



IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO TORRE ALFINA

Studio di Impatto Ambientale

ALLEGATO L

CAMPAGNE DI MISURA DEL FLUSSO DI CO₂ DAL SUOLO SU AREE TARGET

Aggiornamento gennaio 2015

1. PROSPEZIONE DEL FLUSSO DIFFUSO DI CO₂ DAL SUOLO

L'anidride carbonica è, dopo il vapor d'acqua, il gas principale rilasciato dai sistemi geotermici di entalpia media e alta (Barberi et al., 2010). Vapore e CO₂ sfuggono lungo faglie dai serbatoi geotermici profondi e risalgono verso la superficie; in questo percorso il vapore si condensa mentre la CO₂, pur disciogliendosi in parte negli acquiferi più superficiali, riesce a raggiungere la superficie. Anomalie di flusso di CO₂ dal suolo nelle aree di interesse geotermico, segnalano la presenza di vie di fuga (faglie, fratture) di fluidi dal serbatoio e indicano pertanto la presenza in profondità di zone permeabili contenenti fluidi. La prospezione di flusso di CO₂ dal suolo è quindi un utile strumento nell'esplorazione geotermica perché consente di individuare, dalla superficie, le zone permeabili profonde riducendo il rischio dell'esplorazione profonda attraverso sondaggi. Un esempio viene dal campo geotermico di Latera dove Chiodini et al. (2007) hanno mostrato che tutti i pozzi geotermici produttivi sono stati perforati in zone con flusso anomalo di CO₂ e che, al contrario, tutti i pozzi sterili sono stati perforati in zone prive di anomalie di flusso CO₂ dal suolo e dove pertanto non vi era evidenza della presenza di fluidi geotermici in profondità. Naturalmente il rilascio diffusivo di CO₂ dal suolo dipende anche dalla permeabilità delle rocce di copertura del serbatoio geotermico profondo ed è basso dove questa è bassa; tuttavia anche le rocce della copertura possono essere attraversate da faglie che si estendono dalla superficie alle rocce del potenziale serbatoio e se il serbatoio geotermico effettivamente esiste, queste faglie rappresentano vie di fuga per il gas. Sono queste le motivazioni che hanno spinto ITW & LKW Geotermia Italia ad affidare a INGV – Università di Roma Tre una prospezione del flusso diffuso di CO₂ dal suolo nell'area geotermica di Torre Alfina – Castel Giorgio, i cui risultati sono di seguito sintetizzati (da Carapezza et al., 2011 e 2014a).

2. METODOLOGIA E RISULTATI

La campagna di misure del flusso diffuso di CO₂ dal suolo nell'area geotermica di Torre Alfina-Castel Giorgio è stata eseguita nei mesi di Maggio e Giugno 2011, utilizzando tre camere di accumulo portatili della West Systems s.r.l. e tre sistemi GPS Garmin map 60CSx per l'ubicazione dei punti di misura. Sono state eseguite un totale di 1336 misure distribuite su un'area di 12,2 km² (Fig. 1); nei limiti del possibile si è cercato di coprire l'area con una maglia regolare di punti di misura, ma in alcune poche zone la vegetazione troppo fitta non ne ha consentito l'esecuzione (come nel bosco a sud del pozzo A5). Le misure sono state eseguite in condizioni di bel tempo stabile e con terreno asciutto, in modo da evitare che l'umidità del suolo potesse influire sul flusso di gas.

Sono stati trovati valori di flusso di CO₂ dal suolo variabili da 5,2 a 30250 g/m²giorno, con un valore medio di 103,6 g/m²giorno.

Nella Fig. 2 è riportato il log probabilità plot dei valori di flusso di CO₂ misurati, utilizzato per stabilire il valore di background e le varie popolazioni anomale. Il background corrisponde per lo più ad emissione di CO₂ di origine organica superficiale, connessa al fenomeno chiamato “respirazione delle piante”.

In base al grafico della Fig. 2, il background è stato inizialmente fissato a 48 g/m²giorno, valore piuttosto alto, anche se vicino a quello utilizzato da Chiodini et al. (2007) nell’area vulcanica di Latera prossima a quella indagata (50 g/m²giorno). Un valore così alto di background consente comunque di attribuire alle classi di flusso anomalo (> 48 g/m²giorno) una sicura origine profonda (geotermica).

Nella Tabella 1 sono riportati, per ogni classe di valori, il minimo e il massimo di flusso misurato, il numero di misure appartenenti alla classe, la media, la superficie corrispondente alla classe e il contributo al flusso totale di CO₂ dal suolo. Il flusso totale di CO₂ stimato è di 401,5 ton/giorno, la maggior parte del quale (299,6 ton/giorno) appartiene al background. La mappa di flusso è riportata nella Fig. 2.

Come era ovvio attendersi con un valore così alto di background, la maggioranza delle misure (90,3%) rientra in questa classe e un flusso entro la soglia di background si registra nella maggior parte dell’area indagata (11,7 km² contro 12,2).

Emerge una sola area fortemente anomala ubicata a sud di Torre Alfina vicino alle emissioni naturali di gas delle Solfanare. In soli tre altri punti isolati si misurano valori di flusso di CO₂ dal suolo superiori a 100 g/m²giorno: circa a metà tra i pozzi A4 e A14, subito ad ovest del pozzo A4 e a est del pozzo A2 (Fig. 2).

Allo scopo di indagine meglio il rilascio di gas dal suolo, i dati sono stati processati anche assumendo un limite di background di 20 g/m²giorno (Fig. 2 e Tab. 2). La nuova mappa di flusso, riportata nella Fig. 3, indica che il background si distribuisce in prevalenza alla periferia dell’area indagata. Con questo più basso background, il totale del flusso anomalo ammonta a 368,5 ton/giorno (Tab. 2).

I dati del flusso diffuso di CO₂ dal suolo dimostrano in modo chiarissimo l’efficacia della copertura impermeabile, costituita dai terreni del flysch alloctono e delle argille del Neogene, posta al di sopra del serbatoio geotermico ospitato nelle rocce carbonatiche fratturate. Infatti alcuni dei pozzi geotermici perforati negli anni ’70 hanno incontrato una cappa di gas nella parte alta del serbatoio, come i pozzi A1, A2, A7, A13, quest’ultimo utilizzato da Enel per un decennio per produrre CO₂.

Inoltre almeno uno di questi pozzi (A1) ha prodotto durante la perforazione un blowout di gas (Cataldi e Rendina, 1973) appena entrato nel serbatoio carbonatico. Ciò nonostante si può apprezzare dalla Fig. 3 che

nessuna particolare anomalia di flusso di CO₂ è stata osservata sopra la cappa di gas. A parte la zona fratturata delle manifestazioni naturali a nordest del pozzo A13, il rilievo del flusso di CO₂ non mette in evidenza alcuna frattura che connette il serbatoio con la superficie, anche se allineamenti di deboli anomalie disposte NO-SE sembrano esistere a NO dei pozzi A4 e A14 (Fig. 3).

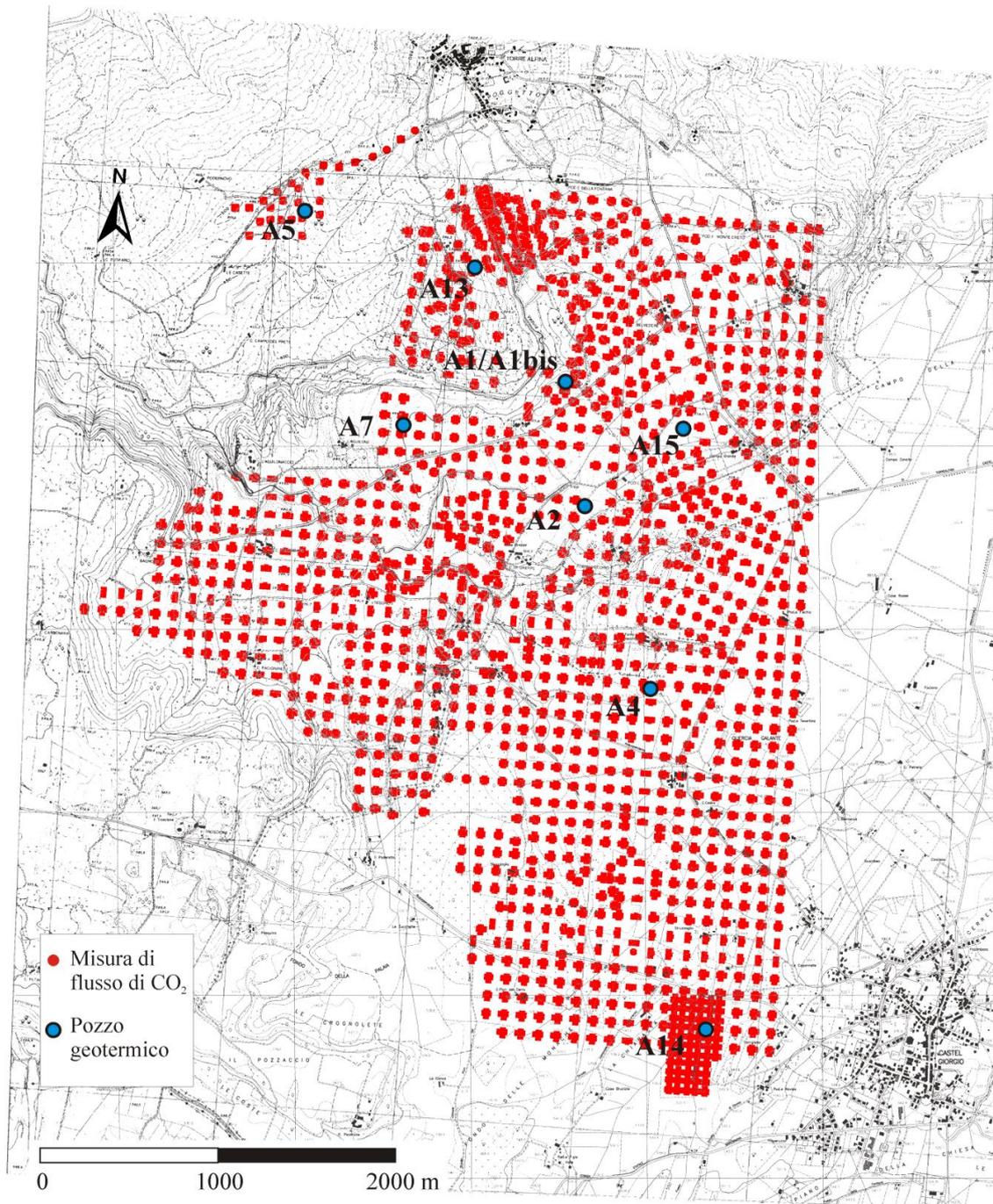


Fig. 1. Ubicazione dei punti di misura del flusso di CO₂ dal suolo del survey del 2011.

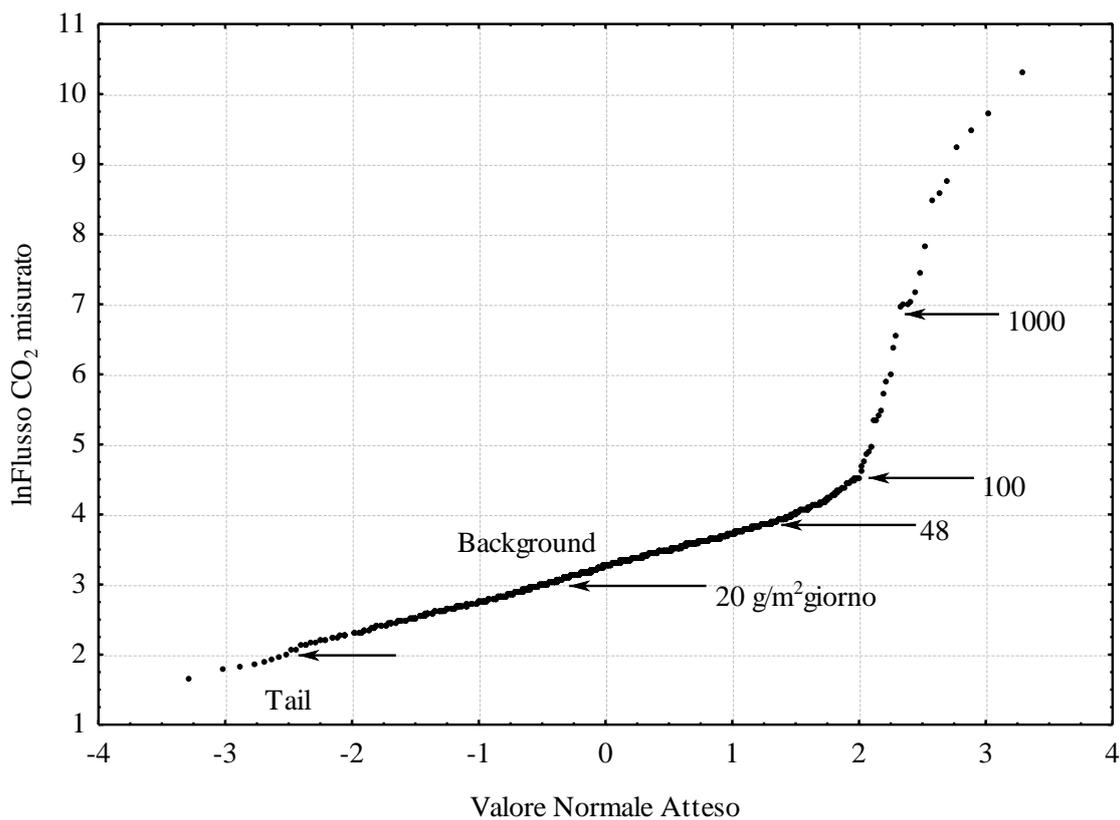


Fig. 2. Normal probability plot delle misure del 2011 di flusso di CO₂ dal suolo dell'area Torre Alfina-Castel Giorgio con indicate le varie classi di flusso. Sono riportati due diversi limiti per il background a 48 e 20 g/m²giorno (vedi Tabb. 1 e 2).

Tabella 1. Calcolo del flusso totale di CO₂ dal suolo della zona di Torre Alfina-Castel Giorgio

Classe	Misure	Frequenza	Media	Area	Flusso tot
g/m ² giorno	No.	%	g/m ² giorno	km ²	ton/giorno
5-48	1206	90,3	25,6	11,7	299,6*
48-100	100	7,5	61,7	0,4	23,4
100-1000	16	1,2	258,8	0,08	21,7
1000-30250	14	1	6948	0,008	56,8
Totale	1336	100	103,6	12,2	101,9

*Flusso di background non sommato al totale

Tabella 2. Come in Tab. 1, ma con limite di background a 20 g/m²giorno

Classe g/m ² giorno	Misure No.	Frequenza %	Media g/m ² giorno	Area km ²	Flusso tot ton/giorno
5-20	407	30,5	15,1	3,1	46,4*
20-48	799	59,8	30,9	8,6	266,6
48-100	100	7,5	61,7	0,4	23,4
100-1000	16	1,2	258,8	0,08	21,7
1000-30250	14	1	6948	0,008	56,8
Totale	1336	100	103,6	12,2	368,5

*Flusso di background non sommato al totale

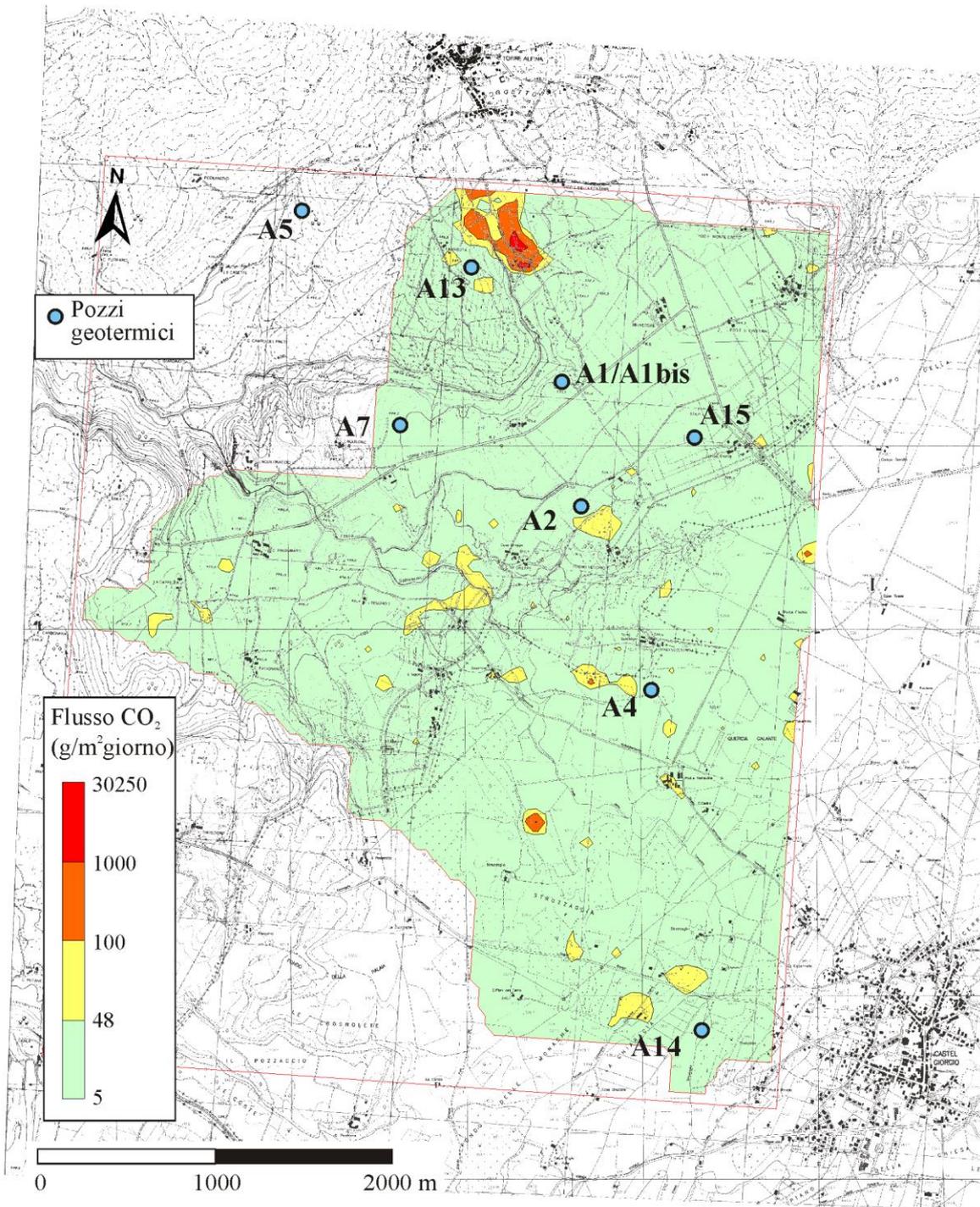


Fig. 3. Mappa del flusso di CO₂ dal suolo dell'area Torre Alfina-Castel Giorgio con soglia di background a 48 g/m²giorno. Survey del 2011.

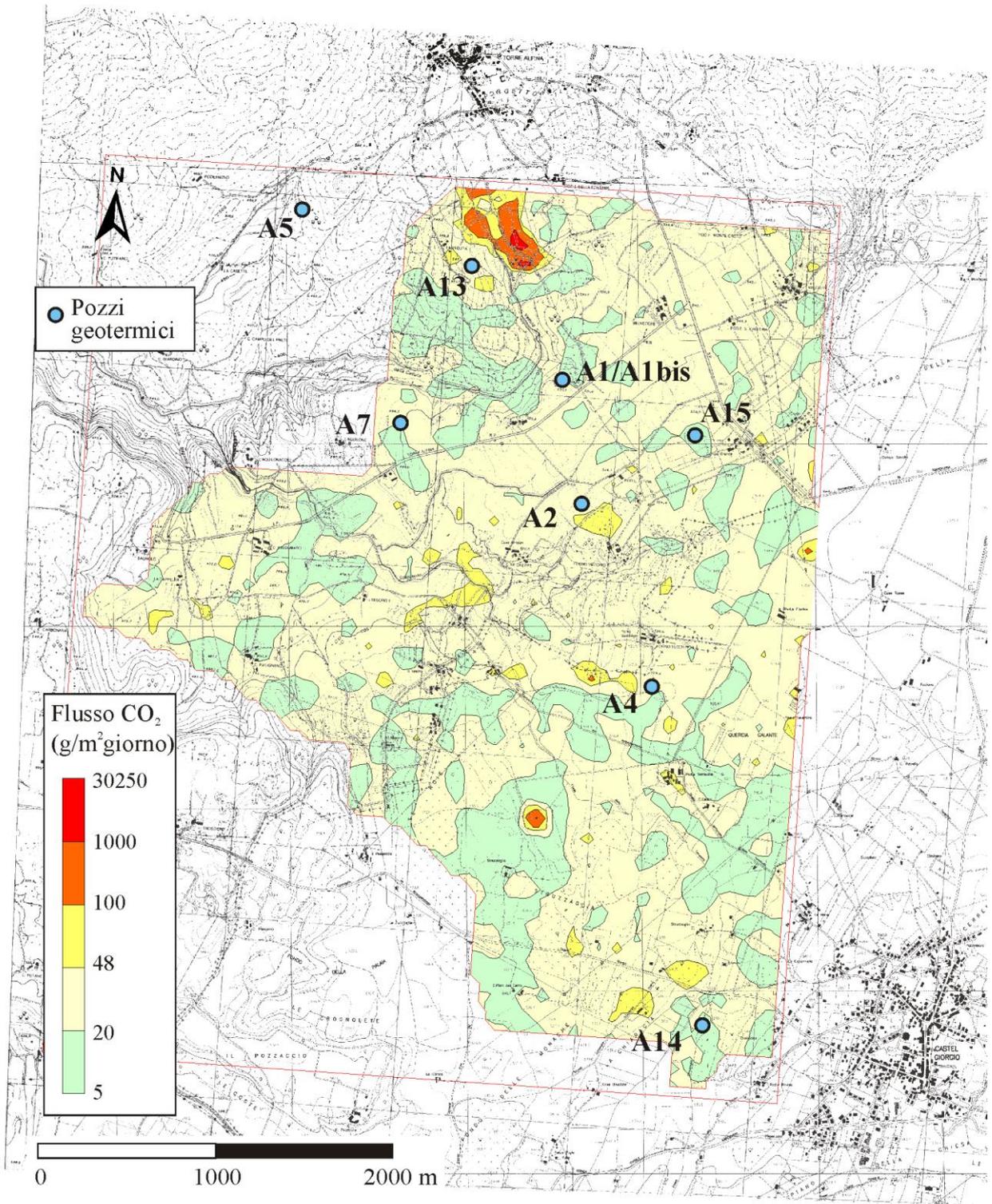


Fig. 4. Mappa del flusso di CO₂ dal suolo dell'area Torre Alfina-Castel Giorgio con background a 20 g/m²giorno. Survey del 2011.

3. PROSPEZIONE DEL FLUSSO DI H₂S DAL SUOLO

Nel corso della prospezione del flusso di CO₂ dal suolo del Maggio – Giugno 2011 sono state eseguite anche 331 misure del flusso di H₂S dal suolo. La posizione dei punti di misura è visibile nella Fig. 5. I risultati sono presentati nella Tab. 3. La maggior parte delle misure (90,9 %) è inferiore al limite determinabile con la camera di accumulo impiegata (0,01 g/m² giorno) e il flusso di H₂S relativo può essere considerato nullo. Solo tre misure hanno dato valori superiori a 0,1 g/m² giorno (max 1,63, vedi Tab. 3) e sono tutte ubicate nella zona delle manifestazioni a sud di Torre Alfina (Fig.5). La presenza di un seppur debole flusso di H₂S in questa zona è sorprendente perché le analisi Enel non avevano trovato H₂S nel gas di queste manifestazioni (Buonasorte et al., 1988). Valori misurabili di flusso di H₂S, tra 0,01 e 0,1 g/m² giorno sono stati trovati nella zona fittamente indagata vicino al pozzo A14 (Fig.5).

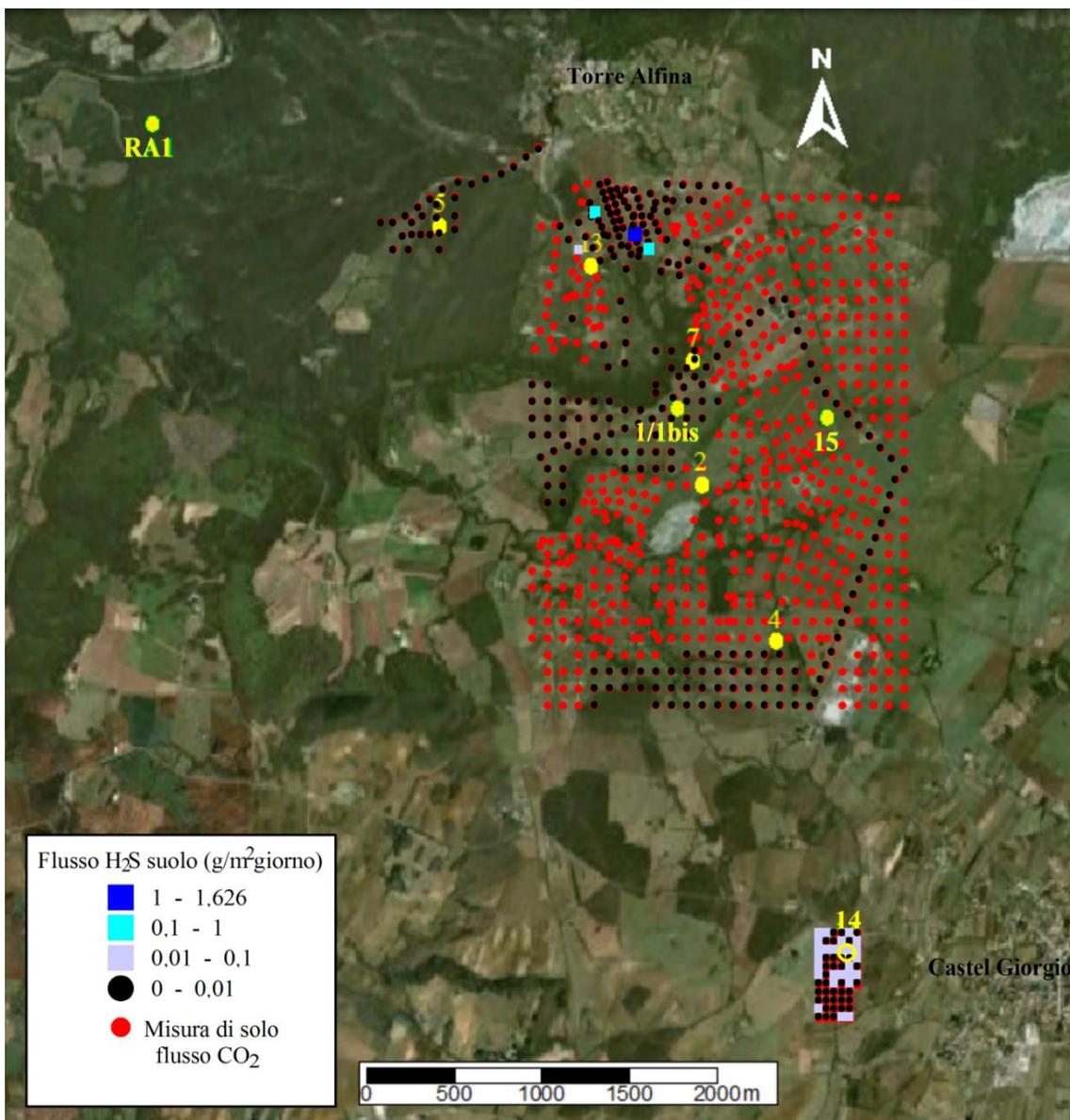


Fig. 5. Ubicazione dei punti di misura del flusso di H₂S dal suolo del 2011 e risultati.

Tabella 3. Misure del flusso di H₂S dal suolo nell'area Torre Alfina-Castel Giorgio. Survey del 2011.

Classe	Misure	Frequenza	Media
g/m ² giorno	nr.	%	g/m ² giorno
0-0,01	301	90,9	0
0,01-0,1	27	8,2	0,02
0,1-1	2	0,6	0,217
1-1,626	1	0,3	1,626
Totale	331	100,0	0,09*

*media delle 30 misure non nulle

4. MONITORAGGIO DEL FLUSSO DI CO₂ DAL SUOLO DI AREE TARGET

Dopo l'effettuazione nel 2011 della prospezione del flusso di CO₂ dal suolo su tutta l'area (Carapezza et al, 2011), ITW&LKW Geotermia Italia SpA ha affidato all'INGV il compito di monitorare il rilascio diffuso di gas dal suolo su tre aree target ubicate in prossimità dei siti dove verranno perforati pozzi produttivi (A2 per il progetto Torre Alfina e A4 per il progetto Castel Giorgio) e reiniettivi (A14 per il Progetto Castel Giorgio) (vedi Fig. 4). Lo scopo di questo monitoraggio, che consiste in tre campagne annue di misura del flusso di CO₂ dal suolo, è quello di definire un background dell'emissione naturale di CO₂ dal suolo in quest'area, comprese le sue variazioni stagionali, in modo da disporre di una base conoscitiva utile per identificare eventuali fughe di gas indotte dalla futura attività mineraria.

Finora sono state eseguite quattro campagne di misura (aprile e settembre 2013, marzo e luglio 2014) sempre in periodi secchi (Carapezza et al, 2013, 2014b).

Nella campagna del luglio 2014 sono state introdotte tre nuove aree target in modo da coprire adeguatamente tutte le zone destinate ad ospitare pozzi produttivi e reiniettivi del progetto Torre Alfina (vedi Progetto Definitivo). In particolare l'area A2 è stata leggermente traslata verso SW; l'area A4 è stata estesa di 500 m verso E; tre nuove aree target sono state definite per un totale di 78 punti di misura: A7 ubicata 300 m a Sud del pozzo A7, A1 ubicata ad Est del pozzo A1, ATo ubicata 400 m a E dell'area target A2 e 300 m a N della area target A4 (Fig.6).

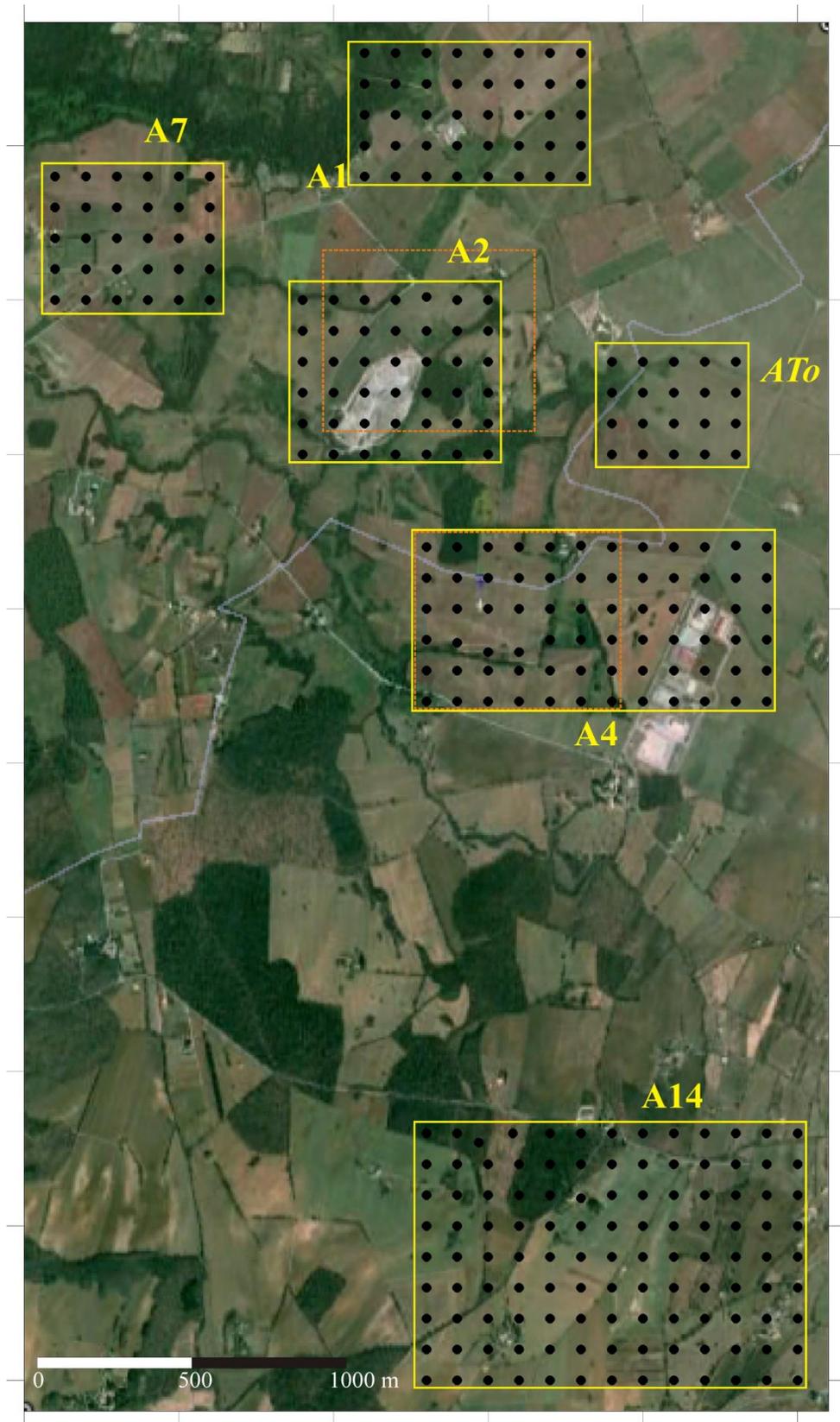


Fig. 6. Ubicazione delle aree target di misura di flusso di CO₂ dal suolo della campagna di luglio 2014 (rettangoli gialli). I perimetri delle aree target A2 e A4 misurate nelle campagne da aprile 2013 a marzo 2014 sono indicati in tratteggio arancione. L'area A14 è rimasta invariata.

Nelle Tabelle da 4 a 6 si riportano i risultati delle misure di flusso di CO₂ dal suolo eseguite nelle varie campagne nelle aree A2, A4 e A14.

Tabella 4. Confronto dei risultati delle misure di flusso delle campagne da giugno 2011 a luglio 2014 sull'area target A2.

Data	Area m ²	No. punti misura	Minimo g/m ² giorno	Massimo g/m ² giorno	Media g/m ² giorno
Giugno 2011	420.000	44	15,3	65,8	34,7
Aprile 2013	420.000	47	0,8	39,6	16,5
Settembre 2013	420.000	48	0,6	21,7	9,6
Marzo 2014	420.000	55	1,8	65,0	13,1
#Luglio 2014	350.000	40	3,5	59,8	23,1

#Area target modificata rispetto alla precedente

Tabella 5. Confronto dei risultati delle misure di flusso delle campagne da giugno 2011 a luglio 2014 sull'area target A4.

Data	Area m ²	No. punti misura	Minimo g/m ² giorno	Massimo g/m ² giorno	Media g/m ² giorno
Giugno 2011	350.000	51	9,0	131,0	32,0
Aprile 2013	350.000	48	3,4	40,0	18,3
Settembre 2013	350.000	48	0,7	22,4	8,1
Marzo 2014	350.000	48	2,1	39,2	10,3
Luglio 2014	350.000	47	5,5	31,8	13,5
*Luglio 2014	250.000	30	2,9	30,5	12,6

*Nuove misure aggiunte ad Est della precedente area target

Tabella 6. Confronto dei risultati delle misure di flusso delle campagne da giugno 2011 a luglio 2014 sull'area target A14.

Data	Area m ²	No. punti misura	Minimo g/m ² giorno	Massimo g/m ² giorno	Media g/m ² giorno
Giugno 2011	517.400	58	5,2	79,1	25,7
Aprile 2013	960.000	117	2,5	49,8	19,8
Settembre 2013	960.000	116	1,0	43,1	11,1
Marzo 2014	960.000	117	1,7	32,2	9,8
Luglio 2014	960.000	115	3,2	52,9	13,8

Nelle Tabelle 7, 8 e 9 sono riportati i risultati delle misure eseguite nel luglio 2014 nelle tre nuove aree target A7, A1 e ATo. Per confronto sono riportati i valori trovati nelle stesse aree nella prospezione generale di giugno 2011.

Tabella 7. Confronto dei risultati delle misure di flusso delle campagne di giugno 2011 e luglio 2014 sull'area target nuova A7.

Data	Area m ²	No. punti misura	Minimo g/m ² giorno	Massimo g/m ² giorno	Media g/m ² giorno
Giugno 2011	185.000	23	15,0	44,9	24,0
Luglio 2014	200.000	30	10,9	53,9	20,4

Tabella 8. Confronto dei risultati delle misure di flusso delle campagne di giugno 2011 e luglio 2014 sull'area target nuova A1.

Data	Area m ²	No. punti misura	Minimo g/m ² giorno	Massimo g/m ² giorno	Media g/m ² giorno
Giugno 2011	245.000	43	9,5	51,7	25,0
Luglio 2014	280.000	38	2,9	48,2	22,7

Tabella 9. Confronto dei risultati delle misure di flusso delle campagne di giugno 2011 e luglio 2014 sull'area target nuova ATo.

Data	Area m ²	No. punti misura	Minimo g/m ² giorno	Massimo g/m ² giorno	Media g/m ² giorno
Giugno 2011	110.000	19	12,2	51,0	28,4
Luglio 2014	120.000	20	11,8	36,7	23,2

Nella figura 7 sono riportate le mappe di flusso di CO₂ dal suolo su tutte le aree target (comprese quelle modificate o misurate per la prima volta nel luglio 2014) dell'area geotermica di Castel Giorgio - Torre Alfina.

Solo in pochi singoli punti i valori massimi del luglio 2014 superano, anche se di poco, il valore di background stabilito nel survey generale del 2011 e pari a 48 g/m² giorno. In particolare nell'area A2 è stato trovato un valore massimo di 59,8 g/m²giorno; nell'area A14 è stato trovato un valore massimo di 52,9 g/m²giorno e nell'area A7 è stato trovato un valore massimo di 53,9 g/m²giorno.

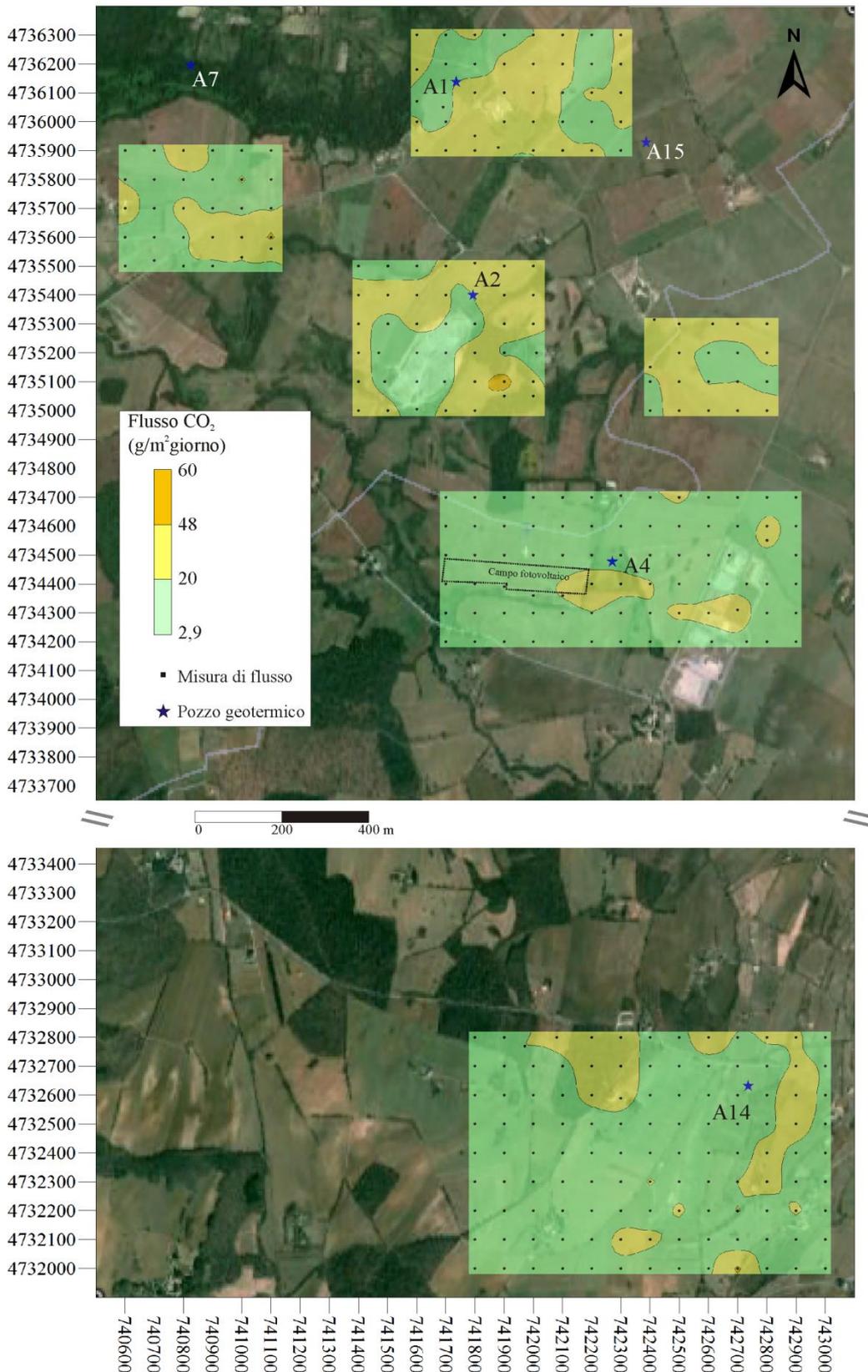


Fig. 7. Mappa del flusso di CO₂ dal suolo delle aree target di Torre Alfina-Castel Giorgio misurato a luglio 2014. I pozzi geotermici ENEL interni o vicini alle aree target sono indicati con stella blu.

Nella figura 8 i risultati di tutte le campagne di misura del flusso di CO₂ dal suolo, eseguite nell'area geotermica di Castel Giorgio – Torre Alfina da giugno 2011 a luglio 2014, sono messi a confronto in un *Normal Probability Plot*. Risulta evidente dalla figura che, a parte i valori anomali trovati nel giugno 2011 nell'area delle Solfanare, non più indagata nelle campagne successive perché lontana dalle aree target del progetto, tutte le misure di flusso di CO₂ dal suolo delle aree target, comprese quelle individuate per la prima volta nella campagna del luglio 2014, hanno valori al di sotto della soglia di background e sono spiegabili con il fenomeno della respirazione biologica del suolo.

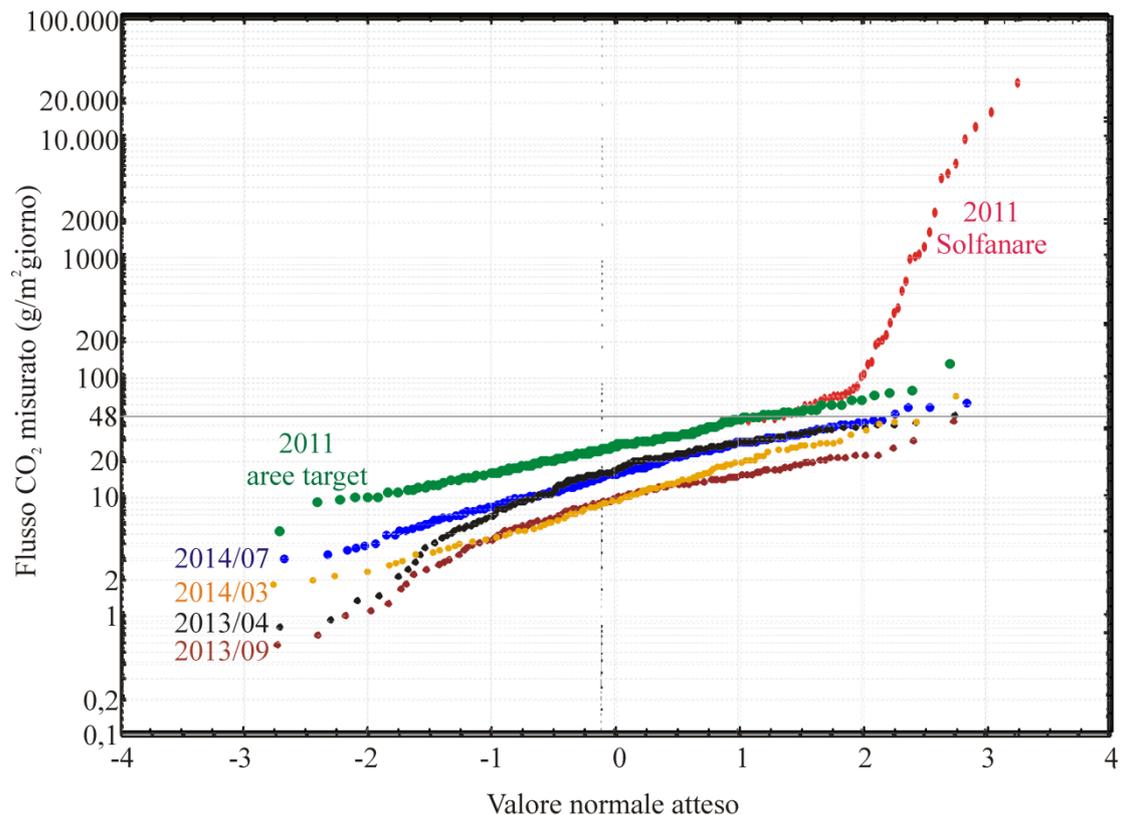


Fig. 8. Confronto nel *Normal probability plot* delle misure di flusso di CO₂ dal suolo (in scala logaritmica) eseguite nelle campagne da giugno 2011 a luglio 2014. In verde le misure relative alle aree target del survey 2011 e in rosso le misure del 2011 relative alla sola area delle Solfanare; in nero le misure di aprile 2013; in marrone le misure di settembre 2013; in arancione le misure di marzo 2014; in blu le misure di luglio 2014. Con una linea continua è indicato la soglia di background (48 g/m²giorno) individuata nel survey generale di giugno 2011.

5. CONCLUSIONI

Tutti i risultati delle campagne di misura del flusso di CO₂ dal suolo nelle aree target confermano l'efficacia della copertura impermeabile situata al di sopra del serbatoio geotermico profondo della zona di Torre Alfina – Castel Giorgio. Solo nella zona delle Solfanare questa copertura è tagliata da una faglia che consente la risalita alla superficie dei gas del serbatoio geotermico (Carapezza et al., 2014a).

I valori di flusso più bassi sono stati trovati nella zona della cava di Le Greppe priva di vegetazione. Valori di flusso leggermente più alti, ma sempre entro la soglia di background, sono stati trovati in zone con terreni arati o vegetati (Carapezza et al., 2013).

In conclusione, il flusso di CO₂ dal suolo nelle aree target è risultato sempre estremamente basso, con piccole differenze dovute alla mancanza totale di vegetazione o alla presenza di terreni arati o vegetati. Questi dati indicano che la debole quantità di CO₂ emessa è di origine biologica legata alla cosiddetta respirazione del suolo e confermano la perfetta tenuta delle rocce impermeabili di copertura presenti sopra il serbatoio geotermico.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BARBERI F., CARAPEZZA M. L., RANALDI M., RICCI T., TARCHINI L. (2010) - *Carbon Dioxide Diffuse Soil Degassing: A Precious Tool For Identifying Productive Geothermal Reservoirs*. COV6 (Cities on Volcanoes 6) , Puerto de la Cruz, Tenerife (Canary Island, Spain), from May 31 to June 4, 2010.
- CARAPEZZA M.L., De Simone G., Gattuso A., Ranaldi M., Ricci T., Tarchini L., (2011) - *Studio del flusso diffuso di CO₂ e H₂S nell'area geotermica di Torre Alfina-Castel Giorgio (Lazio e Umbria)*. Rapporto finale della Convenzione di ricerca tra ITW & LKW Geotermia Italia e INGV.
- CARAPEZZA M.L., Gattuso A., Pagliuca N., Ranaldi M., Tarchini L., (2013) – *Seconda campagna di misura del flusso di CO₂ su aree target in prossimità dei pozzi A2, A4 e A14 – settembre 2013*. Rapporto scientifico INGV per ITW&LKW Geotermia Italia SpA.
- CARAPEZZA M.L., RANALDI M., GATTUSO A., PAGLIUCA N., TARCHINI L., (2014a)- *The sealing capacity of the cap rock above the Torre Alfina geothermal reservoir (Central Italy) revealed by soil CO₂ flux investigation*. J. Volcanol. Geotherm. Res. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2014.12.011.
- CARAPEZZA M.L., Gattuso A., Pagliuca N., Ranaldi M., Tarchini L., (2014b) – *Area geotermica di Castel Giorgio – Torre Alfina. Campagna di misura del flusso di CO₂ dal suolo – luglio 2014*- Rapporto scientifico INGV per ITW&LKW Geotermia Italia SpA.
- CATALDI R. & RENDINA M., (1973) - *Recent Discovery of a New Geothermal Field in Italy: Alfina*. Geothermics, 2, 2-4, 106-116.
- CHIODINI G., BALDINI A., BARBERI F., CARAPEZZA M. L., CARDELLINI C., FRONDINI F., GRANIERI D., AND RANALDI M., (2007) - *Carbon dioxide degassing at Latera caldera (Italy): Evidence of geothermal reservoir and evaluation of its potential Energy*. J. Geophys. Res., 112, B12204, doi:10.1029/2006JB004896.