che corrisponde a circa il 35% del totale della produzione elettrica complessiva regionale.

La specificità della fonte di energia geotermica, soprattutto se confrontata con le altre fonti rinnovabili, è rappresentata da continuità, regolarità ed efficienza.

Valutandone gli impatti sull'ambiente e sulla qualità dell'aria in particolare, è opportuno rilevare, in via preliminare, come, sul territorio toscano, siano presenti sia emissioni puntuali di origine antropica, originate dai gruppi di produzione, sia emissioni, generalmente diffuse, costituite dalle manifestazioni geotermiche naturali (soffioni, fumarole, putizze, sorgenti di acque caldissime, laghetti, etc.), non sempre di immediata individuazione, di cui sarebbe auspicabile disporre di un accurato censimento.

Le emissioni di origine geotermica sono caratterizzate da alte percentuali di vapor acqueo e percentuali nettamente inferiori di altre sostanze, tra le quali mercurio, ammoniaca, acido borico e idrogeno solforato (H₂S), quest'ultimo riconoscibile dall'olfatto umano già a concentrazioni molto basse, inferiori a 7 µg/m³ e, anche per questo, adottato generalmente come tracciante di attività geotermica.

Nelle centrali geotermoelettriche, per mitigarne gli impatti, sono state introdotte sia la pratica della reiniezione del fluido geotermico, che permette di effettuare la “coltivazione” del serbatoio, sia l'installazione di un sistema di abbattimento del mercurio e dell'idrogeno solforato (H₂S), denominato AMIS, finalizzato, come dice anche il nome, alla riduzione dell'H₂S e dell'Hg gassoso nella frazione dei gas incondensabili emessi dalla Centrale. L'efficienza di abbattimento dell'AMIS, installato in tutte le centrali della Toscana, è molto alta (circa del 97-99% per H₂S e il 90-96% per il Hg). Inoltre, nelle centrali geotermiche della zona di Bagnore, risulta installato e attivo un impianto per l'abbattimento dell'ammoniaca (NH₃).

Nel corso degli anni, in occasione del rilascio dell'autorizzazione all'esercizio di ciascun impianto, la Regione Toscana ha prescritto a Enel GP l'installazione di centraline fisse destinate al monitoraggio dell'H₂S, che ad oggi costituiscono una rete di 18 stazioni di monitoraggio localizzate sul territorio toscano, dove vi è attività di utilizzo della risorsa geotermica.

Tali dati, che sono mensilmente trasmessi alla Regione Toscana e ad ARPAT, sono verificati e integrati dalle indagini condotte autonomamente dalla stessa ARPAT, utilizzando una stazione fissa per il controllo della qualità dell'aria di Montecerboli (PI) e soprattutto mediante due autolaboratori, denominati, nel seguito, GEO1 e GEO2.

Scopo principale del presente report è quello di relazionare circa l'attività di raccolta, analisi e conseguente verifica della congruità dei dati raccolti da Enel GP che, per numerosità e capillarità di postazioni presenti nel territorio, rappresentano un'importante fonte di informazione, ovviamente previa validazione da parte di ARPAT, alla luce dei monitoraggi svolti autonomamente.

2. SINTESI DEI RISULTATI ENEL GP

Nelle tabelle sottostanti è riportata una sintesi delle concentrazioni in aria di H₂S elaborate attraverso i dati rilevati nel **2023** dalle stazioni di monitoraggio qualità dell'aria di ENEL GP, espressi come valori massimi (mensili e annuali) delle medie mobili della concentrazione di H₂S (in µg/m³). Esse sono calcolate rispettivamente su intervalli di 24 ore, 14 giorni e 90 giorni, in coerenza con le indicazioni del World Health Organization (WHO), riportate nelle "Air Quality Guidelines" for Europe, second Edition (ed. 2000) e nel "Concise International Chemical Assessment Document 53. Hydrogen sulfide: human health aspects" (ed. 2003).

Nelle tabelle seguenti i valori massimi mensili riscontrati nel **2023** sono stati messi a confronto con il massimo registrato negli anni precedenti.

I valori massimi delle medie mobili calcolate su periodi di 24 ore, in misura minore di 14 giorni, registrati negli anni 2022 e 2023, registrano alcuni valori più elevati rispetto agli anni pregressi, che fortunatamente non trovano necessariamente corrispondenza nella media annuale in particolare per quelle centrali, ubicate nell'area tradizionale.

È opportuno rilevare che questo report non deve essere correlato esclusivamente alle emissioni in torre delle centrali geotermiche ENEL GP. Il dato potrebbe infatti essere influenzato anche dalla coltivazione e dalla perforazione di nuovi pozzi, come pure da altre sorgenti, anche di tipo naturale.

Ciò premesso, l'esame della sottostante tabella 1 dimostra l'assenza di superamenti del limite fissato per la media mobile calcolata sul periodo di riferimento di 24 ore, pari a 150 µg/m³, e, cautelativamente, anche per il caso di media mobile calcolata sul periodo di riferimento di 2-14 giorni, con limite pari a 100 µg/m³.

Tab.1: Media mobile H₂S in aria, calcolata su 24 h (LR=150 µg/m³). Max mensili (2023) e annuali (2019-2023)

Massimo mensile della media mobile su 24 ore (Mese/Stazione)		2023-01	2023-02	2023-03	2023-04	2023-05	2023-06	2023-07	2023-08	2023-09	2023-10	2023-11	2023-12	MAX 2019	MAX 2020	MAX 2021	MAX 2022	MAX 2023
Canneto	CANN	27,86	35,73	16,83	14,09	13,13	12,21	14,36	15,55	15,26	20,09	41,59	35,75	34,22	46,56	40,62	26,33	41,59
Lustignano	LUST	23,53	22,93	23,37	10,08	14,81	10,40	13,76	19,01	15,13	24,90	15,92	14,74	17,51	34,32	17,99	31,83	24,90
Serrazzano	SEZA	25,52	15,55	14,77	13,21	9,32	6,17	19,26	17,47	10,17	11,15	18,25	14,43	16,49	25,37	20,27	17,61	25,52
Sasso_Pisano	SAPI	10,49	23,13	16,90	9,54	10,64	12,61	15,06	11,89	19,50	15,91	12,74	16,89	17,86	27,54	32,82	23,41	23,13
Monterotondo	MORO	10,44	15,58	14,57	11,96	12,29	6,97	9,56	15,42	12,83	17,06	19,02	25,51	17,85	19,83	21,46	19,97	25,51
Montecerboli	MONT	21,57	17,79	16,14	13,12	8,42	8,43	10,68	8,85	7,63	7,51	12,09	25,80	24,57	17,77	19,37	19,47	25,80
Castelnuovo VdC	CANU	10,35	23,04	23,22	9,84	9,32	8,82	10,82	9,81	9,09	11,22	11,69	15,76	11,37	14,39	11,88	18,82	23,22
Larderello	LARD	10,73	26,92	12,37	15,39	10,07	12,51	13,84	14,12	35,80	7,00	13,41	12,88	22,49	18,30	26,82	27,42	35,80
Belforte	BEFO	4,71	10,69	5,21	7,82	4,74	4,70	10,44	7,67	6,49	7,33	7,30	7,41	22,33	9,36	11,23	11,51	10,69
Montalcinello	MOAL	7,79	17,10	7,50	9,13	5,93	8,68	7,24	10,83	12,61	12,86	7,75	11,71	14,81	11,16	14,35	17,68	17,10
Travale	TRVL	8,21	15,62	4,52	2,88	4,37	4,28	4,53	8,35	9,09	5,93	2,85	6,95	10,11	11,30	21,00	22,55	15,62
Chiusdino	CHIU	10,36	23,74	10,89	28,02	24,80	12,19	8,71	14,93	41,42	35,15	13,90	35,30	31,83	21,57	46,75	36,34	41,42
Arcidosso	ARCI	4,46	6,32	7,70	3,35	5,51	3,57	10,12	5,37	7,41	8,41	4,57	6,16	9,25	18,08	23,21	17,10	10,12
Santa_Fiora	SAFI	5,36	4,35	4,00	4,08	5,39	3,54	4,97	4,86	5,85	9,10	7,64	5,66	6,65	6,77	13,30	11,46	9,10
Bagnore	BAGN	5,03	4,10	7,10	4,96	7,92	3,25	7,33	4,91	10,39	8,75	5,57	6,06	9,76	7,62	24,26	13,57	10,39
Merigar	MERI	12,28	12,60	11,03	8,50	8,67	4,10	7,07	14,87	24,68	7,88	4,56	7,34	14,35	32,68	25,94	32,13	24,68
Piancastagnaio	PICA	11,08	28,94	8,00	42,72	4,17	4,43	8,80	5,10	14,92	21,67	6,52	17,40	51,63	26,66	33,89	20,78	42,72
Piancastagnaio2	PICA2	8,45	21,67	5,06	6,41	4,10	6,33	8,67	6,02	13,13	14,79	9,53	11,77	29,00	18,04	34,61	19,00	21,67

ARPAT- Area Vasta Sud - Settore Geotermia
 Concentrazioni in aria di H₂S e Hg nelle aree geotermiche toscane.
 Monitoraggi ARPAT e validazione dati Enel Green Power Italia S.p.A - anno 2023

L'esame della tabella 2 conferma l'assenza di superamenti del limite fissato per la media mobile calcolata sul periodo di riferimento di 2-14 giorni, pari a 100 µg/m³ e, cautelativamente, anche per la media mobile calcolata sul periodo di riferimento fino a 90 giorni, con limite pari a 20 µg/m³.

Tab.2: Media mobile H₂S in aria, calcolata su 14 D (LR=100 µg/m³). Max mensili (2023) e annuali (2019-2023)

Massimo mensile della media mobile su 14 giorni (Mese/Stazione)		2023-01	2023-02	2023-03	2023-04	2023-05	2023-06	2023-07	2023-08	2023-09	2023-10	2023-11	2023-12	MAX 2019	MAX 2020	MAX 2021	MAX 2022	MAX 2023
Canneto	CANN	10,88	9,73	9,38	5,53	5,70	4,56	6,39	5,97	6,55	6,05	10,83	12,12	13,33	15,27	11,49	9,24	12,12
Lustignano	LUST	10,90	11,52	9,83	7,31	5,53	5,35	7,33	7,76	6,67	8,87	8,66	8,45	7,27	9,88	9,38	11,74	11,52
Serrazzano	SEZA	9,49	6,07	6,40	5,69	5,76	4,74	5,22	5,21	4,74	5,54	9,73	8,40	7,31	7,81	8,26	8,47	9,73
Sasso Pisano	SAPI	4,91	7,39	5,88	5,52	6,18	6,03	8,38	8,23	10,12	9,52	6,78	5,87	9,22	10,37	11,17	9,20	10,12
Monterotondo	MORO	4,44	5,83	5,63	5,04	4,57	3,77	4,09	8,70	7,23	11,31	6,74	9,29	10,50	9,56	6,01	6,56	11,31
Montecerboli	MONT	10,05	9,37	7,98	7,94	7,62	4,65	6,09	5,19	5,01	4,32	7,65	10,88	8,92	7,10	8,34	8,85	10,88
Castelnuovo VdC	CANU	5,69	9,09	7,15	6,84	6,03	6,20	4,70	4,97	4,96	5,20	5,65	6,37	5,61	6,92	5,27	8,86	9,09
Larderello	LARD	5,34	8,25	6,84	6,11	6,25	6,02	8,27	7,19	8,88	4,35	6,91	5,76	7,38	9,25	7,42	11,94	8,88
Belforte	BEFO	3,43	3,57	3,14	3,10	3,04	2,70	4,28	3,86	3,58	3,49	4,10	4,10	5,27	4,38	4,10	4,77	4,28
Montalcinello	MOAL	3,76	6,24	4,53	4,05	3,01	3,46	4,54	5,51	4,60	6,38	3,73	6,64	5,79	4,60	6,00	7,46	6,64
Travale	TRVL	3,25	6,35	2,62	2,23	2,56	2,99	2,96	4,32	3,80	4,00	1,90	3,33	4,08	5,23	6,26	6,35	6,35
Chiusdino	CHIU	4,22	7,32	4,46	4,64	5,70	5,75	4,17	7,71	9,69	15,02	4,58	10,23	10,81	9,53	12,87	11,54	15,02
Arcidosso	ARCI	3,44	3,30	3,27	2,67	2,64	2,66	3,33	3,40	3,37	3,05	2,73	3,98	3,54	3,63	5,16	4,96	3,98
Santa Fiora	SAFI	3,05	3,35	3,05	2,58	3,06	3,14	3,25	3,18	2,91	3,28	2,61	3,82	2,53	2,79	4,22	3,51	3,82
Bagnore	BAGN	2,74	2,73	2,93	3,15	3,90	2,65	3,95	3,44	3,51	4,04	3,37	3,49	3,09	4,00	7,29	4,25	4,04
Merigar	MERI	4,87	5,30	3,65	2,46	5,18	5,15	3,39	3,88	5,83	5,91	3,08	3,87	3,11	6,30	6,99	8,68	5,91
Piancastagnaio	PICA	3,63	8,64	3,95	7,67	7,66	3,23	4,28	4,18	5,34	4,94	3,82	4,25	12,96	7,09	7,84	7,59	8,64
Piancastagnaio2	PICA2	3,60	6,11	3,59	3,25	3,13	2,76	3,96	3,97	5,71	5,20	5,57	5,48	7,58	6,35	6,74	6,54	6,11

Nella tabella 3 è infine riportato il valore massimo mensile della media mobile determinata su un intervallo di 90 giorni della concentrazione in aria di H₂S, che conferma l'assenza di superamenti e le valutazioni espresse in relazione alle tabelle precedenti.

Tab.3: Media mobile H₂S in aria, calcolata su 90 D (LR=20 µg/m³). Max mensili (2023) e annuali (2019-2023)

Massimo mensile della media mobile su 90 giorni (Mese/Stazione)		2023-01	2023-02	2023-03	2023-04	2023-05	2023-06	2023-07	2023-08	2023-09	2023-10	2023-11	2023-12	MAX 2019	MAX 2020	MAX 2021	MAX 2022	MAX 2023
Canneto	CANN	7,15	7,27	7,16	6,02	5,51	4,32	3,95	3,93	4,71	4,58	5,67	6,66	8,36	9,95	8,27	6,27	7,27
Lustignano	LUST	9,47	9,60	9,09	8,68	7,23	5,88	5,37	5,90	6,15	6,64	7,05	7,43	6,18	6,96	7,37	9,20	9,60
Serrazzano	SEZA	6,85	6,71	6,30	5,73	5,02	4,78	4,23	3,80	3,85	3,91	5,10	5,78	5,04	5,61	6,02	6,06	6,85
Sasso Pisano	SAPI	5,55	5,15	4,62	4,88	4,96	5,26	6,13	6,52	7,22	7,62	6,62	6,40	6,67	7,94	7,86	6,55	7,62
Monterotondo	MORO	3,79	3,91	4,01	4,22	4,40	3,86	3,35	4,48	5,28	6,67	6,56	6,62	6,68	6,21	4,56	4,72	6,67
Montecerboli	MONT	7,62	7,68	7,49	7,31	6,89	5,74	4,76	4,01	4,38	4,38	4,49	6,18	6,26	5,70	6,46	6,71	7,68
Castelnuovo VdC	CANU	6,49	6,19	5,86	5,72	5,77	5,38	4,95	4,58	4,31	4,30	4,20	4,61	4,55	5,14	4,76	6,66	6,49
Larderello	LARD	7,74	6,31	5,85	5,19	5,20	4,82	5,43	5,69	6,34	5,93	5,06	4,69	5,02	5,97	6,08	8,13	7,74
Belforte	BEFO	3,64	3,58	3,34	2,89	2,86	2,72	2,87	3,07	3,26	3,36	3,28	3,29	3,89	3,81	3,09	3,74	3,64
Montalcinello	MOAL	3,20	3,81	3,93	4,10	3,97	3,27	3,19	3,89	4,07	4,40	4,11	4,42	4,63	3,36	4,40	4,83	4,42
Travale	TRVL	3,64	3,69	3,39	3,12	2,80	2,27	2,44	2,90	3,09	3,31	3,07	2,45	2,74	2,89	3,85	4,08	3,69
Chiusdino	CHIU	5,11	3,98	3,89	4,19	4,20	4,17	4,09	4,31	5,59	6,77	6,75	6,63	6,11	4,89	7,89	6,00	6,77
Arcidosso	ARCI	2,77	3,05	3,04	2,78	2,45	2,14	2,25	2,56	2,87	2,87	2,77	2,77	2,72	2,62	3,32	2,82	3,05
Santa Fiora	SAFI	2,66	2,86	2,85	2,64	2,48	2,60	2,90	2,90	2,75	2,76	2,61	2,62	2,20	2,43	2,59	2,99	2,90
Bagnore	BAGN	2,49	2,54	2,48	2,57	2,91	2,86	3,06	3,08	3,36	3,36	3,14	2,87	2,70	2,72	3,34	3,43	3,36
Merigar	MERI	3,42	3,67	3,47	3,34	2,83	2,72	2,94	2,91	3,71	3,73	3,73	3,61	1,97	3,12	4,46	5,54	3,73
Piancastagnaio	PICA	2,87	3,56	3,98	4,87	4,85	3,95	3,60	3,07	3,49	3,75	3,78	3,68	5,51	3,94	4,07	4,57	4,87
Piancastagnaio2	PICA2	2,76	3,56	3,53	3,51	3,35	2,70	2,85	3,10	3,57	3,91	4,30	4,51	3,52	3,28	3,28	4,20	4,51

ARPAT- Area Vasta Sud - Settore Geotermia
 Concentrazioni in aria di H₂S e Hg nelle aree geotermiche toscane.
 Monitoraggi ARPAT e validazione dati Enel Green Power Italia S.p.A - anno 2023

Nella tabella 4 si riporta la media calcolata mensilmente e sull'intero anno solare della concentrazione oraria di H₂S, rilevata dalle centraline di monitoraggio qualità dell'aria di ENEL GP, espressi in µg/m³ (microgrammi su metro cubo):

Tab.4: valori medi mensili di H₂S in aria registrati nel 2023, confrontati con le medie annuali degli ultimi 5 anni.

Medie mensili (Mese/Stazione)		2023-01	2023-02	2023-03	2023-04	2023-05	2023-06	2023-07	2023-08	2023-09	2023-10	2023-11	2023-12	MEDIA 2019	MEDIA 2020	MEDIA 2021	MEDIA 2022	MEDIA 2023
Canneto	CANN	5,95	7,70	4,67	4,42	3,75	2,62	4,60	4,18	4,64	4,48	7,79	7,48	4,95	3,57	4,11	3,18	5,17
Lustignano	LUST	9,37	8,53	8,15	4,96	4,78	4,90	6,13	6,33	5,54	7,80	7,62	6,68	4,34	4,79	5,01	5,42	6,77
Serrazzano	SEZA	6,96	4,84	5,08	4,99	4,12	3,39	3,62	4,05	3,42	4,18	7,59	5,46	3,79	4,28	4,53	4,41	4,81
Sasso_Pisano	SAPI	4,21	5,06	4,64	4,70	5,28	5,80	7,17	6,42	7,72	5,94	5,61	4,66	5,51	5,91	5,50	5,26	5,60
Monterotondo	MORO	3,42	4,10	4,45	3,76	3,31	2,96	2,98	7,40	5,37	6,77	5,24	6,84	5,10	5,00	3,65	3,69	4,73
Montecerboli	MONT	8,16	7,34	6,42	6,86	4,06	3,32	4,46	4,06	4,17	3,68	5,55	9,25	4,17	4,50	4,45	4,77	5,60
Castelnuovo VdC	CANU	5,14	6,31	5,62	5,00	5,42	4,42	3,87	4,44	4,03	3,74	4,73	5,09	3,91	3,73	3,46	4,50	4,81
Larderello	LARD	4,19	6,52	4,49	4,76	4,64	4,44	6,63	5,85	5,18	3,85	5,02	4,83	3,99	4,17	4,09	5,89	5,02
Belforte	BEFO	2,84	3,27	2,60	2,74	2,63	2,46	3,47	3,24	3,00	2,97	3,86	2,89	2,84	2,61	2,67	2,91	2,99
Montalcinello	MOAL	3,36	4,81	3,71	3,41	2,61	3,09	3,79	4,69	3,69	3,94	3,40	5,11	3,30	2,71	3,63	3,80	3,79
Travale	TRVL	2,93	4,18	2,23	2,00	2,23	2,58	2,47	3,44	3,15	2,58	1,68	2,64	1,93	2,32	3,22	3,52	2,67
Chiusdino	CHIU	3,56	4,74	3,44	3,47	4,75	3,82	3,22	5,81	7,70	6,46	3,07	6,56	4,40	3,68	4,62	4,50	4,72
Arcidosso	ARCI	2,65	3,11	2,63	1,67	2,14	1,79	2,71	3,00	2,80	2,50	2,52	3,29	2,07	1,94	2,53	2,28	2,57
Santa_Fiora	SAFI	2,84	2,92	2,15	2,24	2,86	2,68	3,13	2,38	2,71	2,53	2,38	2,84	1,92	2,14	2,20	2,51	2,64
Bagnore	BAGN	2,47	2,42	2,53	2,74	3,31	2,21	3,63	3,19	3,23	2,94	2,46	2,72	1,91	2,34	2,55	2,73	2,82
Merigar	MERI	3,68	3,69	2,60	2,07	3,70	2,13	2,64	2,99	5,41	2,45	2,93	3,30	1,60	2,46	3,70	3,77	3,13
Piancastagnaio	PICA	2,78	5,66	3,63	5,23	2,82	2,72	3,64	2,36	4,46	4,20	2,32	3,36	2,91	3,24	3,52	3,85	3,58
Piancastagnaio2	PICA2	3,16	4,49	2,95	2,61	2,35	2,60	3,54	3,16	3,94	4,54	4,33	4,58	2,93	2,67	2,81	2,71	3,51

La concentrazione di 7 µg/m³ viene usualmente presa come riferimento per stimare il disturbo olfattivo. Nella seguente tabella 5 sono indicate il numero di ore mensili e annuali nelle quali è stata registrata una concentrazione in aria superiore a 7 µg/m³, espresse in valore percentuale rispetto alle ore rilevate. Emerge una situazione sostanzialmente simile rispetto a quella registrata negli ultimi tre anni con alcuni dati in miglioramento e altri in peggioramento; nei casi peggiori si sono registrate percentuali mensili anche superiori al 20%, in particolare a Sasso Pisano, o di poco inferiori (Lustignano). Si rileva un peggioramento relativo nell'area di Arcidosso, che comunque resta tra le aree in cui il fenomeno risulta meno marcato. Sembra comunque di poter osservare, nel complesso, una generale tendenza di lento miglioramento.

Tab.5: Percentuale mensile e annuale delle ore con concentrazione superiore a 7µg/m³.

%ore con Conc. >7µg/m ³ -Stazione		2023-1	2023-2	2023-3	2023-4	2023-5	2023-6	2023-7	2023-8	2023-9	2023-10	2023-11	2023-12	INTERO 2019	INTERO 2020	INTERO 2021	INTERO 2022	INTERO 2023
Canneto	CANN	19,9	22,2	11,5	13,1	13,5	8,9	19,2	13,5	18,3	11,8	22,4	24,6	17,0	9,0	10,9	8,9	16,5
Lustignano	LUST	49,1	47,8	36,1	21,6	14,2	20,4	27,3	31,3	25,3	36,2	38,0	37,0	16,3	17,5	19,9	24,9	32,3
Serrazzano	SEZA	29,3	16,7	21,0	19,4	13,3	7,2	6,6	15,0	11,5	15,1	39,9	22,0	12,6	16,3	16,3	15,8	18,1
Sasso_Pisano	SAPI	12,9	24,9	20,5	17,8	23,5	30,6	38,5	35,4	36,2	30,8	23,1	19,1	29,0	31,1	26,4	25,2	26,1
Monterotondo	MORO	13,3	15,8	15,4	12,7	10,6	7,4	6,8	40,3	19,6	36,5	22,4	35,1	22,3	22,1	15,4	14,9	19,8
Montecerboli	MONT	37,8	31,3	27,7	35,9	11,5	7,7	16,0	13,8	12,7	9,4	28,1	47,1	14,5	18,3	17,4	18,5	23,2
Castelnuovo VdC	CANU	23,1	25,2	19,2	18,1	19,8	16,2	7,7	14,7	14,3	10,9	15,2	21,3	12,3	10,6	7,7	15,9	17,1
Larderello	LARD	15,8	29,4	17,3	17,9	18,6	15,6	31,4	27,7	19,0	13,8	21,9	20,6	13,2	14,3	13,4	25,6	20,7
Belforte	BEFO	1,4	4,3	2,2	3,8	1,0	1,1	4,8	5,9	2,7	2,9	5,8	4,4	5,0	4,0	4,0	4,8	3,3
Montalcinello	MOAL	4,8	16,0	5,0	5,1	3,6	2,6	5,8	17,4	16,3	10,4	6,0	22,6	8,7	3,2	9,4	10,4	9,6
Travale	TRVL	5,3	14,6	1,6	0,2	1,8	2,3	1,2	9,3	5,8	4,3	0,0	4,1	2,3	4,7	8,7	9,4	4,2
Chiusdino	CHIU	12,0	16,7	9,4	6,7	14,9	15,5	10,1	26,6	25,2	24,8	9,2	23,2	15,8	12,9	15,4	16,7	16,2
Arcidosso	ARCI	0,4	5,6	2,7	0,6	3,4	0,2	4,7	4,0	4,5	5,6	2,0	6,0	1,7	2,6	5,2	4,5	3,3
Santa_Fiora	SAFI	2,2	1,1	1,5	1,2	2,8	0,1	1,2	0,8	1,0	3,4	2,1	4,0	0,3	0,8	1,3	1,7	1,8
Bagnore	BAGN	2,3	1,4	1,8	1,3	5,9	0,6	3,9	3,6	3,3	5,9	3,0	2,3	1,5	2,6	3,8	3,7	3,0
Merigar	MERI	10,0	12,7	6,8	3,4	13,4	0,5	5,2	6,9	16,4	2,8	1,4	5,3	1,7	4,1	8,8	10,1	7,0
Piancastagnaio	PICA	7,2	17,4	5,7	7,8	1,2	1,8	7,5	0,8	14,2	7,9	1,7	7,3	6,5	5,8	6,4	8,9	6,6
Piancastagnaio2	PICA2	6,1	12,7	4,8	3,2	2,3	2,4	7,9	3,2	5,5	9,9	8,5	17,3	5,0	5,0	4,6	4,9	7,0

3. INTRODUZIONE E FINALITÀ DEL MONITORAGGIO

Il monitoraggio della qualità dell'aria è svolto, sotto la supervisione ARPAT, da Enel GP mediante la gestione di 18 stazioni fisse di qualità aria (o SQA):

DENOMINAZIONE (SIGLA)	COMUNE	QUOTA	EST (GB)	NORD (GB)
Arcidosso (ARDO)	Arcidosso (GR)	718	1707880	4748910
Santa Fiora (SAFI)	Santa Fiora (GR)	718	1710980	4745600
Bagnore (BAGN)	Santa Fiora (GR)	763	1709910	4746830
Merigar (MERI)	Arcidosso (GR)	897	1708136	4746280
Piancastagnaio (PICA)	Piancastagnaio (SI)	725	1720360	4747580
Piancastagnaio 2 (PICA2)	Piancastagnaio (SI)	791	1719470	4747780
Canneto (CANN)	Monteverdi Marittimo (PI)	308	1641280	4784510
Lustignano (LUST)	Pomarance (PI)	398	1646420	4782980
Serrazzano (SEZA)	Pomarance (PI)	530	1647400	4786550
Sasso Pisano (SAPI)	Castelnuovo Val di Cecina (PI)	490	1651390	4781090
Monterotondo (MORO)	Monterotondo Marittimo (GR)	507	1650850	4778580
Montecerboli (dal 24/4/2012) (MONT)	Pomarance (PI)	410	1652730	4789960
Castelnuovo V.C. (CANU)	Castelnuovo V.C (PI)	580	1654460	4786000
Larderello (LARD)	Pomarance (PI)	441	1653540	4789040
Belforte (BEFO)	Radicondoli (SI)	528	1667580	4788590
Montalcinello (MOAL)	Chiusdino (SI)	360	1668500	4784680
Travale (TRVL)	Montieri (GR)	511	1663790	4781610
Chiusdino (CHIU)	Chiusdino (SI)	521	1668910	4780040

Il controllo da parte di ARPAT dell'attività di monitoraggio svolta da Enel GP è effettuata attraverso i mezzi e la strumentazione di seguito elencata:

- **laboratorio mobile ARPAT GEO1**, attrezzato per la rilevazione di H₂S e di Hg oltre che dei dati meteo di base. Nei primi mesi del 2022, il mezzo è stato ammodernato ed è stato impiegato dal Settore Geotermia a partire dal febbraio 2023 per effettuare un monitoraggio presso il cimitero Selvena (Castell'Azzara). Il mezzo è rimasto in questa postazione per tutto il 2023.
- **laboratorio mobile ARPAT GEO2**. Oltre che per le normali campagne di monitoraggio, il Geo2 viene utilizzato anche per il controllo dei dati misurati dalle stazioni Enel GP mediante il suo posizionamento in prossimità di una stazione Enel GP presa a campione, in modo che le due stazioni, di ARPAT ed Enel GP, effettuino un rilevamento in parallelo per un periodo variabile, compreso tra 90 e 120 gg. Si ricorda che dal 2014 il mezzo GEO2 è stato dotato di un analizzatore di Hg gassoso. Nel 2023 il mezzo è stato oggetto diversi interventi ed è stato impiegato per il Settore Geotermia per il monitoraggio a Chiusdino, affiancato alla postazione ENEL omonima, da giugno a ottobre 2023.
- **stazione fissa presso l'abitato di Montecerboli**, Comune di Pomarance (PI): questa stazione fa parte della Rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria ed è stata attrezzata per il monitoraggio di H₂S, oltre che di ozono (O₃), diossido di azoto (NO₂) e particolato (PM₁₀).

4. INDICATORI

4.1 Idrogeno solforato

L'acido solfidrico è una sostanza dotata di odore. Relativamente alla soglia di percezione umana dell'odore dell'acido solfidrico, la vasta letteratura evidenzia il ruolo fondamentale assunto dalla "variabilità individuale", che ha portato a proporre di volta in volta campi di valori molto diversificati fra loro. Usualmente si distingue:

- **soglia di rilevazione:** è la minima concentrazione che suscita una risposta sensoriale. Si ritiene sia compresa nell'intervallo 0,2-2,0 µg/m³;
- **soglia di riconoscimento:** è la minima concentrazione di identificazione del tipo di odore. Si ritiene sia compresa nell'intervallo 0,6-6,0 µg/m³.

Tali soglie non corrispondono a valori definiti e costanti, ma piuttosto sono degli intervalli di concentrazione, generalmente abbastanza ampi, principalmente perché la capacità di un composto di essere percepito dal nostro sistema olfattivo (potenzialità osmogena) dipende da aspetti diversi che sono oggettivi, cioè propri della sostanza (volatilità, idrosolubilità, metodo di rilevazione, etc.), soggettivi (dipendono dalla fisiologia e dalla psicologia dell'osservatore o dal gruppo di individui presi a riferimento) e ambientali (distanza tra sorgente e recettore, temperatura, pressione, umidità relativa dell'aria, velocità e direzione dei venti).

In considerazione del fatto che l'H₂S è chiaramente percepibile dall'olfatto umano già in concentrazioni molto più basse rispetto a quelle per il quale può ritenersi pericoloso per la salute umana e tenuto presente che la normativa regionale e le linee guida internazionali non prevedono un valore limite in aria da rispettare, per il suo monitoraggio è prassi consolidata (anche in considerazione delle tecnologie disponibili e del valore di fondo nelle aree geotermiche toscane, che, pur non essendo quest'ultimo noto, risulta certamente influenzato anche da sorgenti naturali non ancora completamente individuate) determinare il numero di ore in cui è stata rilevata una concentrazione superiore al valore di 7 µg/m³, indicato dal WHO, sebbene sia noto che, almeno su una parte della popolazione esposta, possano verificarsi fenomeni di molestia olfattiva già per esposizioni di 30 minuti.

4.1.1 Valori di riferimento per la tutela sanitaria

Per quanto riguarda l'individuazione di valori di riferimento per la tutela sanitaria, coerentemente a quanto indicato nella Delibera di Giunta della Regione Toscana n. 344 del 22 marzo 2010, la concentrazione oraria di idrogeno solforato rilevata in aria è mediata sui seguenti tre periodi di osservazione:

- 24 ore (Valore di riferimento per "singola esposizione ad alta concentrazione": 150 µg/m³)
- 2 giorni – 14 giorni (Valore di riferimento per esposizione a "breve termine": 100 µg/m³)
- 15 giorni – 90 giorni (Valore di riferimento per esposizione a "medio termine": 20 µg/m³)

I valori di riferimento tra parentesi sono ricavati dai due documenti del World Health Organization:

- Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition (2000).
- Concise International Chemical Assessment Document 53. HYDROGEN SULFIDE: HUMAN HEALTH ASPECTS (2003).

Nel corso del "Meeting report" organizzato dal WHO, che si è svolto a Bonn nel 2015, sulla base delle più recenti evidenze scientifiche, sono state riviste le priorità e valutata l'opportunità di aggiornare i limiti di riferimento sanitari per alcuni inquinanti.

In particolare, l'H₂S, sostanza di tipo inorganico, è stata inserita nel Gruppo 3, ossia quello con

priorità di aggiornamento inferiore (il Gruppo 4 è relativo alle sostanze di cui le nuove conoscenze non giustificano una revisione dei documenti attuali, mentre i Gruppi 3, 2 e 1 sono sostanze per i quali è richiesto un aggiornamento delle conoscenze scientifiche, rispettivamente con ordine di priorità crescente).

In relazione ai valori di riferimento sopra indicati, è opportuno osservare che, mentre per il primo intervallo il confronto tra i valori rilevati è pressoché immediato, per quelli di cui ai punti 2 e 3, risulta cautelativamente più semplice effettuare una verifica condotta assumendo il periodo di osservazione immediatamente minore a quello inferiore dell'intervallo indicato, piuttosto che calcolare la serie di medie indicate dalla citata Delibera 344/2010.

In altre parole, se il valore medio della concentrazione mediata su tale periodo di osservazione, inferiore a quello indicato per il confronto con il valore di riferimento, risulta sempre inferiore al valore di riferimento, si ha la matematica certezza del non superamento. Diversamente è necessario effettuare puntualmente la verifica su tutti gli intervalli di tempo previsti dalla Delibera.

In termini esemplificativi: se la media mobile delle concentrazioni di H₂S determinata su 24 ore risulta sempre inferiore a 100 µg/m³, si è matematicamente sicuri che lo sono anche le medie determinate sui periodi di riferimento di durata superiore (2 giorni, 3 giorni, ..., 14 giorni).

In modo analogo se la media mobile delle concentrazioni di H₂S determinata su 14 giorni risulta sempre inferiore a 20 µg/m³ si è matematicamente sicuri che lo sono anche le medie determinate sui periodi di riferimento di durata superiore, in particolare con durata compresa tra 15 e 90 giorni.

Bisogna inoltre tenere presente che un dato è ritenuto rappresentativo del periodo di osservazione considerato, quando sono disponibili almeno il 75% dei dati che lo compongono: il dato relativo alla media calcolata su 24 ore richiede la conoscenza di almeno 18 ore (24 x 75%).

In conclusione, per verificare il rispetto dei limiti di riferimento indicati dalla Delibera di Giunta della Regione Toscana n. 344/2010, invece che calcolare le medie mobili su 24 ore, 2 giorni, 3 giorni, ..., 90 giorni, risulta più semplice e cautelativo determinare i valori massimi delle medie mobili calcolati su 24 ore e 14 giorni.

Si osserva infine che il valore ottenuto su medie mobili di 90 giorni, così come la media annuale, sono un utile riferimento per valutare l'esposizione della popolazione per periodi di lungo termine.

4.2 Mercurio

Come noto, il mercurio è un metallo fortemente tossico. L'introduzione nell'organismo può avvenire sia per ingestione, sia per inalazione dei vapori, sia per semplice contatto.

Essendo un costituente naturale della crosta terrestre, anche in aree remote, i livelli di mercurio sotto forma di vapore in atmosfera sono di circa 2,0 – 4,0 ng/m³, fino a 10 ng/m³ in aree urbane.

Come evidenziato dallo stesso WHO, tale causa di assunzione può comunque ritenersi trascurabile rispetto ai quantitativi assimilati dall'organismo umano per assunzione diretta tramite il cibo ingerito (soprattutto pesce con rischio di bioaccumulo) e per altre cause (otturazioni dentali, antisettici, vernici, cere per pavimenti, nei lucidanti per mobili, ammorbidenti, etc.).

4.2.1 Valori di riferimento per la tutela sanitaria

Sulla base degli effetti osservati sugli esseri umani a causa dei vapori di mercurio, le già richiamate linee guida pubblicate dal WHO suggeriscono di rispettare una concentrazione di 1 µg/m³, mediata su un periodo di riferimento annuale.

Cautelativamente e in accordo con la DGR n. 344/2010, nel presente rapporto è stato scelto di riferirsi al valore di riferimento di 0,2 µg/m³ (200 ng/m³), anch'esso mediato su un periodo di riferimento di 1 anno, coerentemente ai MRL (Minimal Risk Levels - Livelli guida significativi per la

salute), elaborati dall'Agenzia governativa US ATSDR, in analogia ai valori soglia US EPA, per effetti non cancerogeni delle sostanze chimiche nell'ambiente a uso della stessa ATSDR per valutare i siti contaminati (novembre 2007).

5. STAZIONI DI RILEVAMENTO ENEL GP PER L'H₂S

Come negli anni passati, per un confronto immediato dell'andamento della concentrazione di idrogeno solforato in aria nell'ultimo anno con i limiti sanitari precedentemente richiamati, nei paragrafi seguenti sono rappresentati i grafici dei valori massimi registrati giorno per giorno delle medie mobili calcolate rispettivamente su intervalli temporali di 24 ore, 14 giorni e 90 giorni.

Per sintesi di rappresentazione e per agevolare la lettura, le diverse stazioni di rilevamento sono state organizzate in 6 gruppi in base al criterio di vicinanza geografica.

5.1 Stazioni Q.A. di Arcidosso, Santa Fiora, Bagnore e Merigar



Fig.1: Ubicazione delle CGTE di Bagnore 3 e Bagnore 4 e delle SQA di Arcidosso (ARCI), Bagnore (BAGN), Santa Fiora (SAFI) e Merigar (MERI)

Le quattro stazioni di monitoraggio Enel GP ubicate nei Comuni di Arcidosso e Santa Fiora, entrambi nella provincia di Grosseto, presidiano le centrali produttive di Bagnore 3 e Bagnore 4.

I dati rilevati in quest'area si confermano come i più bassi di tutta l'area geotermica toscana e l'esame dei dati disponibili permette di affermare che, pur essendosi verificati superamenti della soglia olfattiva che possono aver determinato disturbi alla popolazione e pur essendo riscontrabile un trend di leggero peggioramento (in particolare negli anni 2021 e 2022 presso la postazione denominata Merigar, comunque rientrata nella media nel 2023), i dati registrati dalle 4 centraline di monitoraggio Enel GP e dei mezzi mobili ARPAT si sono sempre mantenuti al di sotto dei valori di riferimento per la tutela sanitaria: le tre medie mobili calcolate sui tre intervalli di mediazione (24 ore, 2 - 14 giorni e 15-90 giorni) sono tutte ampiamente inferiori ai rispettivi limiti di riferimento.

5.1.1. Media mobile calcolata su 24 ore

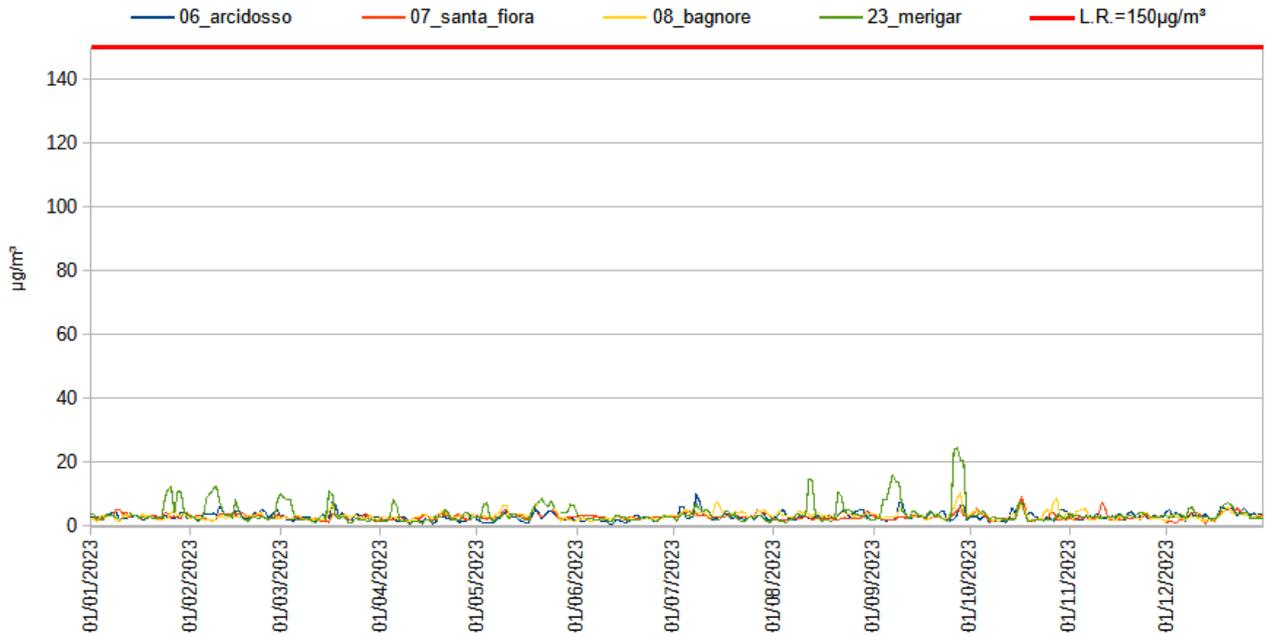


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 24 ore della concentrazione in aria di idrogeno solforato in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Valore di riferimento linea rossa = $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

5.1.2. Media mobile calcolata su 14 giorni

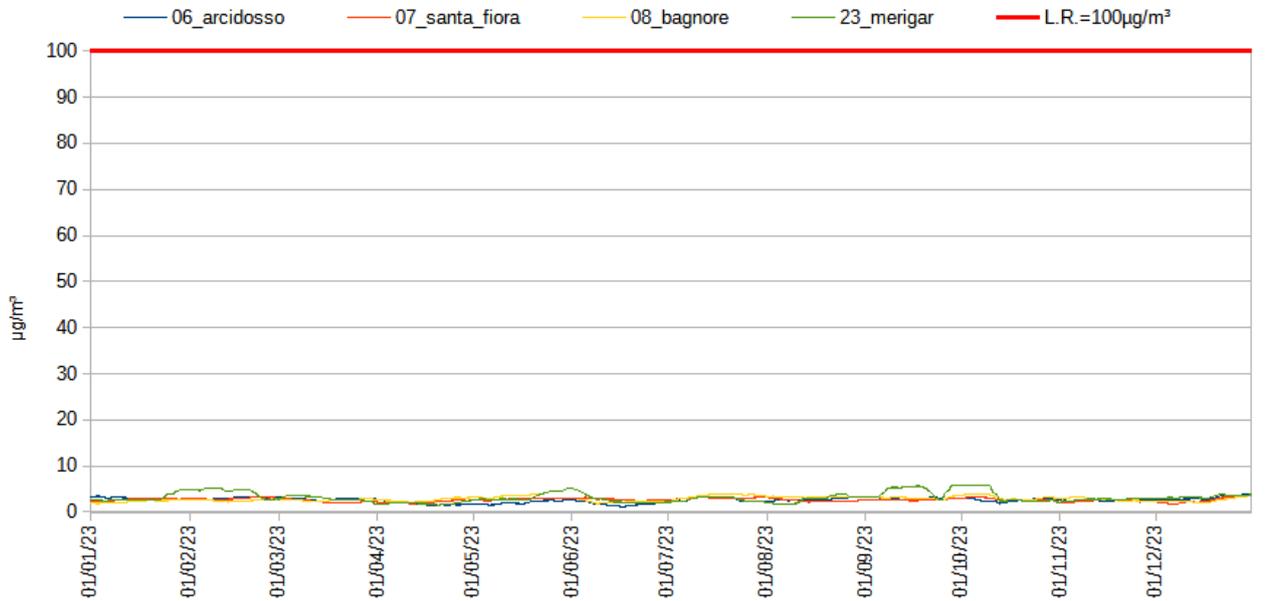


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 14 giorni della concentrazione in aria di idrogeno solforato in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Valore di Riferimento linea rossa = $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

5.1.3. Media mobile calcolata su 90 giorni

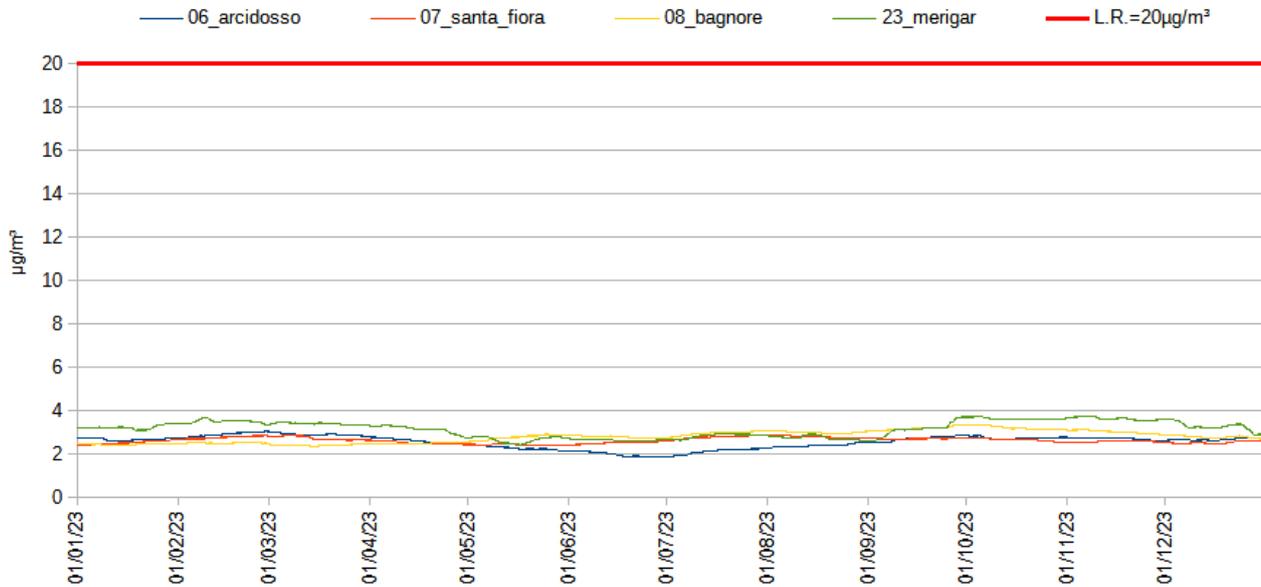
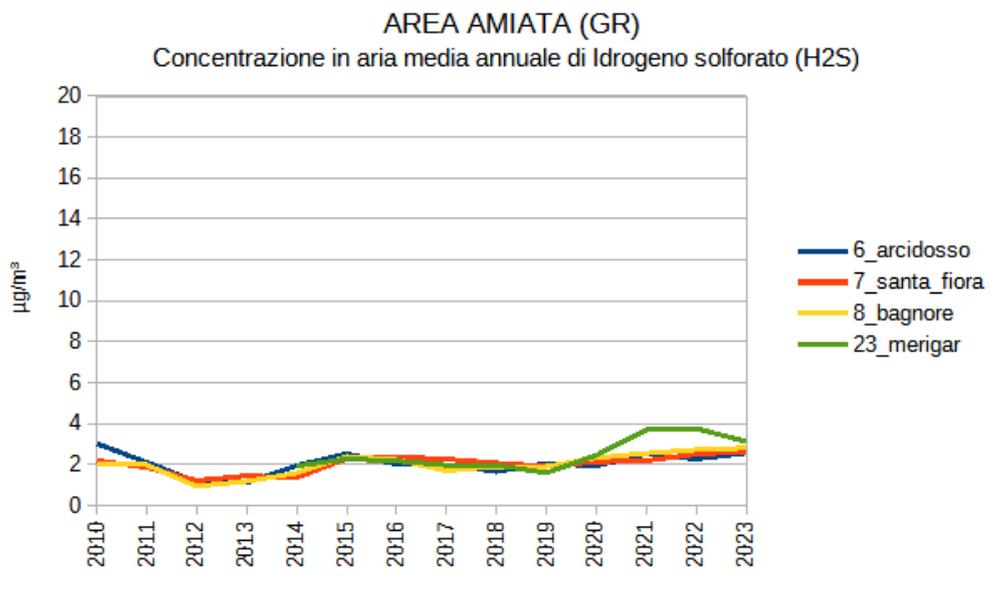


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 90 giorni della concentrazione in aria di idrogeno solforato in µg/m³ (Valore di riferimento = 20 µg/m³)

5.1.4. Media annuale (2010-2023)

I dati storici relativi alla concentrazione di H₂S in aria mostrano, per il periodo preso in esame, la tendenza a un lento, progressivo, pur comunque contenuto aumento della concentrazione di idrogeno solforato in aria.

Riteniamo tuttavia importante rilevare come, nonostante l'entrata in servizio della Centrale di Bagnore 4 (2013-2014), che ha comportato un aumento di potenzialità produttiva di 40 MW, oltre ai 20 MW di Bagnore 3, negli anni immediatamente successivi (2015-2019), non si sia riscontrato un proporzionale peggioramento della qualità dell'aria, anzi semmai un progressivo lento miglioramento, imputabile presumibilmente alle migliori tecniche gestionali messe a punto dal Gestore.



5.2 Stazioni Q.A. di Piancastagnaio (PICA e PICA2)

Le due stazioni di monitoraggio Enel GP sono prossime al centro abitato di Piancastagnaio e in posizione baricentrica rispetto alle tre centrali omonime.



Fig.2: Ubicazione delle tre CGTE di Piancastagnaio 3, Piancastagnaio 4 e Piancastagnaio 5 e delle due SQA di Piancastagnaio (PICA) e Piancastagnaio 2 (PICA2)

I valori registrati nel 2023 dalle postazioni di monitoraggio ENEL, confermano i miglioramenti già riscontrati negli ultimi anni. I dati registrati dalle 2 postazioni di monitoraggio Enel GP mostrano dati coerenti tra loro, e le contrazioni rilevate si sono sempre mantenute al di sotto dei valori di riferimento per la tutela sanitaria.

Resta confermata la possibilità che saltuariamente nel corso dell'anno si possono essere presentati superamenti della soglia olfattiva che possono aver determinato disturbi alla popolazione.

Dall'esame dei grafici, i valori sopra la media nel periodo fine gennaio, primi giorni di febbraio sono imputabili al blocco della Centrale PC3 e relativo AMIS.

Per quanto riguarda la seconda decade di aprile, si rileva la contemporaneità con la manutenzione programmata all'AMIS di PC5 effettuata da ENEL.

5.2.1 Media mobile calcolata su 24 ore

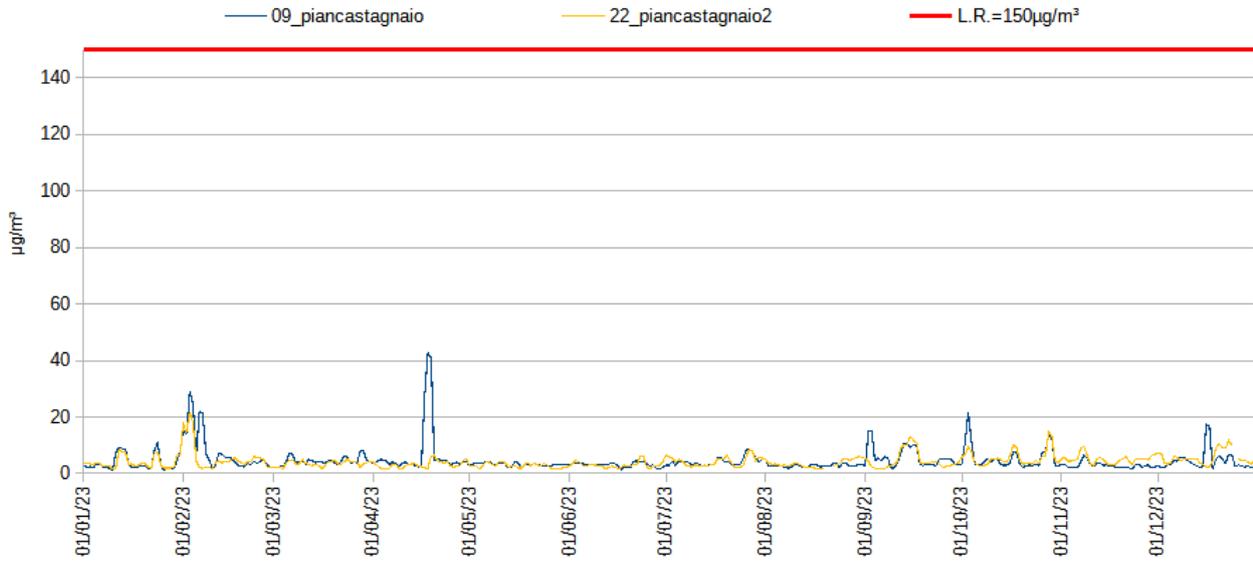


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 24 ore della concentrazione in aria di idrogeno solforato in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Valore di riferimento = $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

5.2.2 Media mobile calcolata su 14 giorni

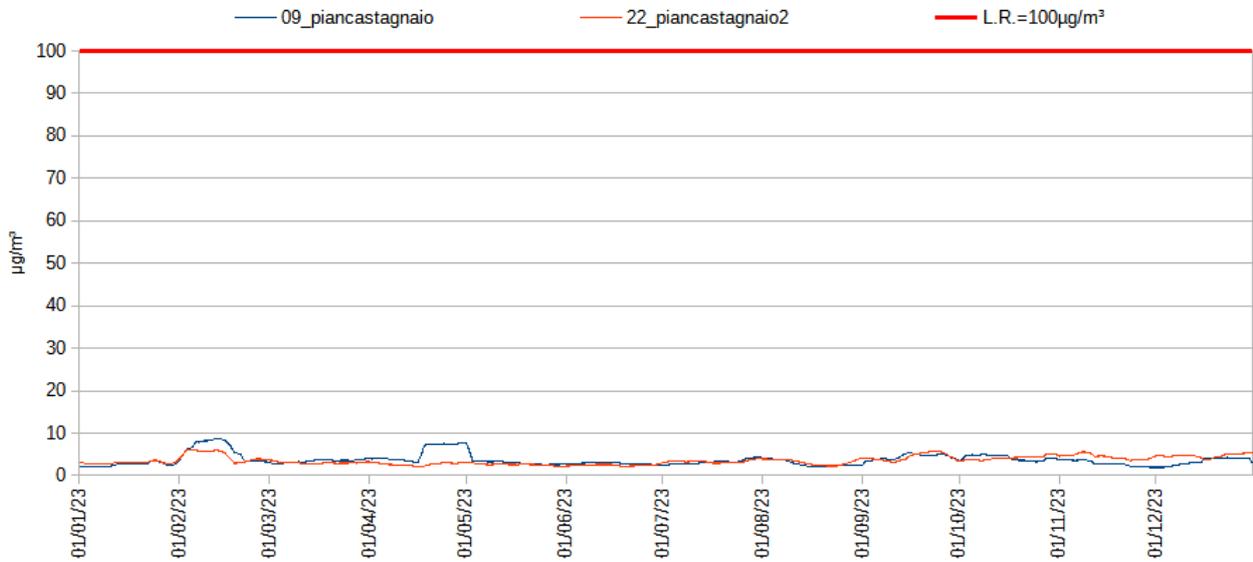


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 14 giorni della concentrazione in aria di idrogeno solforato in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Valore di Riferimento = $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

5.2.3 Media mobile calcolata su 90 giorni

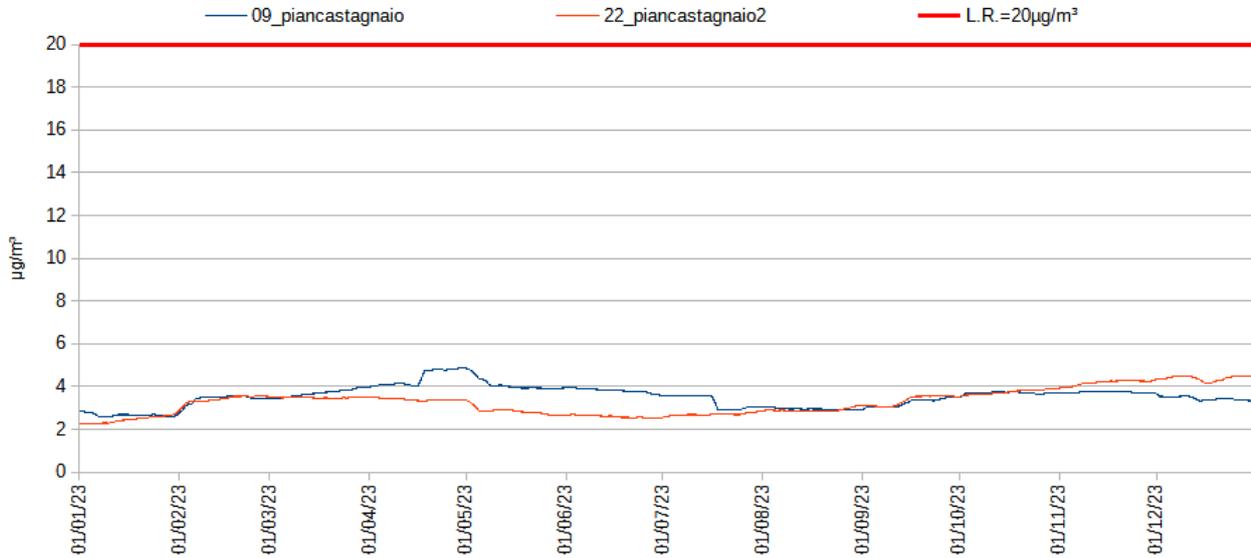
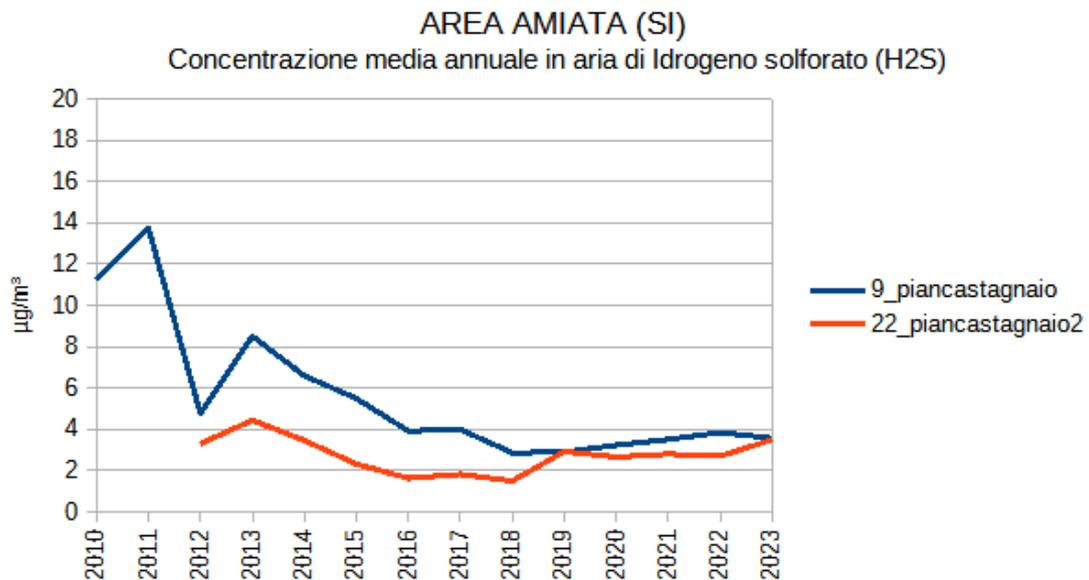


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 90 giorni della concentrazione in aria di idrogeno solforato in µg/m³ (Valore di riferimento = 20 µg/m³)

5.2.4 Media annuale

I dati storici relativi alla concentrazione di H₂S in aria rilevati nella postazione di Piancastagnaio mostrano un progressivo miglioramento del parametro, probabilmente da mettere in relazione con le tecniche adottate per effettuare gli interventi di ammodernamento tecnologico e la messa a punto di migliori tecniche di manutenzione praticate dal Gestore sugli impianti e sulla rete vapore.



5.3 Elaborazione dei dati delle Stazioni Q.A. di Canneto, Lustignano, Serrazzano

Le tre Stazioni di Qualità dell'Aria di Canneto, Lustignano e Serrazzano si trovano in un'area di coltivazione intensiva della risorsa geotermica, in quanto in prossimità delle seguenti centrali geotermiche: Monteverdi 1 e 2, Nuova Serrazzano, Nuova Lagoni Rossi, Cornia 2 e Le Prata.

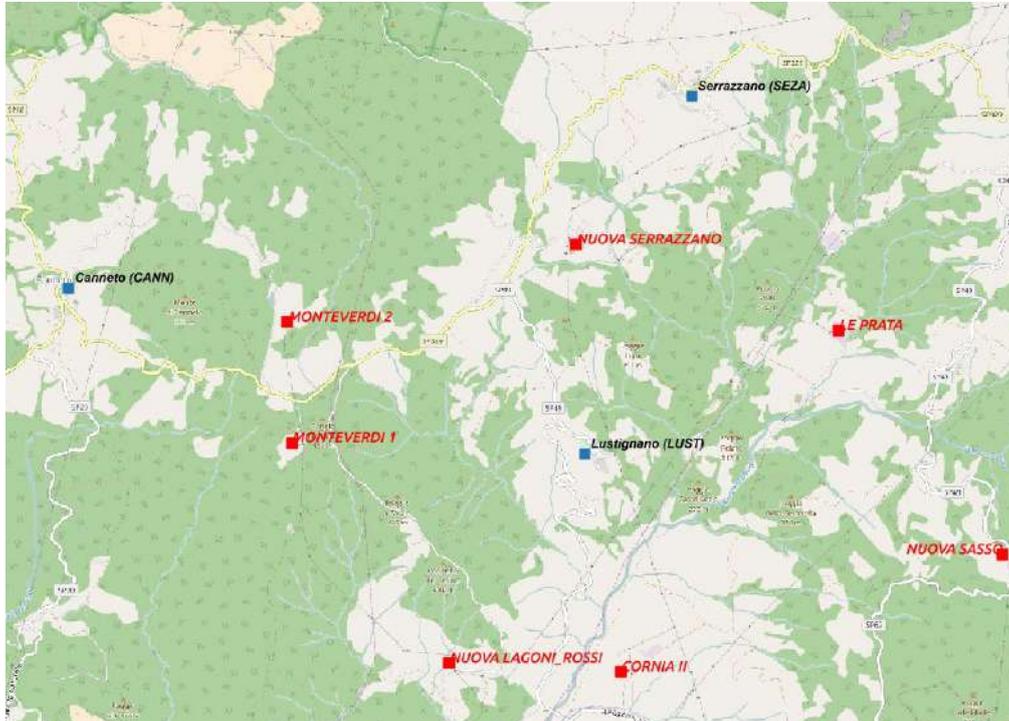


Fig.3: Ubicazione delle diverse CGTE dell'area e delle tre SQA di Canneto (CANN), Serrazzano (SEZA) e Lustignano (LUST)

Le tre stazioni mostrano generalmente un andamento abbastanza simile, presumibilmente condizionato dalla vicinanza alle centrali indicate, ma anche da probabili manifestazioni gassose naturali e da condizioni meteo-climatiche che comportano una ridotta dispersione dell'idrogeno solforato.

Le concentrazioni sopra la media registrate nella seconda metà del mese di novembre, in particolare a Canneto, sembrano correlabili con la manutenzione programmata all'AMIS della centrale Monteverdi 1.

L'esame dei dati disponibili permette di affermare che i dati registrati dalle tre centraline di monitoraggio Enel GP, si sono sempre mantenuti al di sotto dei valori di riferimento per la tutela sanitaria, pur essendosi registrati ripetuti superamenti della soglia olfattiva che possono aver determinato disturbi alla popolazione.

5.3.1 Media mobile calcolata su 24 ore

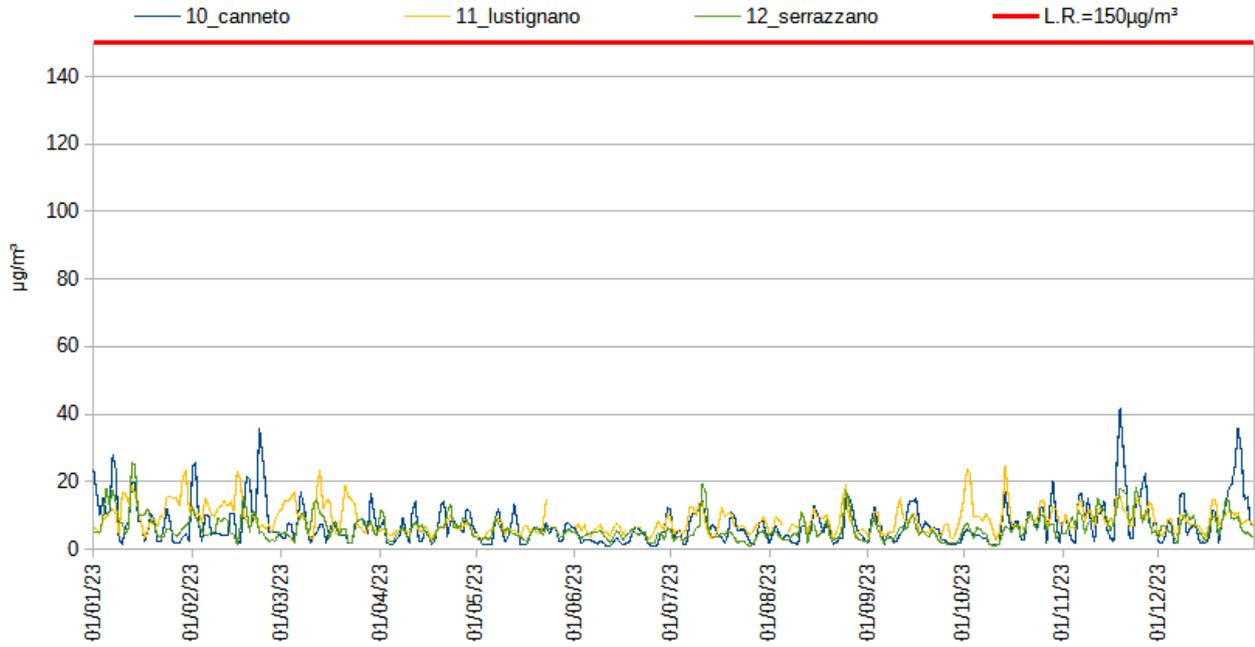


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 24 ore della concentrazione in aria di idrogeno solforato in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Valore di riferimento = $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

5.3.2 Media mobile calcolata su 14 giorni

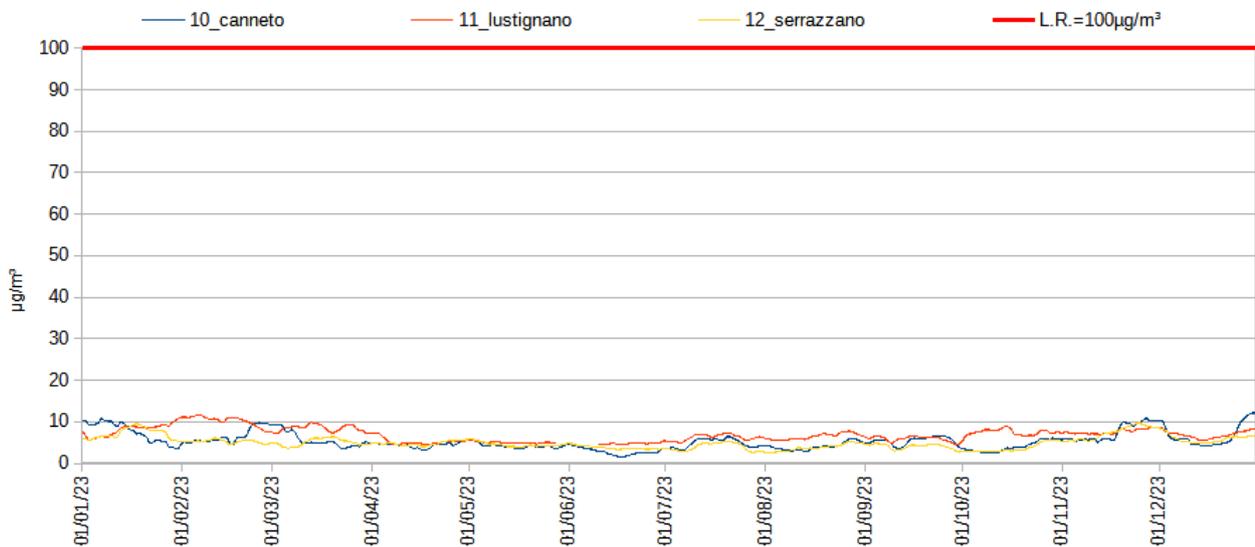


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 14 giorni della concentrazione in aria di idrogeno solforato in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Valore di Riferimento = $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

5.3.3 Media mobile calcolata su 90 giorni

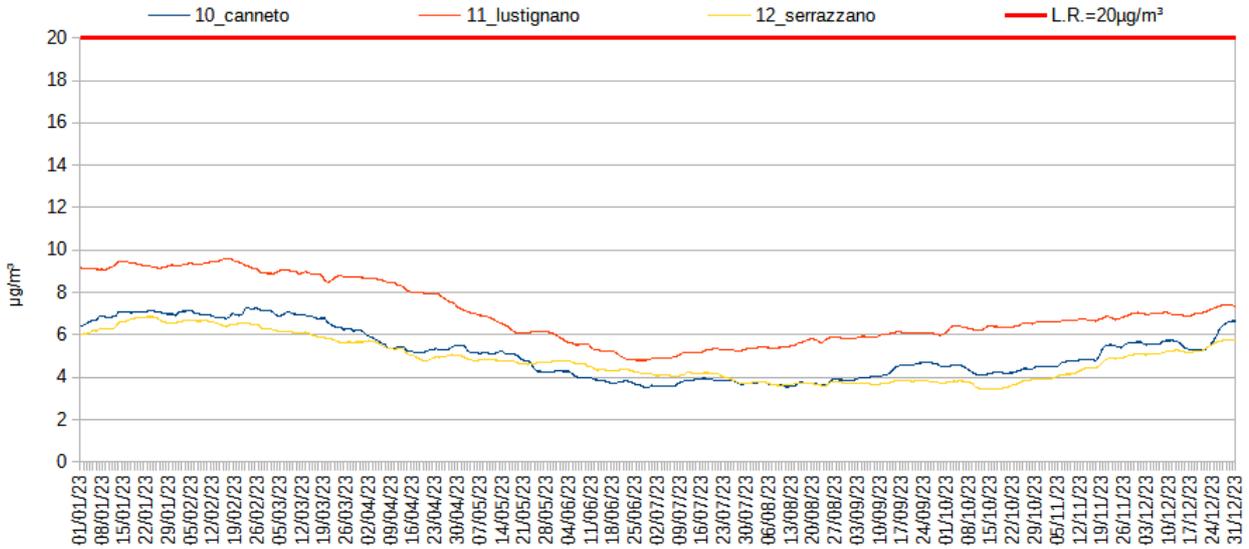
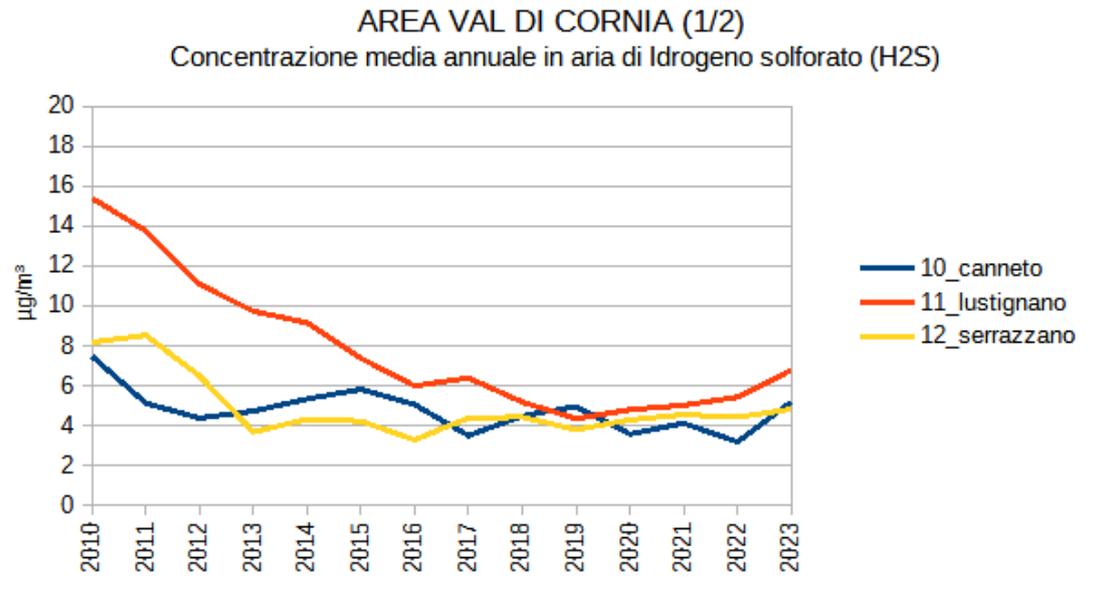


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 90 giorni della concentrazione in aria di idrogeno solforato in µg/m³ (Valore di Riferimento= 20 µg/m³)

5.3.4 Media annuale

I dati storici relativi alla concentrazione di H₂S di questa area evidenziano, dopo la tendenza positiva degli anni scorsi, un leggero peggioramento nel 2023, di cui non sono state chiarite le cause.



5.4 Elaborazione dei dati delle Stazioni Q.A. di Sasso Pisano e Monterotondo Marittimo

Anche queste due stazioni si trovano in una zona d'intenso utilizzo della risorsa geotermica.

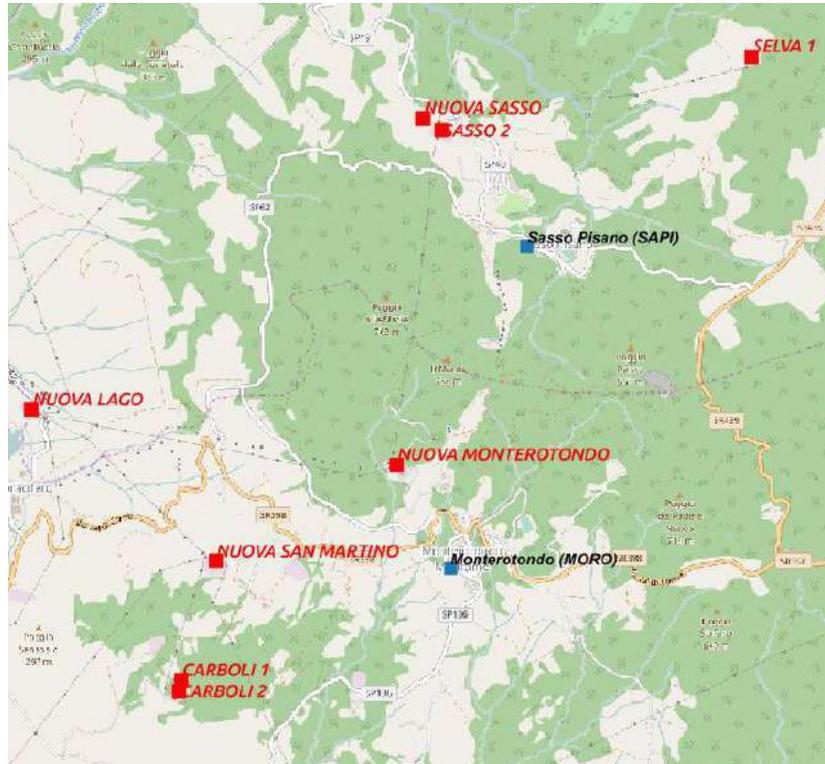


Fig.4: Ubicazione delle diverse CGTE dell'area e delle due SQA di Sasso Pisano (SAPI) e Monterotondo Marittimo (MORO)

Le stazioni di Sasso Pisano e Monterotondo Marittimo mostrano un andamento temporale decisamente molto simile, presumibilmente condizionato dalle stesse condizioni ambientali e meteo climatiche, nonché dalle centrali prossime a entrambe le stazioni: Nuova Monterotondo, Nuova San Martino, Nuova Lago, ma anche dalle Centrali Sasso2, Nuova Sasso, Carboli 1 e Carboli 2.

In quest'area, il completamento del piano di installazione degli AMIS nelle centrali dell'area tradizionale, ultimato nel 2015, ha permesso un'evidente riduzione della concentrazione in aria di H₂S, rispetto alla situazione preesistente.

Anche nel 2023 l'esame dei dati disponibili permette di affermare che, pur essendosi registrati ripetuti superamenti della soglia olfattiva che possono aver determinato disturbi alla popolazione, i dati registrati dalle due centraline di monitoraggio Enel GP si sono sempre mantenuti al di sotto dei valori di riferimento per la tutela sanitaria.

5.4.1 Media mobile calcolata su 24 ore

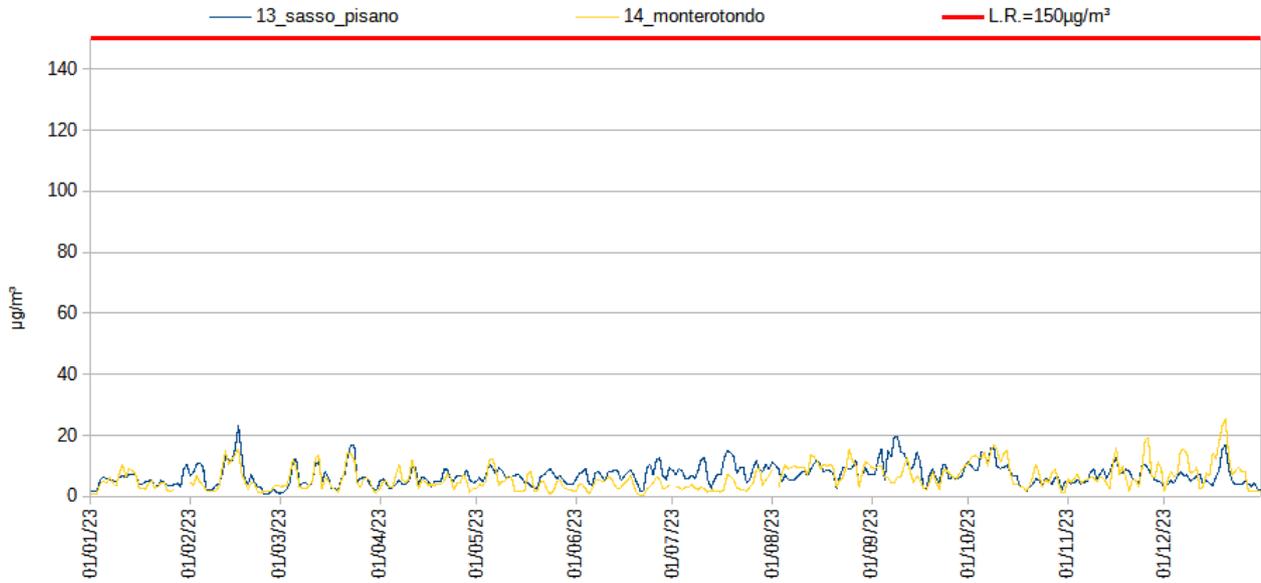


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 24 ore della concentrazione in aria di idrogeno solforato in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Valore di riferimento = $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

5.4.2 Media mobile calcolata su 14 giorni

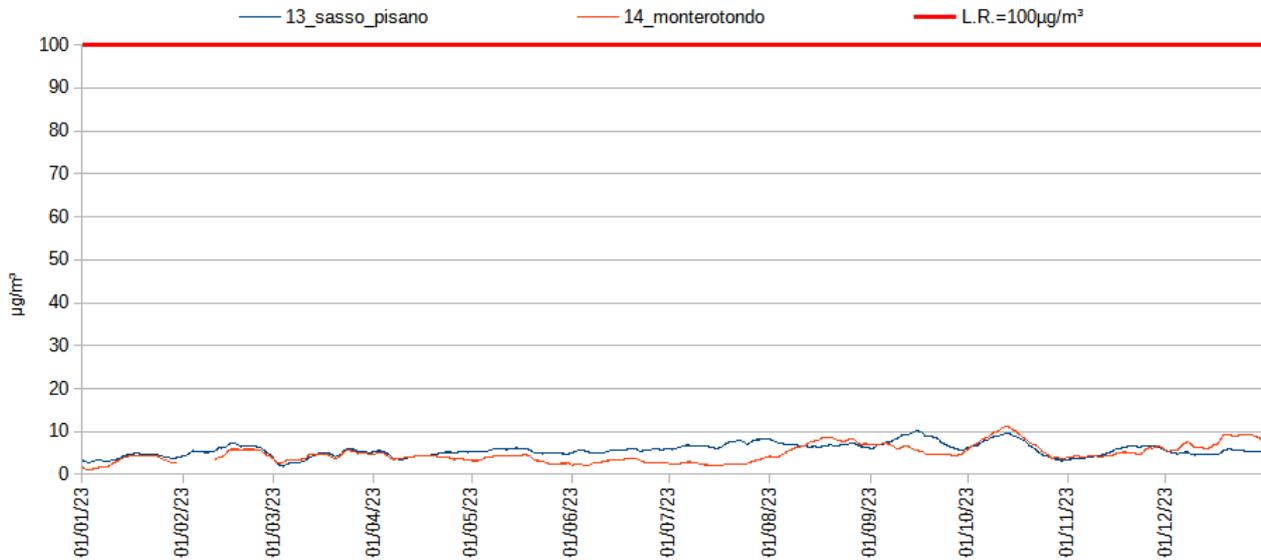


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 14 giorni della concentrazione in aria di idrogeno solforato in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Valore di riferimento = $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

5.4.3 Media mobile calcolata su 90 giorni

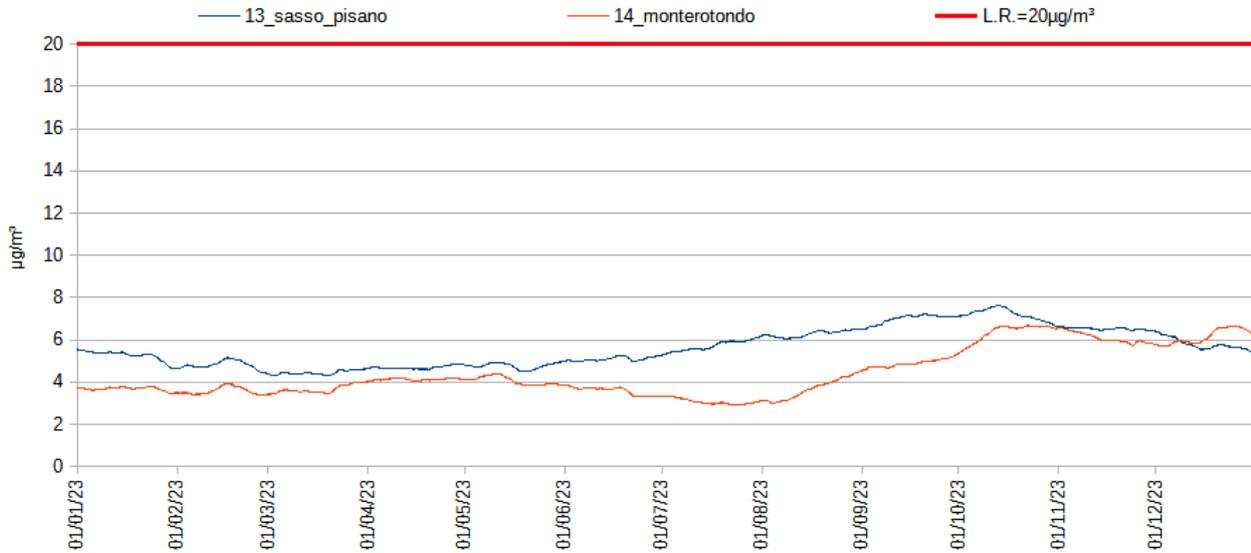
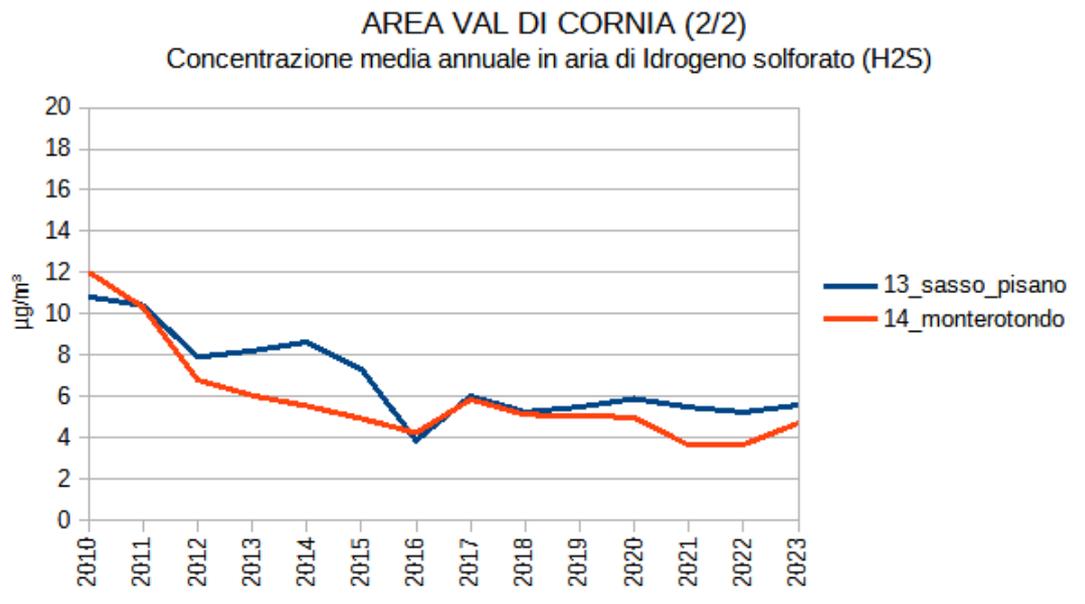


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 90 giorni della concentrazione in aria di idrogeno solforato in µg/m³ (Valore di riferimento = 20 µg/m³)

5.4.4 Media annuale

I dati storici relativi alla concentrazione di H₂S in aria dopo il completamento del piano d'installazione del sistema AMIS presso le Centrali dell'area tradizionale, che ha comportato un deciso miglioramento, dal 2017 mostra valori sostanzialmente uniformi.



5.5 Elaborazione dei dati delle Stazioni Q.A. di Larderello, Castelnuovo e Montecerboli

Le tre stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria di Castelnuovo, Montecerboli e Larderello sono ubicate in prossimità delle centrali Vallesecolo 1 e 2, Farinello, Nuova Gabbro, Nuova Larderello e Nuova Castelnuovo.



Fig.5: ubicazione delle diverse CGTE dell'area, delle tre SQA di Larderello (LARD), Montecerboli (MONT) e Castelnuovo (CANU). La postazione fissa ARPAT di Montecerboli è adiacente a quella ENEL.

I valori sopra la norma riscontrati nella postazione di Larderello nella metà di febbraio sono riconducibili alla manutenzione programmata alla Centrale Vallesecolo, svolta in questo periodo. Quelli riscontrati a settembre sono correlabili al fermo AMIS della Centrale di Farinello e in parte anche al fermo accidentale della Centrale Nuova Castelnuovo.

I valori sopra la media riscontrati nella stazione di monitoraggio di Montecerboli sembrano riconducibili a una sequenza di blocchi delle Centrali di Vallesecolo 1 e 2, Nuova Gabbro, Farinello e, in misura minore, dei rispettivi AMIS.

Anche in questo caso, pur essendosi registrati ripetuti superamenti della soglia olfattiva che possono aver determinato disturbi alla popolazione, i dati registrati dalle tre centraline di monitoraggio Enel GP si sono sempre mantenuti al di sotto dei valori di riferimento per la tutela sanitaria.

5.5.1 Media mobile calcolata su 24 ore

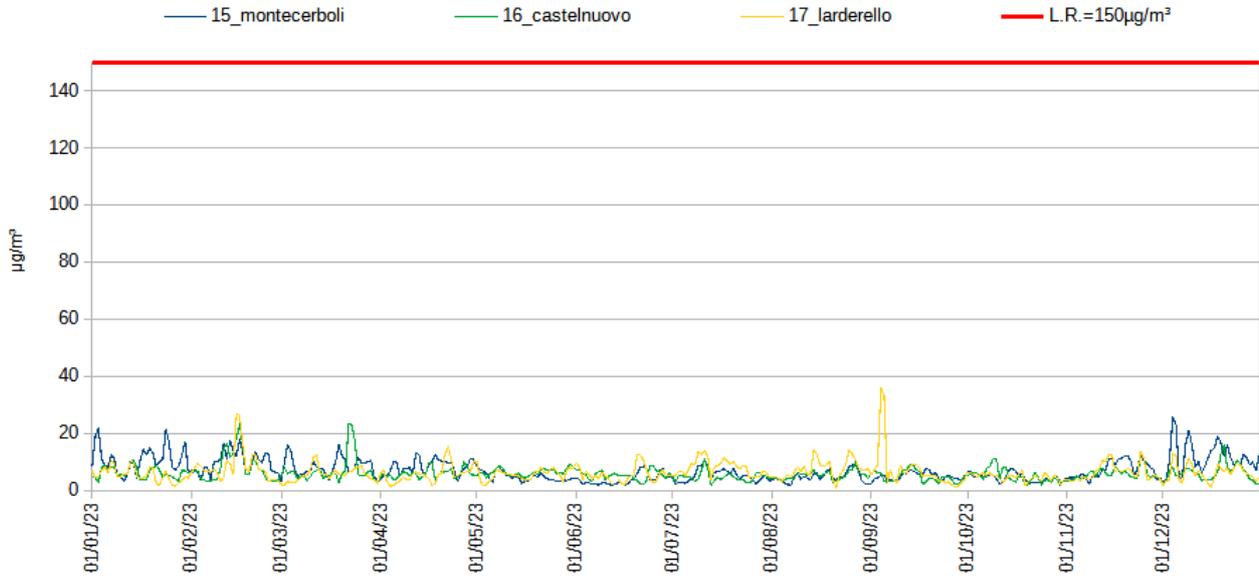


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 24 ore della concentrazione in aria di idrogeno solforato in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Valore di riferimento = $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

5.5.2 Media mobile calcolata su 14 giorni

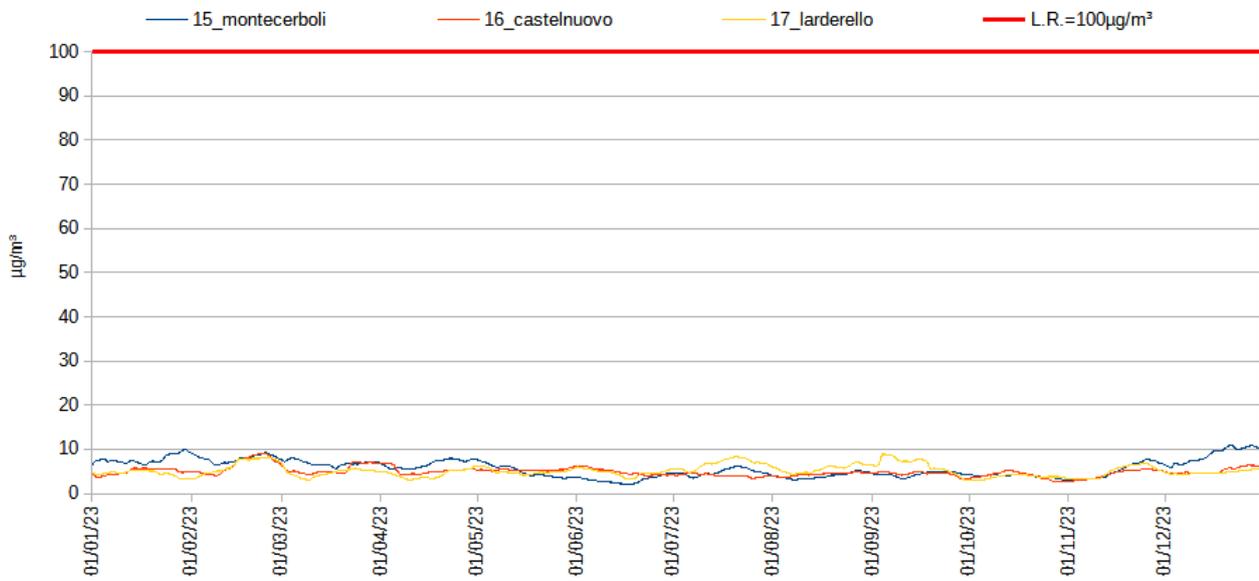


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 14 giorni della concentrazione in aria di idrogeno solforato in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Valore di riferimento = $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

5.5.3 Media mobile calcolata su 90 giorni

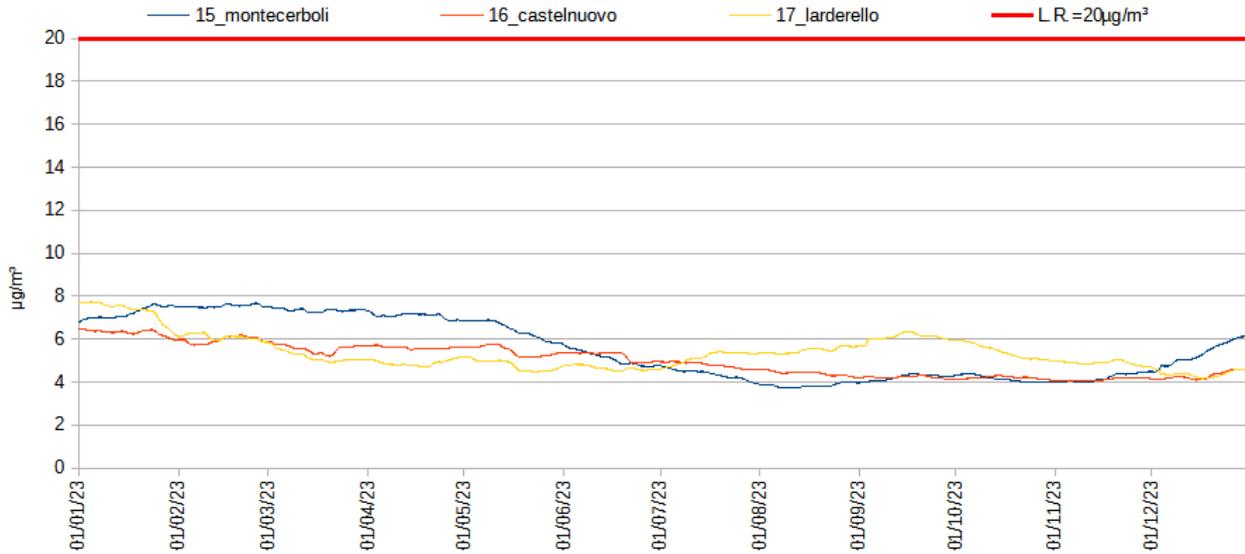
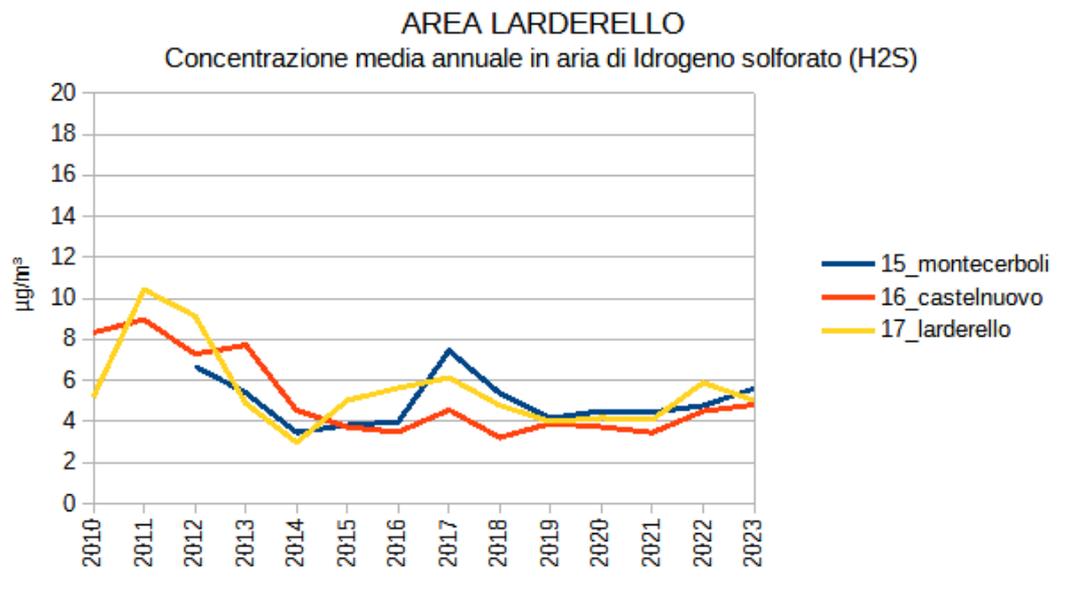


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 90 giorni della concentrazione in aria di idrogeno solforato in µg/m³ (Valore di riferimento = 20 µg/m³)

5.5.4 Media annuale

In quest'area, la concentrazione di H₂S, mostra negli anni 2022 e 2023 un leggero peggioramento, che tende comunque a riavvicinarsi ai valori riscontrati negli anni precedenti, già nella seconda metà del 2023, come si può desumere dai grafici della media mobile del parametro, calcolata su 90 giorni.



5.6 Elaborazione dei dati delle Stazioni Q.A. di Belforte, Travale, Montalcinello e Chiusdino

Queste stazioni di monitoraggio sono ubicate perimetralmente all'area occupata dalle CGTE Rancia 1 e 2, Pianacce, Nuova Radicondoli, Travale 3 e 4, Chiusdino 1.

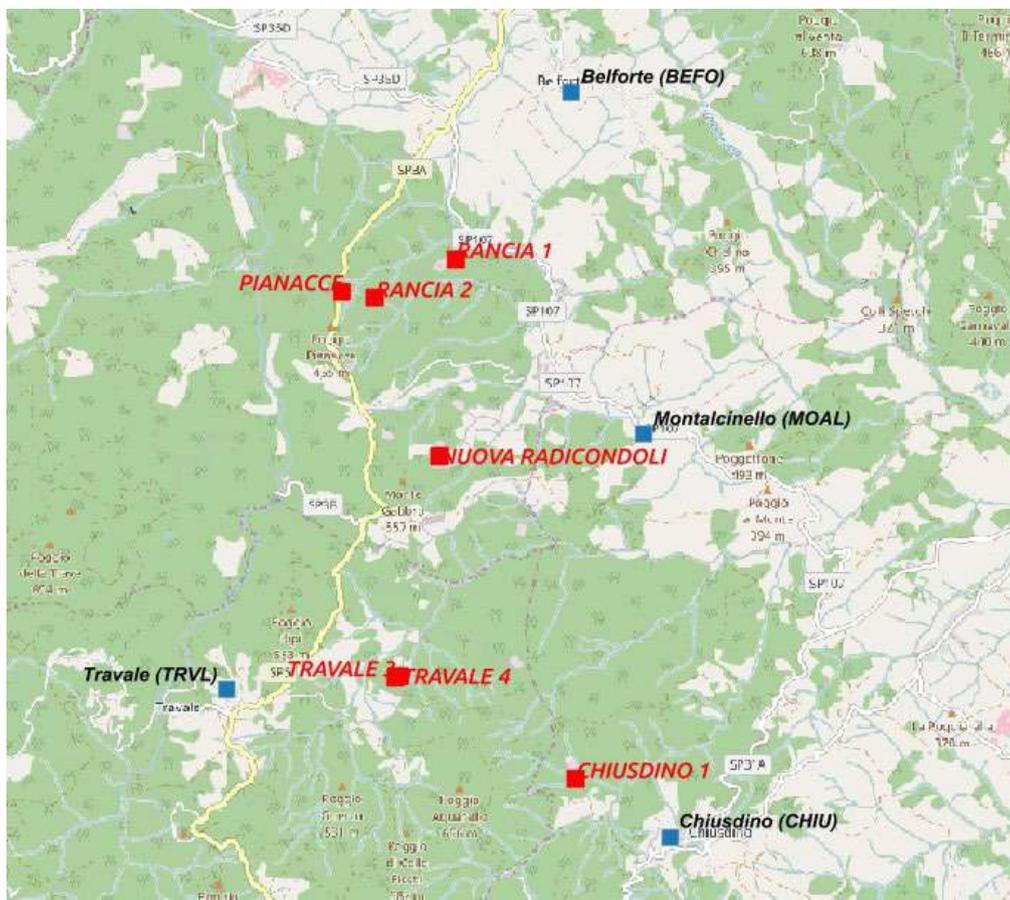


Fig.6: ubicazione delle diverse CGTE dell'area, delle quattro SQA di Belforte (BEFO), Montalcinello (MOAL), Travale (TRVL) e Chiusdino (CHIU).

I valori anomali della concentrazione di H₂S riscontrati nelle postazioni di Chiusdino, Travale e Montalcinello nella seconda decade di febbraio sono senz'altro riconducibili ai ripetuti malfunzionamenti riscontrati nelle Centrali Travale 3 e Travale 4.

In relazione ai valori anomali della concentrazione di H₂S riscontrati nella prima metà di ottobre presso la postazione di Chiusdino, pur avendo osservato diversi fattori che possono aver contribuito a innalzare la concentrazione, tra cui blocchi accidentali di AMIS delle Centrali limitrofe e la manutenzione ad alcuni pozzi (Montieri 2 e Montieri 4 in particolare), non è stato possibile individuare la causa predominante con precisione.

Discorso analogo può essere fatto per il periodo di dicembre.

Anche nel 2023 l'esame dei dati disponibili permette di affermare che, pur essendosi registrati ripetuti superamenti della soglia olfattiva che possono aver determinato disturbi alla popolazione, i dati registrati dalle 4 centraline di monitoraggio Enel GP si sono sempre mantenuti al di sotto dei valori di riferimento per la tutela sanitaria.

5.6.1 Media mobile calcolata su 24 ore

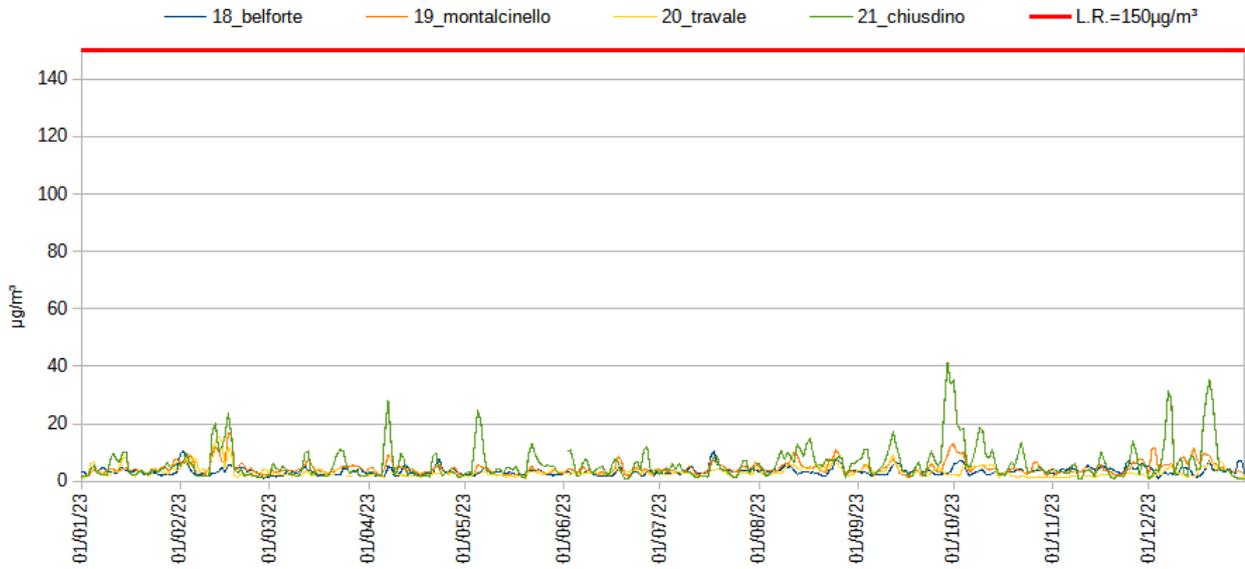


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 24 ore della concentrazione in aria di idrogeno solforato in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Valore di riferimento = $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

5.6.2 Media mobile calcolata su 14 giorni

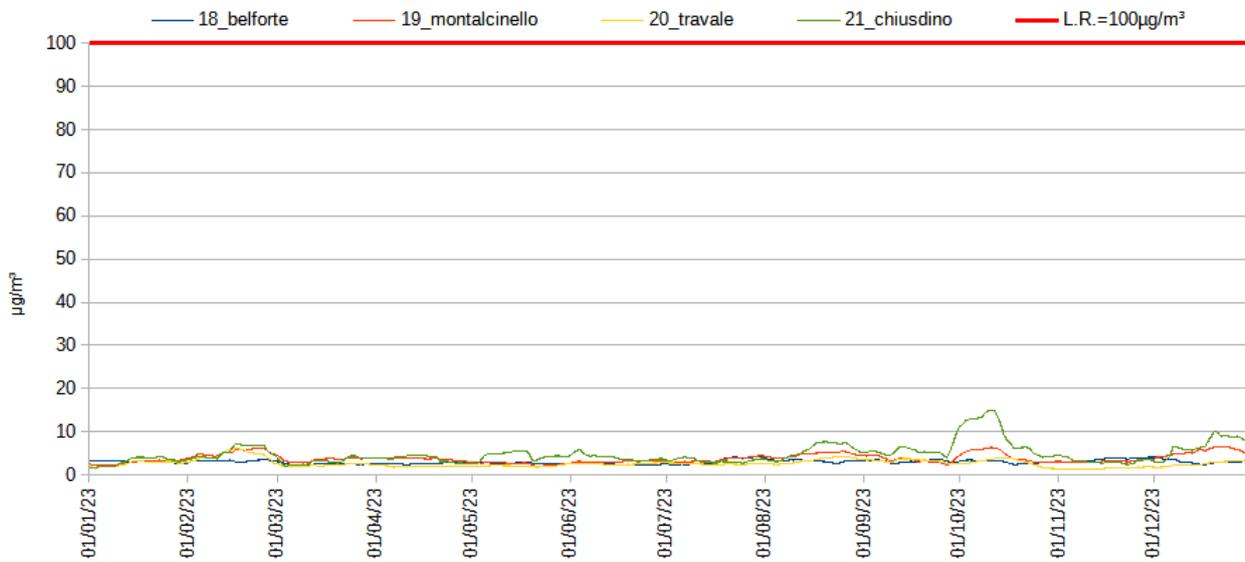


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 14 giorni della concentrazione in aria di idrogeno solforato in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Valore di riferimento = $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

5.6.3 Media mobile calcolata su 90 giorni

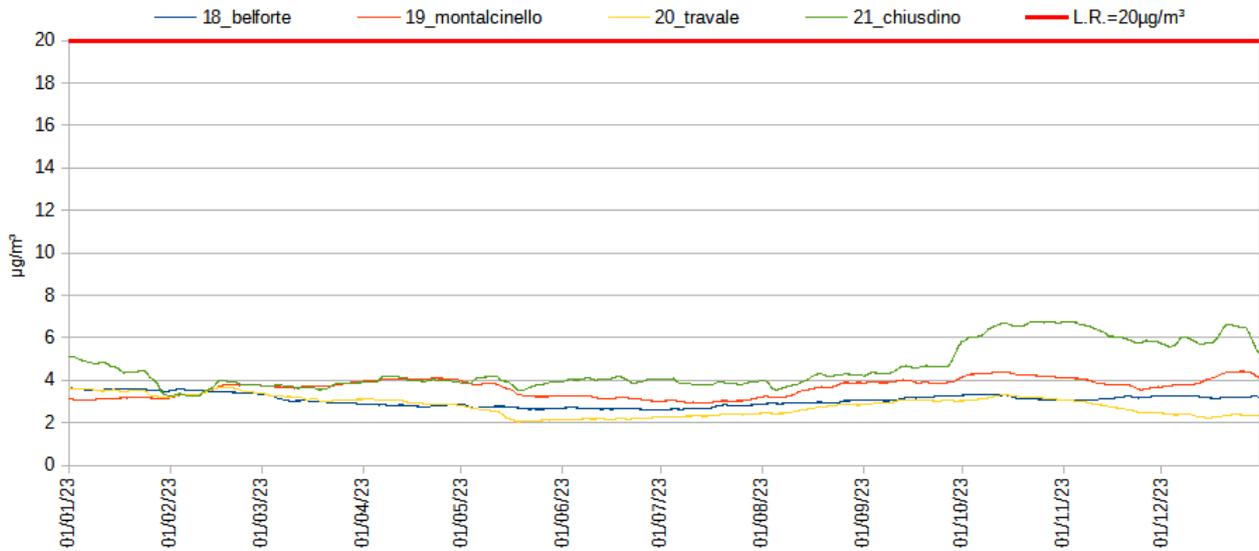
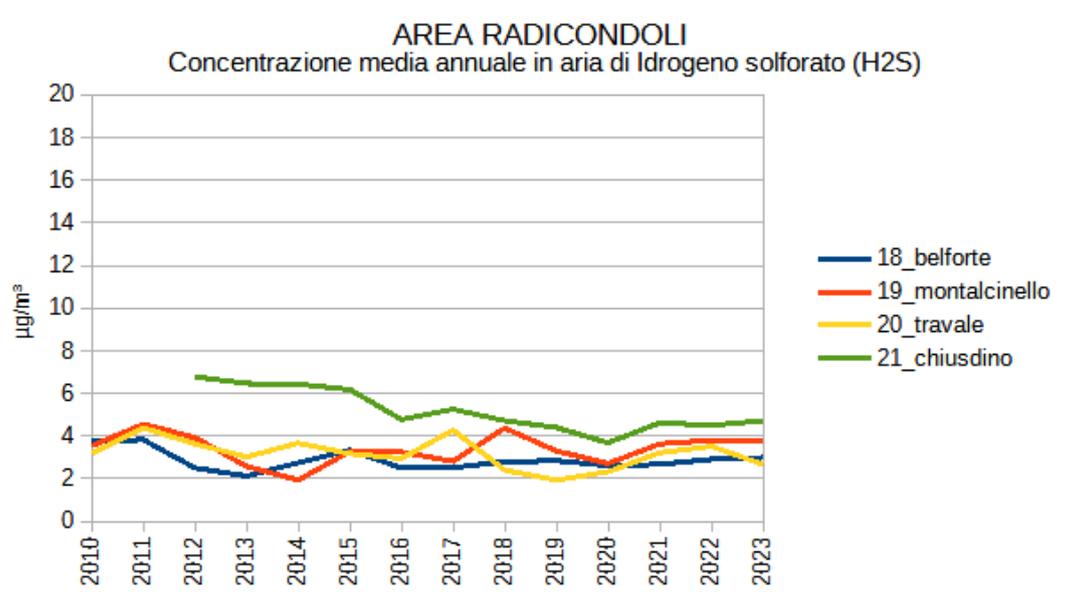


Grafico del massimo giornaliero, nel 2023, della media mobile calcolata su 90 giorni della concentrazione in aria di idrogeno solforato in µg/m³ (Valore di riferimento = 20 µg/m³)

5.6.4 Media annuale

Il grafico della media annuale della concentrazione di H₂S in aria, registrata negli ultimi 12 anni, in questa area, si mantiene su valori sostanzialmente uniformi.



6. MEZZI MOBILI ARPAT E CONFRONTO CON I DATI DI ENEL GP

Per valutare la congruità dei dati forniti da Enel GP, ARPAT effettua ogni anno specifiche brevi campagne di misura in parallelo i cui dati sono confrontati con i valori rilevati dalle stazioni di monitoraggio Enel GP.

Come ogni anno, un primo confronto tra dati di queste ultime e quelli di ARPAT è effettuato in corrispondenza della stazione fissa di Montecerboli, facente parte della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria e ubicata in adiacenza alla postazione Enel GP n.15 (MONT).

Ulteriori controlli sono stati effettuati grazie ai laboratori mobili ARPAT GEO1 e GEO2.

Nel 2023, a partire da febbraio, il laboratorio mobile GEO1 è stato ubicato presso il cimitero Selvena (Castell'Azzara), a seguito di una richiesta specifica del Comune, e vi è rimasto per tutto l'anno.

Il laboratorio mobile GEO2 è stato impiegato da giugno a ottobre 2023 per il monitoraggio a Chiusdino, affiancato alla postazione ENEL omonima.

In conclusione, di seguito si riporta una tabella che sintetizza i monitoraggi effettuati:

AREA	COMUNE	POSTAZIONE	INIZIO	FINE	MEZZO
Larderello PI	Pomarance (PI)	Postazione fissa di Montecerboli	01/01/2023	31/12/2023	-
	Castell'azzara (GR)	cimitero di Selvena (Castell'Azzara)	15/02/2023	15/01/2024	GEO1
Radicondoli	Chiusdino (SI)	Postazione fissa ENELGP	01/06/2023	15/10/2023	GEO2

In considerazione della finalità primaria di controllo dei dati ENEL attraverso monitoraggi di breve durata, di seguito si riportano soltanto i grafici relativi al confronto del massimo giornaliero delle medie mobili calcolate su un arco di 24 ore, omettendo per semplicità le medie mobili calcolate su periodi di riferimento più lunghi.

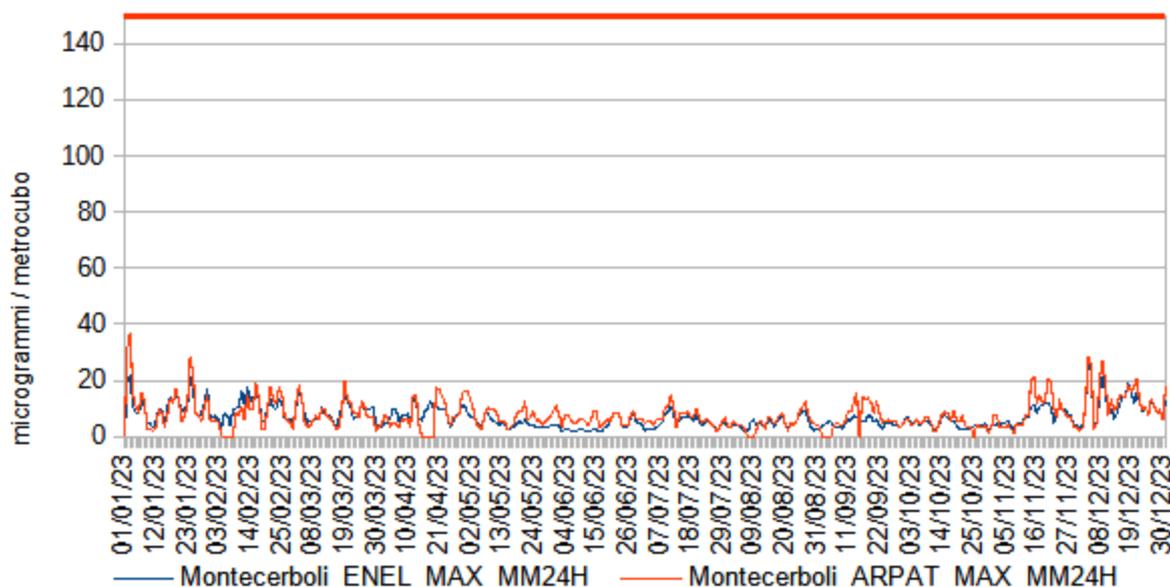
6.1 Stazione fissa Q.A. ARPAT di Pomarance (PI), loc. Montecerboli

La stazione fissa di Montecerboli fa parte della rete pubblica di monitoraggio della Qualità dell'Aria, che è gestita, per conto della Regione, da ARPAT tramite il Settore Centro Regionale Tutela Qualità dell'Aria (CRTQA).

La stazione è situata in via Manzoni, Loc. Montecerboli - Pomarance (PI), a circa 353 metri slm, ed è stata attrezzata per il monitoraggio, oltre che di O₃, NO₂ e PM₁₀, anche di H₂S. Tali dati sono pubblicati sul web all'indirizzo http://www.arp.at.toscana.it/temi-ambientali/aria/qualita-aria/archivio_dati_orari.

Al fine di verificare visivamente e in modo speditivo la coerenza tra i dati rilevati dalle due postazioni di monitoraggio, di seguito si riporta il grafico elaborato dai dati ricavati dalla stazione fissa ARPAT per il massimo giornaliero della media mobile calcolata su 24 ore messo a confronto con lo stesso indice ricavato dai dati della stazione di Enel GP.

ARPAT- Area Vasta Sud - Settore Geotermia
 Concentrazioni in aria di H₂S e Hg nelle aree geotermiche toscane.
 Monitoraggi ARPAT e validazione dati Enel Green Power Italia S.p.A - anno 2023



Montecerboli: Massimo giornaliero della media mobile su 24 ore della concentrazione di H₂S (µg/m³)

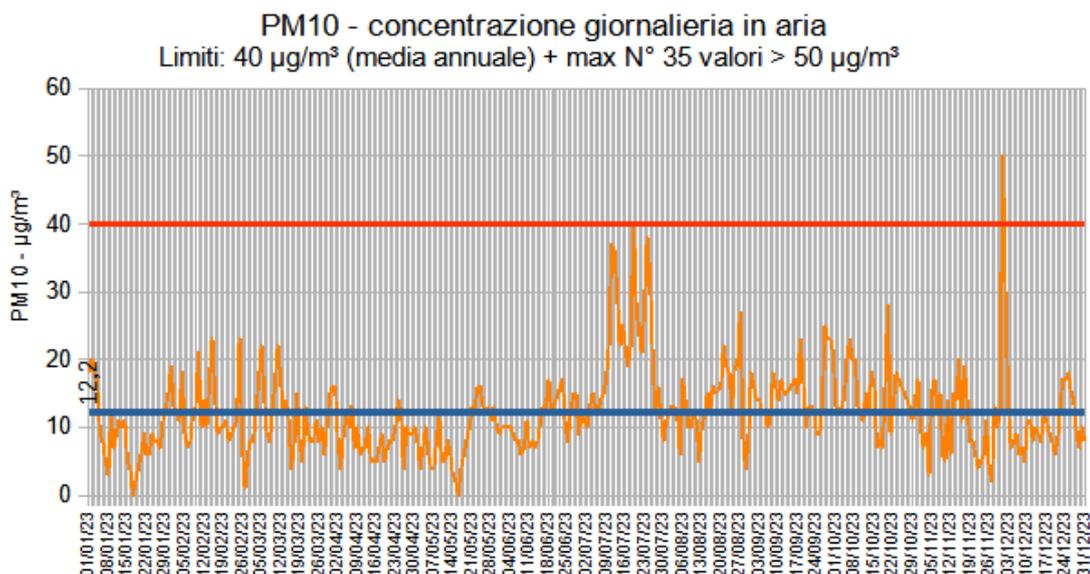
Si può osservare l'ottimo accordo tra i grafici elaborati dalle due serie di dati e come siano stati registrati valori certamente inferiori ai riferimenti per la tutela sanitaria individuati nelle Linee Guida del WHO.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei valori orari della concentrazione di idrogeno solforato (H₂S) rilevati da ARPAT nell'intero anno, messi a raffronto con quelli della vicina stazione Enel GP:

Stazioni fisse in loc. Montecerboli, Pomarance (PI) Monitoraggio idrogeno solforato (H ₂ S)	ENEL	ARPAT	Note
data inizio monitoraggio	01/01/23	01/01/23	
data fine monitoraggio	31/12/23	31/12/23	
giorni monitoraggio	365	365	
Ore	8760	8760	
ore valide	7952	8619	
numero superamenti WHO-OMS	0	0	
media del periodo [µg/m ³]	6,2	5,6	
max media mobile su 24h [µg/m ³]	36,8	25,8	Lim=150 µg/m ³
max concentrazione media giornaliera [µg/m ³]	31	23,1	
numero giorni con concentrazione media >7	117	99	
numero ore con concentrazione >7	1844	2000	
massima oraria del periodo [µg/m ³]	150	83,9	

Tabella di riepilogo delle concentrazioni orarie di Idrogeno solforato (H₂S) rilevate dalle due postazioni ARPAT ed ENEL

A titolo informativo, si riporta il sottostante grafico giornaliero delle concentrazioni di PM₁₀ in aria rilevate dalla stazione di monitoraggio ARPAT a Montecerboli, dove con linea blu orizzontale è stato indicato il valore medio dei dati registrati (12,2 µg/m³ < 40 µg/m³) e, considerato che non si sono registrati valori superiori a 50 µg/m³ (< 35), si deduce il rispetto dei limiti normativi vigenti.



6.2 Mezzo ARPAT GEO 1

6.2.1 Monitoraggio presso il cimitero di Selvena (Castell’Azzara, GR). Periodo 15/02/2023 – 15/01/2024

I risultati di questo intervento, non facendo parte della campagna di confronto con le centraline ENEL, non sono qui riportati; si rimanda alla specifica relazione reperibile presso: <https://www.arp.at.toscana.it/documentazione/report/report-geotermia>.

6.3 Mezzo ARPAT GEO 2

Di seguito si richiamano i risultati del monitoraggio svolto a Bagnore, in cui i dati rilevati dal nostro laboratorio mobile sono stati messi a confronto con quelli registrati dalla corrispondente stazione di qualità dell’aria Enel GP di Bagnore.

6.3.1 Monitoraggio in Loc. Chiusdino (SI), nel parcheggio vicino alla palestra comunale. Periodo dal 1/6/2023 al 15/10/2023

L’ubicazione è stata individuata, compatibilmente con le esigenze tecniche di parcheggio e di allaccio alla rete di energia elettrica, in prossimità della stazione della centralina ENEL omonima, per operare un confronto diretto con i dati elaborati dai due laboratori.

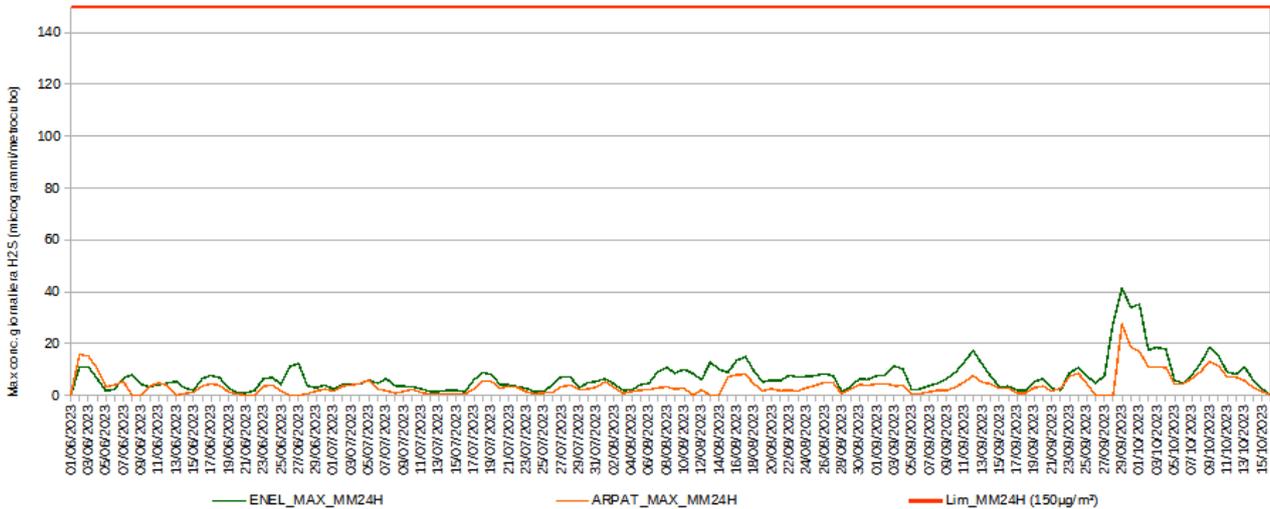
L’ubicazione che è stata quindi individuata è quella nel parcheggio della palestra comunale, che si trova a circa 350m di distanza, in direzione Est.

ARPAT- Area Vasta Sud - Settore Geotermia
 Concentrazioni in aria di H₂S e Hg nelle aree geotermiche toscane.
 Monitoraggi ARPAT e validazione dati Enel Green Power Italia S.p.A - anno 2023



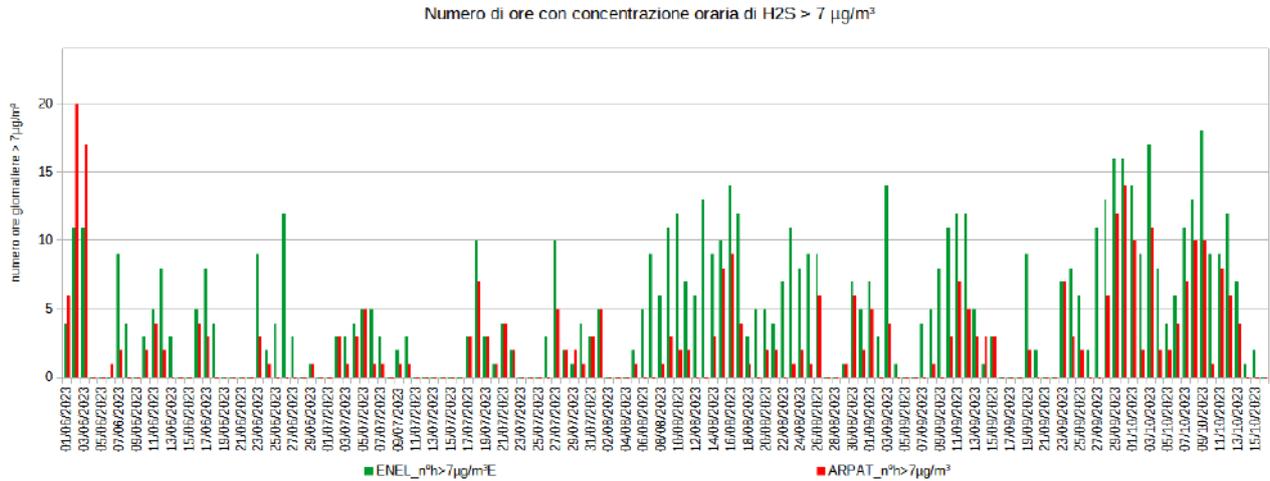
Di seguito vengono presentati, in modo sintetico e attraverso alcuni grafici, i dati raccolti:

Massimo giornaliero della media mobile su 24 ore di H₂S- $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Dal grafico si osserva anche il rispetto dei limiti per la tutela sanitaria suggeriti dal WHO (Organizzazione mondiale per la sanità) che si ricorda prevedono tre diversi limiti, ovvero di 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per le concentrazioni mediate su 24 ore, di 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media su periodi tra 2 e 14 giorni e 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per periodi di tempo compresi tra 15 e 90 giorni. I valori delle concentrazioni rilevate dalle due centraline risultano coerenti anche in relazione alla distanza tra di esse (350 m), pertanto i dati ENEL sono validati dai dati rilevati da ARPAT.

ARPAT- Area Vasta Sud - Settore Geotermia
 Concentrazioni in aria di H₂S e Hg nelle aree geotermiche toscane.
 Monitoraggi ARPAT e validazione dati Enel Green Power Italia S.p.A - anno 2023

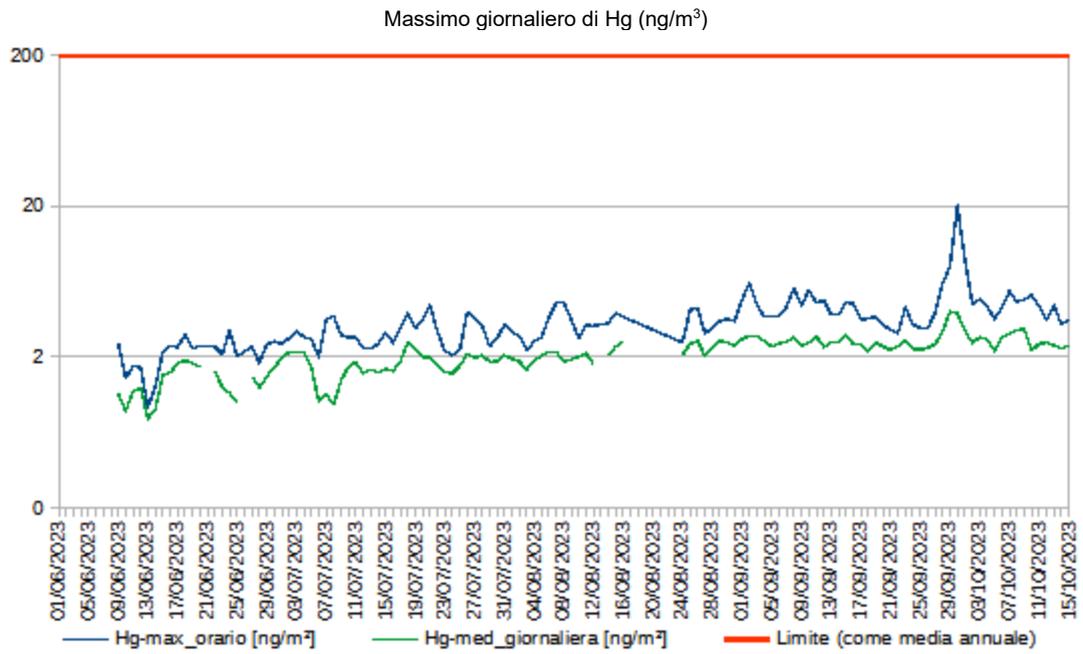


Di seguito si riporta una tabella che sintetizza il monitoraggio svolto:

Loc. Bagnore, Santa Fiora (GR) Monitoraggio idrogeno solforato (H ₂ S)	ENEL (BAGN)	ARPAT Geo2	Note
data inizio monitoraggio	01/06/23	01/06/23	
data fine monitoraggio	15/10/23	15/10/23	
giorni monitoraggio	137	137	
Ore	3288	3288	
ore valide	3196	2842	
numero superamenti WHO-OMS	0	0	
media del periodo [µg/m ³]	5,55	3,13	
max media mobile su 24h [µg/m ³]	41,4	27,4	Lim=150 µg/m ³
max concentrazione media giornaliera [µg/m ³]	33,8	20,0	
numero giorni con concentrazione media >7	34	13	
Numero ore con concentrazione >7	691	334	
massima oraria del periodo [µg/m ³]	119,5	88,1	

In relazione al monitoraggio del mercurio gassoso (grafico in scala logaritmica delle concentrazioni di Hg, in ng/m³), si deve far presente che, a causa di un malfunzionamento strumentale, la misura del parametro è stata possibile solo dal 9 giugno 2023. I valori si sono mantenuti ampiamente al di sotto del valore di riferimento annuale.

ARPAT- Area Vasta Sud - Settore Geotermia
Concentrazioni in aria di H₂S e Hg nelle aree geotermiche toscane.
Monitoraggi ARPAT e validazione dati Enel Green Power Italia S.p.A - anno 2023



7. CONCLUSIONI

In relazione alle stazioni di monitoraggio della concentrazione di H₂S in aria gestite da ENEL GP, anche sulla base delle verifiche a campione effettuate attraverso il mezzo mobile ARPAT GEO2 e dei dati rilevati presso la postazione fissa ubicata a Montecerboli, si ritiene che, come espresso nelle tabelle di sintesi dei capitoli precedenti, le concentrazioni in aria di idrogeno solforato rilevate da ENEL GP nel corso del 2023 possano ritenersi rappresentative della qualità dell'aria nelle aree geotermiche toscane. Si evidenzia altresì che non sono stati registrati superamenti dei valori di riferimento per la tutela sanitaria indicati dal World Health Organization sia per le medie mobili calcolate su 24 ore (150 µg/m³), sia per intervalli temporali da 2 a 14 giorni (100 µg/m³) e sia per intervalli temporali di 15-90 giorni (20 µg/m³).

Le concentrazioni registrate si sono mantenute su livelli sostanzialmente analoghi a quelli registrati negli anni passati, seppur localmente, potrebbero essere state influenzate anche da altre attività quali, a puro titolo esemplificativo (non essendo sempre stato possibile una identificazione certa), quelle connesse all'attività di cantiere per la perforazione di nuovi pozzi, alle centrali termiche di teleriscaldamento, oltre alle eventuali sorgenti naturali esistenti.

Anche per quanto riguarda il mercurio gassoso, si ricorda misurato a partire dal 2014 mediante i laboratori mobili ARPAT, non si ravvedono situazioni critiche in relazione ai limiti di cautela sanitaria.



ARPAT

Agenzia regionale
per la protezione ambientale
della Toscana

ARPAT, via del Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze

Tel. 055.32061 - Fax 055.3206324

urp@arpat.toscana.it