



MONITORAGGIO EMISSIONI DIFFUSE DI BIOGAS ALL'INTERFACCIA SUOLO-ARIA

Polo Impiantistico di trattamento e Smaltimento Rifiuti di Monte Scarpino
(Genova) gestita da
AMIU Genova S.p.a

Agosto - Ottobre 2016

Codice commesse: c_16_0133_AMIU(Genova)_MAC	Cliente: AMIU Genova S.p.A.	Luogo: Genova Località: Monte Scarpino	
Oggetto: Monitoraggio delle emissioni diffuse di CO ₂ , CH ₄ e H ₂ S all'interfaccia suolo-aria dalla copertura della discarica di Monte Scarpino, gestita da AMIU S.p.a.			
Livello di riservatezza: <i>Company Confidential</i>			
Rev.	del	Redatto da	Approvato da:
00	7/12/2016	Ilaria Minardi	Giorgio Virgili
		 WEST SYSTEMS	

WEST Systems s.r.l.
www.westsystems.eu

sede legale ed amministrativa: Viale Donato Giannotti, 24 50126 Firenze
sede operativa: Via don Mazzolari, 25 56025 Pontedera (PI)
tel. +38 0587 483335

WEST SYSTEMS s.r.l.
Viale Donato Giannotti n° 24
50126 FIRENZE (FI)
Tel. 0587 483335 - Fax 055 6580564
P.IVA 01071300501

INDICE

1 Premessa.....	4
2 Lotto "Scarpino 1"	5
2.1 Misure di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S.....	5
2.2 Misure effettuate a settembre 2016.....	6
2.2.1 Stima del flusso di biogas emesso dal corpo discarica.	11
2.2.2 Carte di isoflusso	14
2.3 Misure effettuate a ottobre 2016.....	19
2.3.1 Stima del flusso di biogas emesso dal corpo discarica.	23
2.3.2 Carte di isoflusso	26
2.4 Stima del biogas totale Scarpino 1	30
3 Lotto "Scarpino 2"	31
3.1 Misura di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S.....	31
3.2 Misure effettuate ad Agosto 2016.....	31
3.2.1 Stima del flusso di biogas emesso dal corpo discarica.	36
3.2.2 Carte di isoflusso	39
3.3 Misure effettuate a settembre 2016.....	42
3.3.1 Stima del flusso di biogas emesso dal corpo discarica.	46
3.3.2 Carte di isoflusso	49
3.4 Stima del biogas totale Scarpino 2	53
4 Conclusioni	54
5 Indice delle Figure	55
6 Indice delle Tabelle	58
Appendice 1: Metodi utilizzati per la determinazione dei flussi di biogas.....	60
Appendice 2: Metodologie statistiche e geostatistiche utilizzate	64
Appendice 3: Misure di flusso	66
Appendice 4: Considerazioni sull'influenza dei dati meteo	85
Bibliografia	88

EVIDENZA DELLE REVISIONI

Rev.	del	Oggetto
00	7/12/2016	Prima Emissione

1 Premessa

Amiu Genova Spa ha incaricato West Systems Srl di eseguire un monitoraggio delle emissioni diffuse all'interfaccia aria-suolo presso la discarica di Monte Scarpino nel Comune di Genova.

Questo rapporto presenta le attività svolte nella campagna di monitoraggio flussi eseguita a Agosto, Settembre e Ottobre 2016 e realizzata tramite l'esecuzione di misure puntuali dirette del flusso all'interfaccia suolo-atmosfera di CH₄, CO₂ e H₂S in ciascuno dei due lotti dell'impianto, Scarpino1 e Scarpino 2, per un totale di **724 misure** sull'intero impianto. Le indagini sono state condotte utilizzando il metodo della camera di accumulo. All'interno del report vengono illustrati i risultati ottenuti dall'elaborazione delle misure eseguite su ciascun lotto. Per una descrizione della strumentazione utilizzata e degli aspetti teorici relativi al metodo della camera di accumulo si rimanda all'Appendice 1.

L'elaborazione geostatistica dei dati, basata sul metodo del kriging (Krige 1951; Matheron, 1962; 1965; 1969; 1970) ha permesso di determinare la distribuzione spaziale delle emissioni di biogas attraverso la costruzione di mappe di isoflusso, mentre le tecniche della statistica mineraria, cioè la procedura di Sinclair e l'estimatore t-Sichel (Sinclair, 1974; 1991, Sichel, 1966) hanno permesso di stimare il flusso totale di biogas diffuso attraverso la copertura dell'impianto. In questo modo è stato possibile individuare le aree di degassamento anomalo presenti sulla copertura. La descrizione dettagliata delle metodologie utilizzate è riportata in Appendice 2.

Di seguito saranno descritte le attività eseguite e i risultati conseguiti per ciascun lotto indagato.

2 Lotto "Scarpino 1"

2.1 Misure di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S

Nella giornata del 20 settembre e del 5 ottobre 2016 sono state effettuate 296 misure di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S sulla superficie del lotto denominato "Scarpino 1" coprendo un'area totale pari a circa 167.000 m². È stata realizzata una maglia di campionamento di dimensioni medie pari a circa 25 x 25 m, l'ubicazione dei punti di misura è riportata in Figura 2.1.

Come specificato sopra il monitoraggio del Lotto Scarpino 1 è stato effettuato nel mese di settembre ed ottobre 2016, entrambi le campagne sono state effettuate nel minor tempo possibile e durante l'esecuzione delle misure sono stati controllati i parametri meteorologici in quanto l'emissione di gas dal suolo è influenzata dalle condizioni atmosferiche oltre che dalle proprietà della copertura. Per verificare gli effetti delle variazioni meteorologiche sono state ripetute alcune misure sui medesimi punti di controllo. Poiché tali ripetizioni hanno mostrato valori sovrapponibili, si può ritenere che, almeno nei siti di controllo, le oscillazioni dei parametri meteo non abbiano comportato variazioni significative del flusso emesso.



Figura 2.1 Ubicazione delle misure di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S eseguite a settembre e ottobre 2016 nel lotto Scarpino 1 della discarica di Monte Scarpino.

Di seguito il trattamento statistico e geostatistico dei dati, il calcolo dell'emissione di biogas e la mappa di isoconcentrazione sarà effettuato separatamente per l'area monitorata a settembre ed a ottobre e, a conclusione del paragrafo, sarà riportata la stima totale di biogas emesse dall'intero lotto, data dalla somma delle emissioni delle due zone.

2.2 Misure effettuate a settembre 2016

In Tabella 2.1 sono mostrati i principali parametri statistici relativi ai valori ottenuti, mentre i dati grezzi sono riportati in Appendice 3. Si precisa che con <d.l. si indicano tutti i valori registrati inferiori al limite di rilevabilità strumentale (d.l.): $\text{CO}_2 \approx 0.002$ mol/m²-giorno; $\text{CH}_4 \approx 0.0005$ mol/m²-giorno.

Per la trattazione statistica che segue i valori indicati come <d.l. saranno elaborati ponendoli pari a 1/2 d.l., quindi equivalenti a 0.001, 0.00025 e 0.000005 mol/m²-giorno rispettivamente per biossido di carbonio, metano e acido solfidrico e corrispondenti a 10 misure per la CO_2 , 101 misure per il CH_4 e 158 misure H_2S su un totale di 195 misure effettuate sull'area.

Tabella 2.1. Scarpino 1 (Settembre 2016). Parametri statistici relativi alle misure di flusso di CO_2 , CH_4 e H_2S Dati in mol/m² giorno

	N. validi	Media	Mediana	Minimo	Massimo	Dev.Std.	Asimmetria
Flusso CH_4	195	0.021	2.50E-04	2.50E-04	1.347	0.130	83.140
Flusso CO_2	195	0.298	6.89E-02	1.00E-03	18.855	1.380	170.597
Flusso H_2S	195	0.000	5.00E-06	5.00E-06	0.001	0.000	16.844
Biogas	195	0.319	7.39E-02	1.26E-03	19.974	1.469	167.508

In Tabella 2.2 - Tabella 2.5 sono riportate le tabelle di frequenza relative alle misure di flusso di CO_2 , CH_4 e H_2S . In particolare si osserva che per quanto concerne il biossido di carbonio circa il 90% delle misure risultano inferiori a 0.7 mol/m² giorno, mentre per il metano oltre il 97% sono inferiori a 0.1 mol/m² giorno. Relativamente al metano lo zoom in Tabella 2.4 mostra che un elevato numero di misure ricade nell'intervallo [0.0, 0.04] mol/m² giorno, ovvero l'95% delle misure effettuate. Infine, per quanto concerne l'acido solfidrico (Tabella 2.5), si osserva che oltre l'80% delle misure sono inferiori al d.l., mentre il restante 20% appartiene all'intervallo $[0.35 \cdot 10^{-4} - 0.87 \cdot 10^{-3}]$ mol/m² giorno.

Tabella 2.2 Scarpino 1 (Settembre 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CO_2 . Categorie in mol/m² giorno.

CO_2 [mol/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
x<d.l.	10	10	5.1	5.1
d.l.<x<=.674	164	174	84.1	89.2
.674<x<=2.021	19	193	9.7	99.0
2.021<x<=3.367	1	194	0.5	99.5
3.367<x<=4.714	0	194	0.0	99.5
4.714<x<=6.061	0	194	0.0	99.5
6.061<x<=7.407	0	194	0.0	99.5
7.407<x<=8.754	0	194	0.0	99.5
8.754<x<=10.101	0	194	0.0	99.5
10.101<x<=11.447	0	194	0.0	99.5
11.447<x<=12.794	0	194	0.0	99.5
12.794<x<=14.141	0	194	0.0	99.5
14.141<x<=15.487	0	194	0.0	99.5

CO ₂ [moli/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
15.487<x<=16.834	0	194	0.0	99.5
16.834<x<=18.181	0	194	0.0	99.5
18.181<x<=19.527	1	195	0.5	100.0

Tabella 2.3 Scarpino 1 (Settembre 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CH₄. Categorie in moli/m² giorno.

CH ₄ [moli/m ² giorno]	Conteggio	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
x < d.l	101	101	51.8	51.8
d.l<x<=.048	85	186	43.6	95.4
.048<x<=.144	4	190	2.0	97.4
.144<x<=.240	2	192	1.0	98.4
.240<x<=.337	0	192	0.0	98.4
.337<x<=.433	1	193	0.5	99.0
.433<x<=.529	0	193	0.0	99.0
.529<x<=.625	0	193	0.0	99.0
.625<x<=.721	0	193	0.0	99.0
.721<x<=.818	0	193	0.0	99.0
.818<x<=.914	0	193	0.0	99.0
.914<x<=1.010	0	193	0.0	99.0
1.010<x<=1.106	0	193	0.0	99.0
1.106<x<=1.203	1	194	0.5	99.5
1.203<x<=1.299	0	194	0.0	99.5
1.299<x<=1.395	1	195	0.5	100.0

Tabella 2.4 Scarpino 1 (Settembre 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CH₄. Categorie in moli/m² giorno.

CH ₄ [moli/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
x<d.l	101	101	54.3	54.3
d.l<x<=.001	33	134	17.7	72.0
.001<x<=.004	27	161	14.5	86.6
.004<x<=.007	10	171	5.4	91.9
.007<x<=.010	5	176	2.7	94.6
.010<x<=.013	4	180	2.2	96.8
.013<x<=.016	1	181	0.5	97.3
.016<x<=.019	2	183	1.1	98.4
.019<x<=.022	0	183	0.0	98.4

CH ₄ [moli/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
.022<x<=.024	0	183	0.0	98.4
.024<x<=.027	1	184	0.5	98.9
.027<x<=.030	0	184	0.0	98.9
.030<x<=.033	1	185	0.5	99.5
.033<x<=.036	0	185	0.0	99.5
.036<x<=.039	0	185	0.0	99.5
.039<x<=.042	1	186	0.5	100.0

Tabella 2.5 Scarpino 1 (Settembre 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di H₂S. Categorie in moli/m² giorno.

H ₂ S [moli/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
x<d.l	158	158	81.0	81.0
.35E-4<x<=.95E-4	0	158	0.0	81.0
.95E-4<x<=.15E-3	14	172	7.2	88.2
.15E-3<x<=.21E-3	10	182	5.1	93.3
.21E-3<x<=.27E-3	3	185	1.5	94.9
.27E-3<x<=.33E-3	2	187	1.0	95.9
.33E-3<x<=.39E-3	3	190	1.5	97.4
.39E-3<x<=.45E-3	3	193	1.5	99.0
.45E-3<x<=.51E-3	0	193	0.0	99.0
.51E-3<x<=.57E-3	0	193	0.0	99.0
.57E-3<x<=.63E-3	0	193	0.0	99.0
.63E-3<x<=.69E-3	1	194	0.5	99.5
.69E-3<x<=.75E-3	0	194	0.0	99.5
.75E-3<x<=.81E-3	0	194	0.0	99.5
.81E-3<x<=.87E-3	1	195	0.5	100.0

In Figura 2.2 sono riportati gli istogrammi relativi ai valori di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S; le distribuzioni nei tre casi sembrano per quanto concerne la CO₂ logaritmica, negli altri casi polimodali. Vengono quindi riportati in Figura 2.3 gli istogrammi relativi ai valori log-trasformati. Si osserva che nel caso dell'anidride carbonica la distribuzione può essere assimilabile ad una normale, quindi ciò conferma la lognormalità dei valori non trasformati mentre per metano ed acido solfidrico le distribuzioni risultano entrambe probabilmente polimodali.

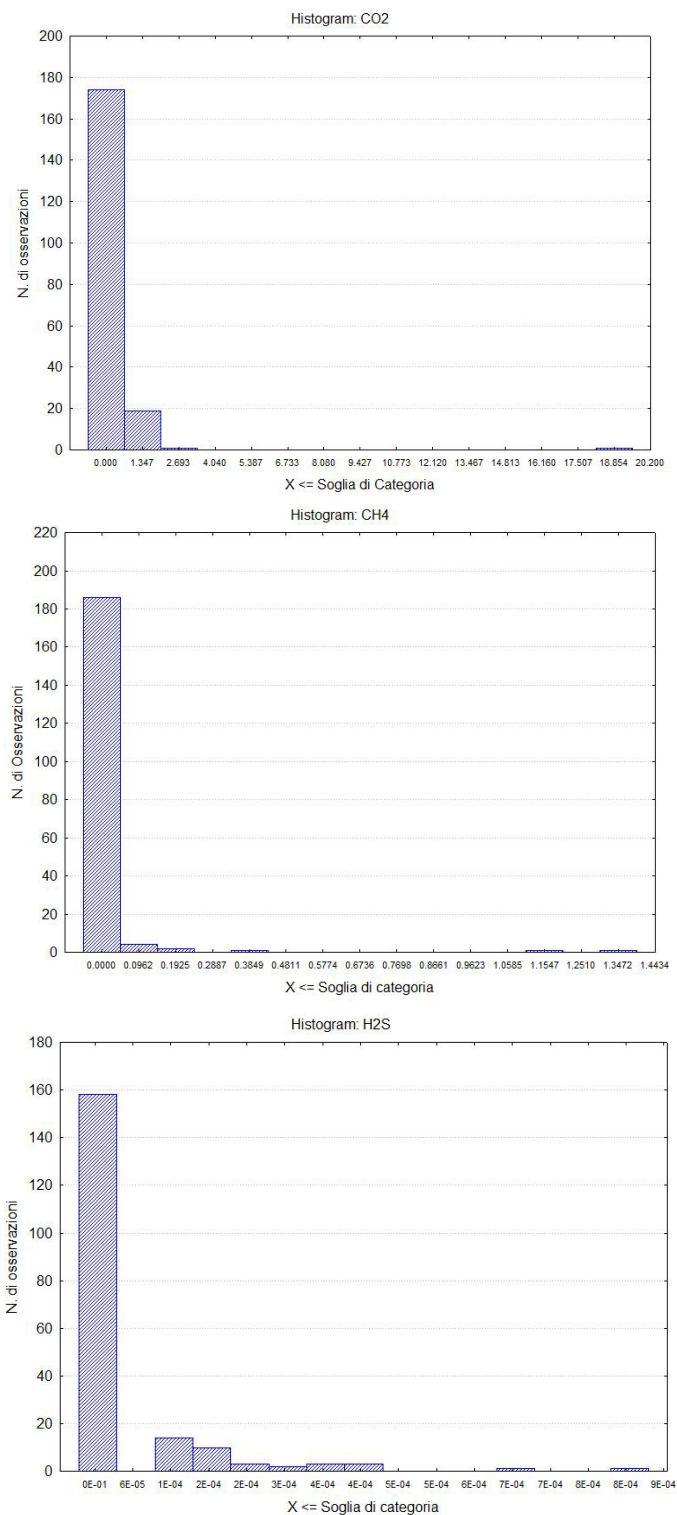


Figura 2.2 Scarpino 1 (Settembre 2016).Istogramma del flusso di CO₂ (alto a sinistra), CH₄ (alto a destra), e H₂S (basso).

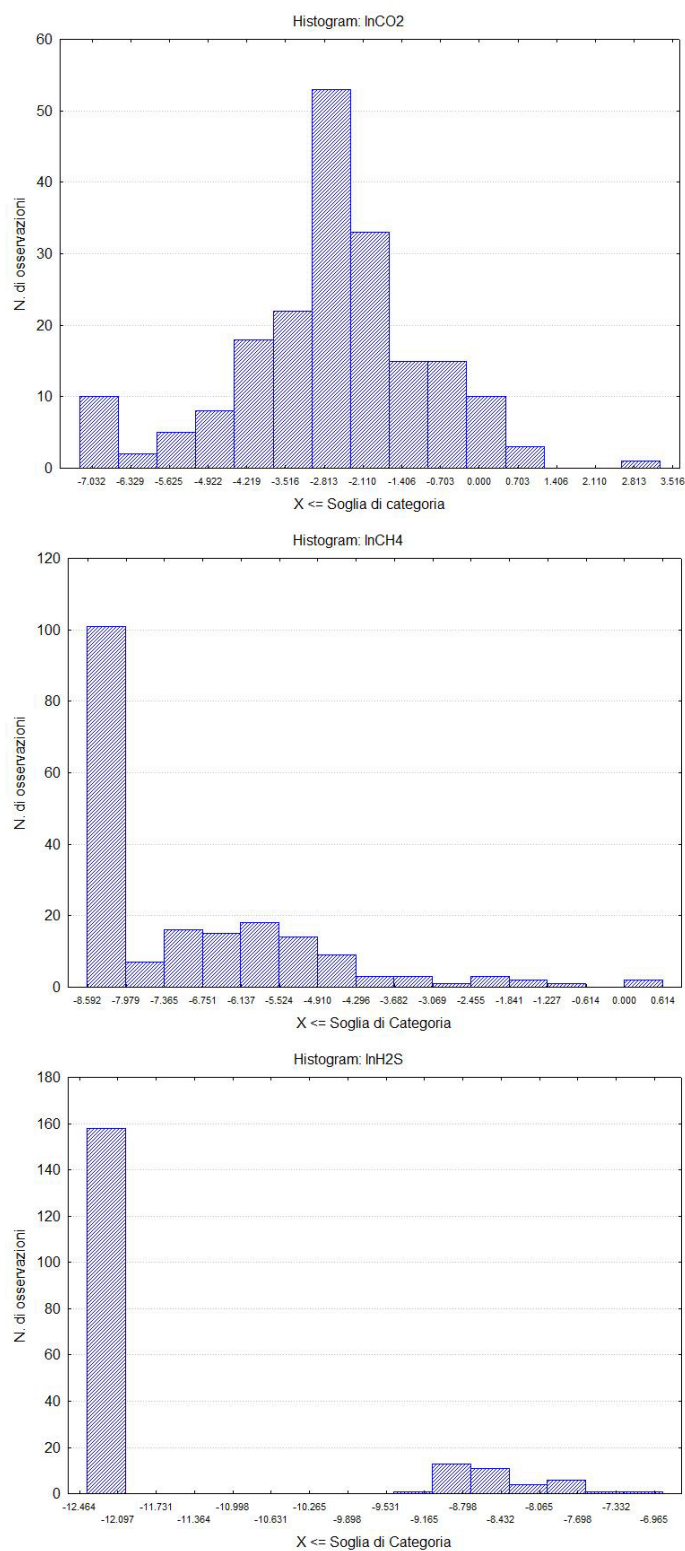


Figura 2.3 Scarpino 1 (Settembre 2016). Istogramma del logaritmo del flusso di CO₂ (alto a sinistra), CH₄ (alto a destra), e H₂S (basso).

2.2.1 Stima del flusso di biogas emesso dal corpo discarica.

L'elaborazione statistica ha lo scopo di valutare la quantità totale di biogas emesso. Prima di effettuare il calcolo, è opportuno verificare l'eventuale presenza di valori *outliers* e quindi discriminare le popolazioni che caratterizzano il set di dati. Il calcolo del valore *outlier* eseguito sull'intero campione di dati ha senso, infatti, solo se si è in presenza di un'unica popolazione. Nel caso in cui il data set sia rappresentativo di popolazioni diverse, i valori *outliers* devono essere determinati prendendo in considerazione solo la popolazione caratterizzata dai valori più elevati. Le metodologie per procedere a questo tipo di analisi possono essere diversi, ciascuno più o meno idoneo a seconda delle caratteristiche dell'insieme di dati da analizzare. Nel caso presente, è stato scelto di procedere attraverso la costruzione delle curve di probabilità cumulata per riconoscere le possibili famiglie che costituiscono il data set secondo la tecnica del *partitioning* indicata da Sinclair (Sinclair 1974, 1991) che, ad ogni punto di flesso della curva, associa il passaggio tra due popolazioni statistiche. In Figura 2.4, Figura 2.5 e Figura 2.6 sono riportate le curve relative ai flussi di CO₂, CH₄ e H₂S che individuano la presenza di due famiglie statistiche per CO₂, CH₄ e H₂S.

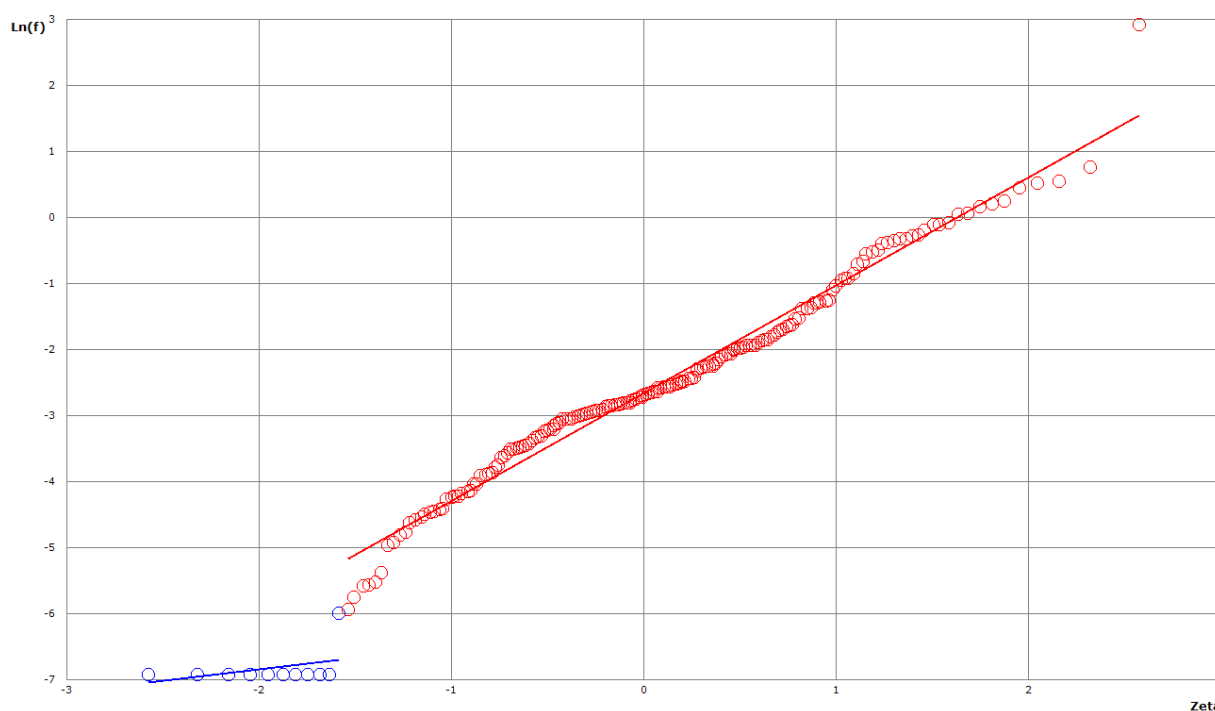


Figura 2.4 Scarpino 1 (Settembre 2016). Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flusso CO₂

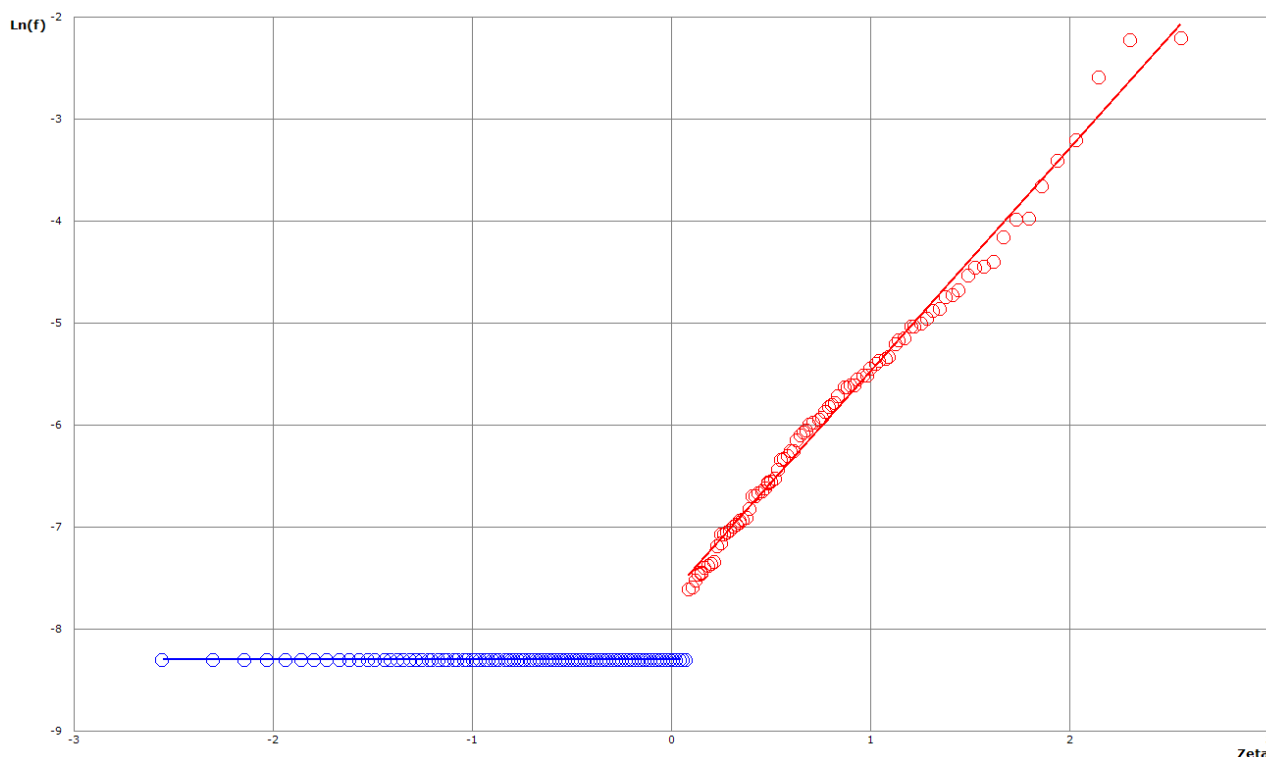


Figura 2.5 Scarpino 1 (Settembre 2016).Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flusso CH₄

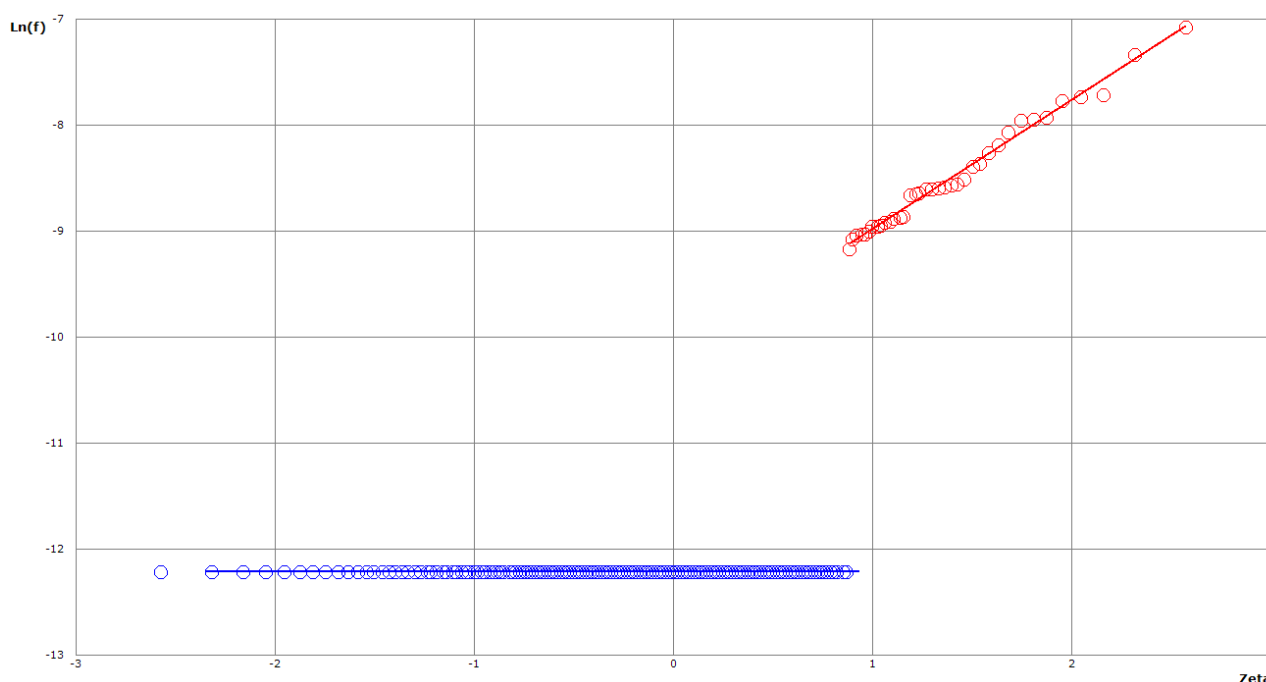


Figura 2.6 Scarpino 1 (Settembre 2016).Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flusso H₂S.

Di seguito sono stati costruiti i diagrammi box-plot (Figura 2.7) sui valori logaritmici così da identificare la possibile presenza di *outlier* nelle famiglie statistiche di valori più elevati. In tutti e tre i casi i box-plot mostrano la presenza di alcun outlier. In particolare per il metano risultano 6 outlier (#124, #77, #32, #21, #33, #36), per la CO₂ risultano 3 misure (#79, #140, #14) mentre per l'H₂S 1

misura (#148). I valori identificati come outliers sono stati esclusi dalla stima dell'emissione totale di biogas.

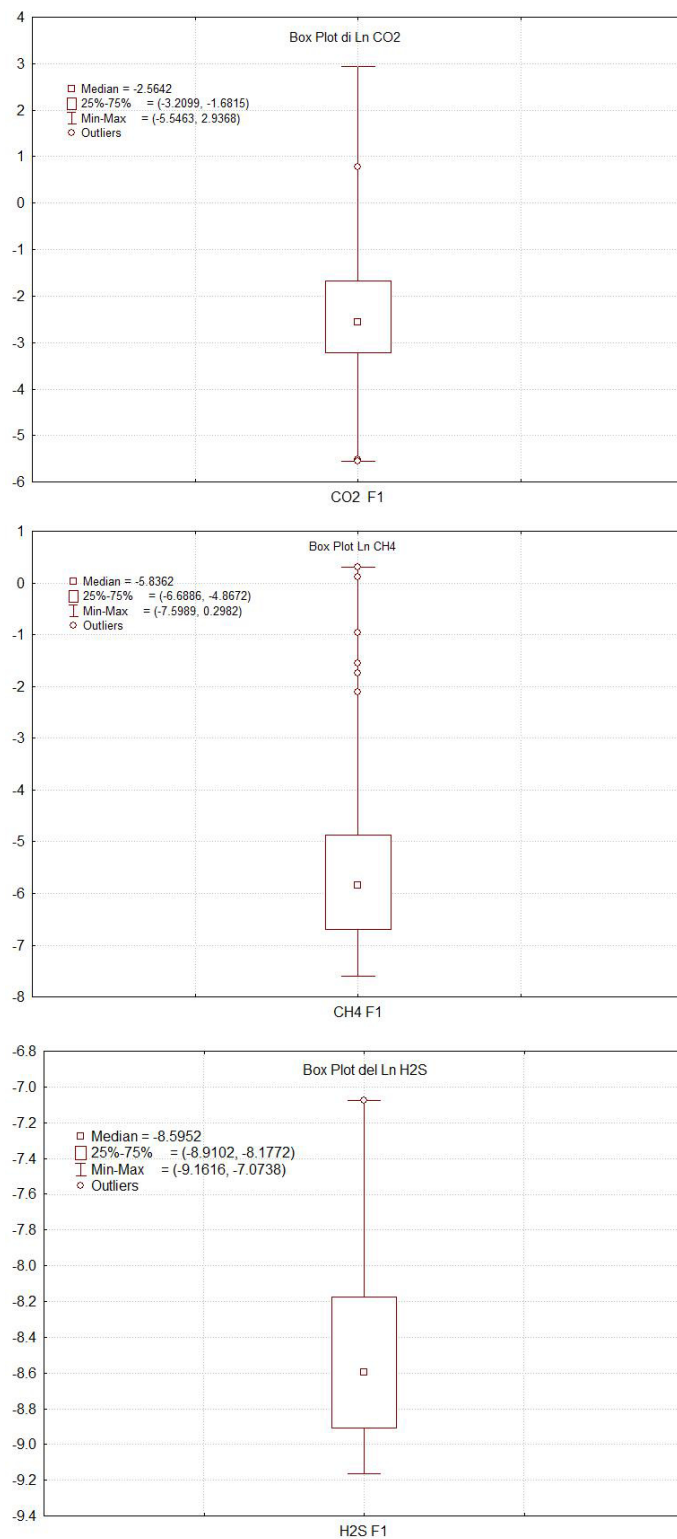


Figura 2.7 Scarpino 1 (Settembre 2016).Box Plot dei dati di flusso di CO₂ (alto a sinistra), CH₄ (alto a destra), e H₂S (basso) relativi alla famiglia statistica a valori più elevati

Sulla base delle famiglie riconosciute, seguendo la procedura della statistica presentata da Sinclair (Sinclair 1974; 1991) e utilizzando i coefficienti di Sichel (1966), sono stati individuati i parametri statistici delle diverse popolazioni e determinate le emissioni in atmosfera corrispondenti con i relativi intervalli di confidenza al 95% (Tabella 2.10)

Tabella 2.6 Scarpino 1 (Settembre 2016).Caratteristiche statistiche delle famiglie individuate

	Misure	Media	Varianza	Sichel-V	Flusso (Nm³/h)	Limiti al 95% di confidenza (Nm³/h)	
LnFlusso CO ₂							
1	181	-2.39	1.82	2.47	23.39	32.59	18.09
2	11	-6.82	0.08	1.04	0.01	0.01	0.01
Tot CO ₂					23.40	32.59	18.10
LnFlusso CH ₄							
1	88	-5.82	1.55	2.15	0.31	0.44	0.24
2	101	-8.29	0	1	0.01	0.01	0.01
Tot CO ₂					0.32	0.45	0.25
LnFlusso H ₂ S							
1	36	-8.49	0.27	1.14	4.58E-03	5.83E-03	4.17E-03
2	158	-12.21	0	1	4.17E-04	4.17E-04	4.17E-04
Tot CH ₄					5.00E-03	6.25E-03	4.58E-03
Flusso totale					23.72	33.05	18.35

In Tabella 2.6 si osserva che il flusso totale di biogas (CO₂+CH₄+H₂S.) emesso dall'intera area indagata è pari a circa 24 Nm³/h con i limiti di confidenza al 95% rispettivamente di 18 e 32 Nm³/h. All'emissione complessiva di biogas il metano contribuisce per l'1.3 %, di fatto l'emissione risulta quasi completamente costituita da CO₂, con un rapporto CH₄/CO₂ pari a 0.013 ed un'emissione per unità di superficie di 0.2 lt/hr m² di biogas, tali valori sono caratteristici da discarica in fase post operativa avanzata.

2.2.2 Carte di isoflusso

La differenza fondamentale tra l'approccio statistico ed il geostatistico consiste nel supporre che esista una correlazione spaziale fra i campioni e che le relazioni possano essere espresse in termini di distanze relative fra i punti anziché in funzione delle loro posizioni assolute.

Il semivariogramma (Figura 2.8) è il metodo grafico più utilizzato in geostatistica per descrivere la correlazione spaziale delle variabili e consiste in una funzione che interpola le semivarianze dei valori osservati in gruppi di coppie di punti a determinate distanze.

L'equazione della semivarianza è:

$$\gamma(h) = \frac{\sum_{i,j} (z(x_i) - z(x_j))^2}{2n(h)}$$

in cui z è il valore di una misura in un particolare punto, h è la distanza tra i punti e n è il numero delle coppie di punti distanti h .

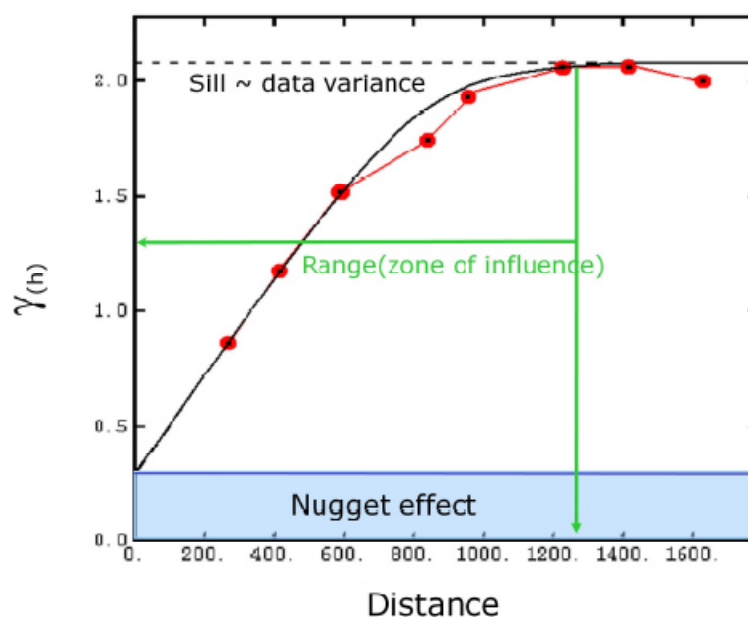


Figura 2.8. Caratteristiche del semivariogramma e parametri che lo definiscono. I punti rossi rappresentano il semivariogramma sperimentale, la linea continua nera raffigura il modello matematico.

La velocità con cui cresce la semivarianza riflette il grado di diversità all'aumentare della distanza tra i campioni. La semivarianza può aumentare all'infinito se la variabilità del fenomeno non ha limiti; al contrario, se il variogramma raggiunge un valore limite, chiamato *sill*, significa che esiste una distanza (*range*) oltre la quale $Z(x)$ e $Z(x+h)$ non sono più correlati. Si parla invece di effetto *nugget* quando per h (distanza tra le coppie di punti) che tende a zero, $\gamma(h)$ tende ad un valore diverso da zero (Chiles e Delfiner, 1999). Ciò significa che per quanto piccola sia la distanza considerata tra due campioni ($h \rightarrow 0$) o, al limite, misurando 2 volte lo stesso campione ($h=0$), si riscontra comunque una differenza tra i valori misurati. Pertanto, se un semivariogramma è caratterizzato dal *sill* e dall'effetto *nugget*, significa che una certa percentuale di variazione nei valori dei campioni è random, non prevedibile e costante (Clark, 1979).

Al fine di tracciare le curve di iso-valore, la geostatistica offre tecniche di interpolazione spaziale che, in funzione del miglior modello che interpola il semivariogramma sperimentale, forniscono delle stime sul valore assunto dalla variabile regionalizzata in punti non campionati in base a dati rilevati su punti vicini. Il metodo più utilizzato è il kriging, elaborato da George Matheron agli inizi degli anni sessanta (Matheron, 1962; 1965; 1969; 1970) su un'idea di Krige (1951), ampiamente sviluppato dai ricercatori del centro di geostatistica dell'Ecole des Mines di Fontainebleau (Chauvet, 1982; Chauvet, 1991; Chauvet, 1993; Chauvet e Galli, 1982; Armstrong, 1984a; Armstrong 1984b; Wackernagel, 1995), e presentato da molti autori (Clark, 1979; David, 1977; Davis, 1986). Il kriging consente anche di stimare la precisione (varianza della stima) nei siti dove non sono state effettuate le misure sperimentali.

Nella presente analisi geostatistica, l'analisi variografica è stata realizzata prendendo in considerazione il flusso totale di biogas ($\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{S}$). Pertanto, per procedere alla realizzazione delle carte è stato costruito il semivariogramma sperimentale partendo dai dati di flusso di biogas totale. Il secondo passo è stato quello di definire il modello matematico che meglio ricostruisce l'andamento del variogramma sperimentale.

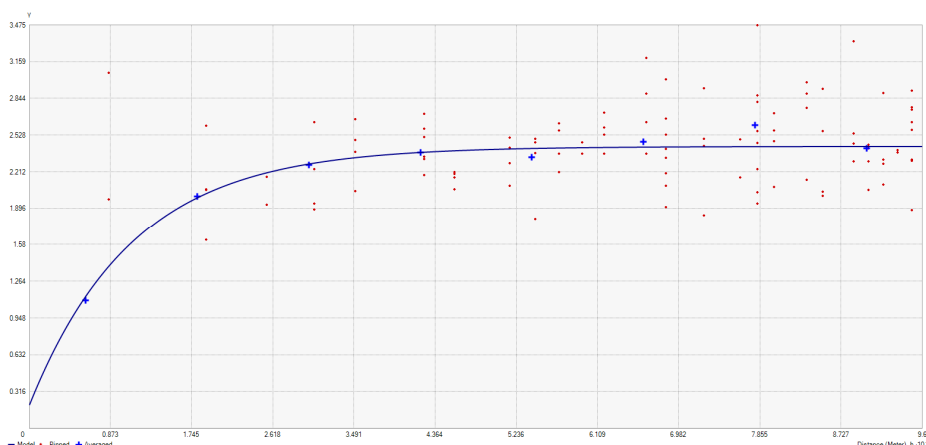


Figura 2.9 Scarpino 1 (Settembre 2016). Semivariogramma sperimentale del flusso totale di biogas (crocette blu) e modello matematico scelto (linea continua nera).

In Figura 2.9 vengono quindi mostrati contestualmente il semivariogramma sperimentale (Lag size 12, Numero di Lags 8) del logaritmo del flusso di biogas ed il modello matematico scelto. In particolare, nel presente caso il modello che rappresenta l'andamento della varianza all'aumentare della distanza tra le coppie di punti è dato dalla combinazione di una componente esponenziale (range=33.5m, partial sill=2.23) e di un effetto nugget di 0.2.

Per convalidare il modello scelto è stata utilizzata la tecnica della Cross Validation. La tecnica, come descritto nel paragrafo precedente, consiste nell'eliminare iterativamente ciascuna delle misure e nel ricalcolarne il valore sulla base dei parametri del modello, così da evidenziare i dati non riproducibili in modo affidabile dal modello scelto.

In Figura 2.10, Figura 2.11 e Figura 2.12 sono riportati i risultati della Cross Validation in forma grafica. Si osserva che per un punto di misura i dati calcolati differiscono di oltre 2.5σ .

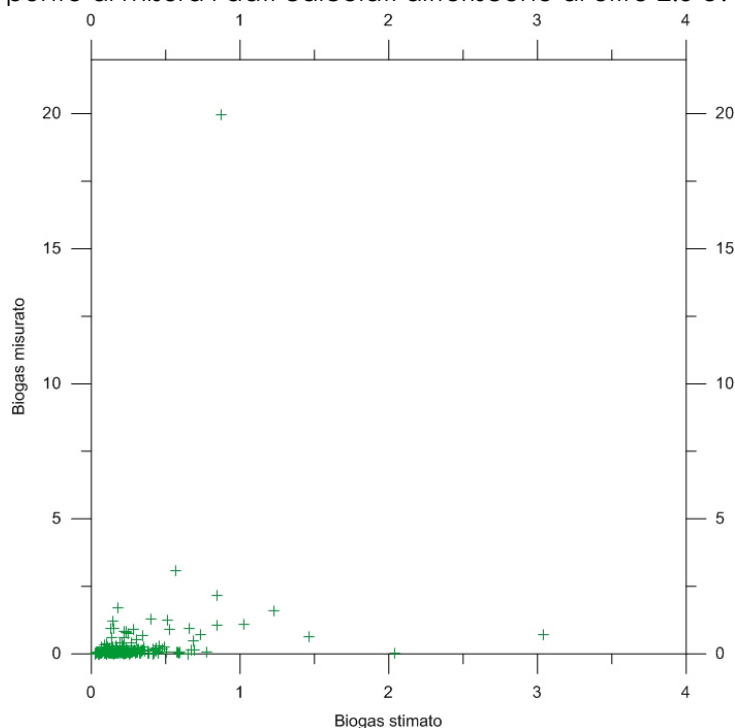


Figura 2.10 Scarpino 1 (Settembre 2016). Cross Validation: scatterplot del logaritmo naturale del biogas misurato vs il logaritmo naturale del biogas stimato.

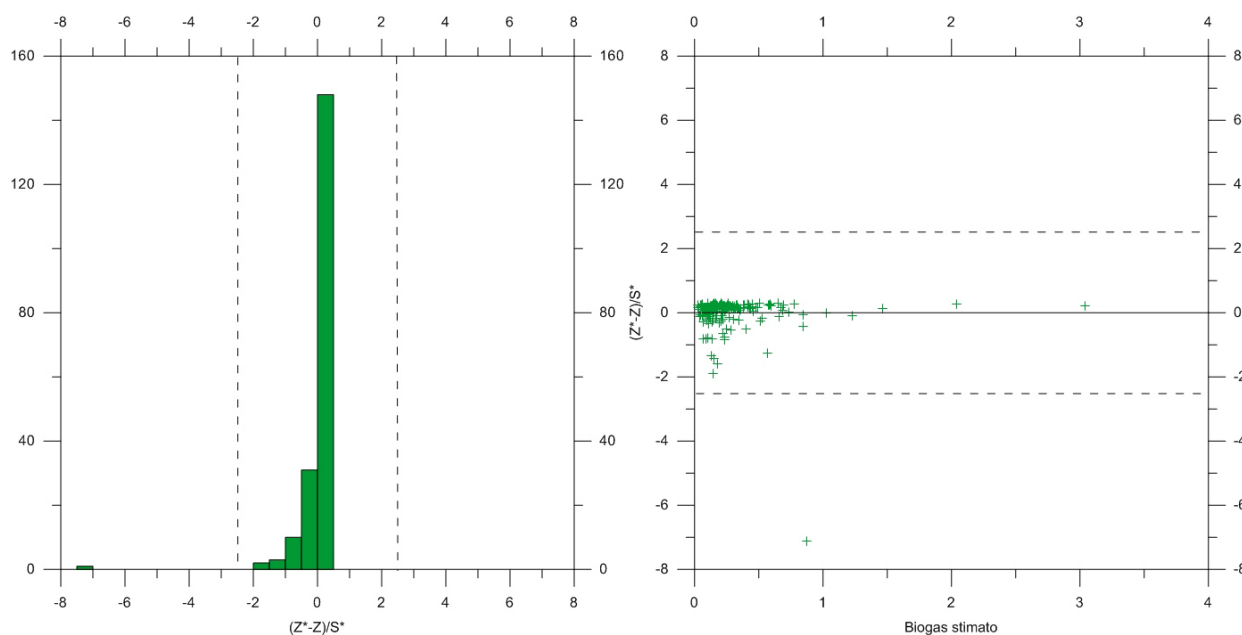


Figura 2.11 Scarpino 1 (Settembre 2016).Cross Validation: Istogramma relativo all'errore standard (sinistra), logaritmo del biogas stimato dal modello vs errore standard.



Figura 2.12 Scarpino 1 (Settembre 2016).Mappa dei punti delle misure di flusso: i punti in azzurro rappresentano le misure che il modello matematico scelto riproduce con un errore $> 2.5\sigma$.

Mediante il metodo dell'Ordinary Kriging applicato ai dati di flusso di biogas ($\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{S}$), metodo che si avvale dei parametri ottenuti dal semivariogramma per l'interpolazione, è stata costruita la mappa di isoflusso mostrata in Figura 2.13.

Dalla mappa di isoflusso si osserva che, ad eccezione di alcune aree ben delimitate, i flussi di biogas sono sostanzialmente contenuti con valori generalmente inferiori a 1.6 mol/m² giorno. Infine in Figura 2.14 è riportata la mappa dell'errore effettuato sulla stima.

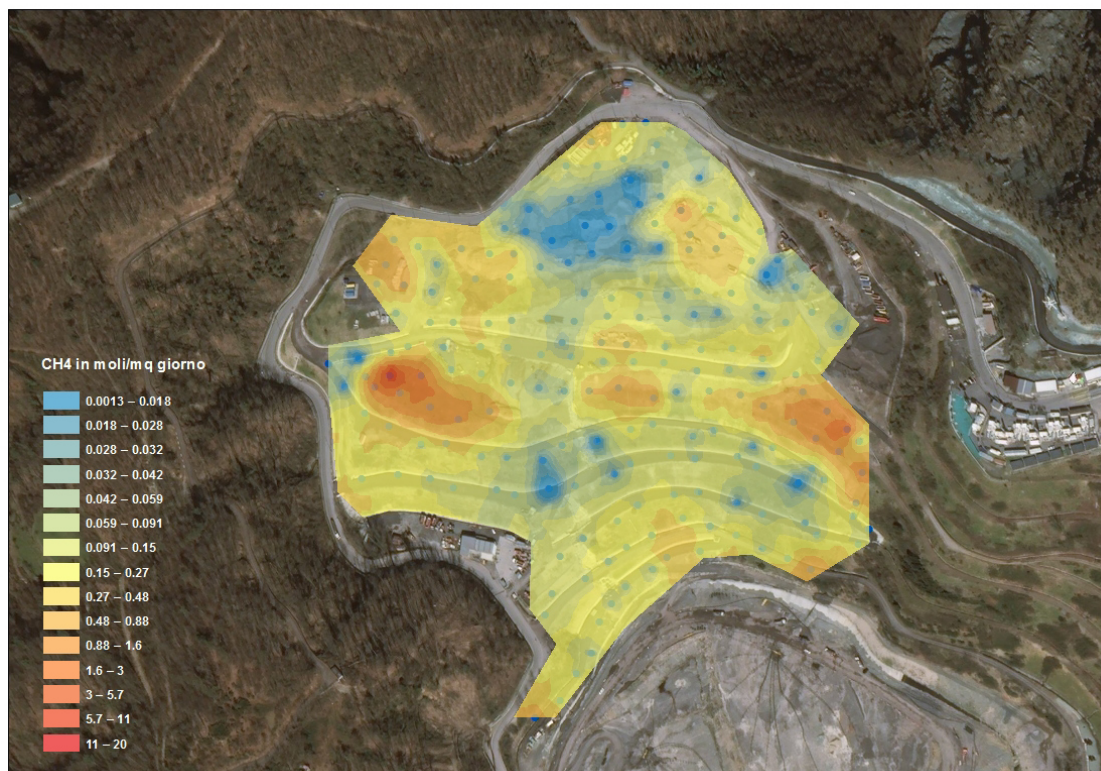


Figura 2.13 Scarpino 1 (Settembre 2016).Mappa di isoflusso del biogas diffuso dalla copertura.



Figura 2.14 Scarpino 1 (Settembre 2016).Mappa della deviazione standard sulla stima

2.3 Misure effettuate a ottobre 2016

In Tabella 2.7 sono mostrati i principali parametri statistici relativi ai valori ottenuti, mentre i dati grezzi sono riportati in Appendice 3. Si precisa nuovamente che all'interno del presente report con <d.l. si indicano tutti i valori registrati inferiori al limite di rilevabilità strumentale (d.l.): $\text{CO}_2 \approx 0.002$ moli/m²-giorno; $\text{CH}_4 \approx 0.0005$ moli/m²-giorno.

Anche in questo caso per la trattazione statistica che segue i valori indicati come <d.l. saranno elaborati ponendoli pari a ½ d.l., quindi equivalenti a 0.001, 0.00025 e 0.000005 moli/m²-giorno rispettivamente per biossido di carbonio, metano e acido solfidrico e corrispondenti a 52 misure per il CH_4 e 70 misure H_2S su un totale di 101 misure.

Tabella 2.7. Scarpino 1 (Ottobre 2016). Parametri statistici relativi alle misure di flusso di CO_2 , CH_4 e H_2S Dati in moli/m² giorno

	N. validi	Media	Mediana	Minimo	Massimo	Dev.Std.	Asimmetria
Flusso CH_4	101	0.025	2.50E-04	2.50E-04	1.283	0.144	62.789
Flusso CO_2	101	0.000	5.00E-06	5.00E-06	0.000	0.000	2.507
Flusso H_2S	101	0.227	1.16E-01	6.36E-03	5.590	0.581	74.602
Biogas	101	0.253	1.18E-01	6.64E-03	6.874	0.717	74.674

Di seguito sono riportate le tabelle di frequenza relative alle misure di flusso di CO_2 , CH_4 e H_2S . In particolare si osserva che per quanto concerne il biossido di carbonio il 96% delle misure risultano inferiori a 0.6 moli/m² giorno, mentre per il metano oltre il 96% sono inferiori a 0.04 moli/m² giorno. Infine, per quanto concerne l'acido solfidrico (Tabella 2.10), si osserva che oltre l'80% delle misure $0.7 \cdot 10^{-4}$ moli/m² giorno.

Tabella 2.8 Scarpino 1 (Ottobre 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CO_2 . Categorie in moli/m² giorno.

CO_2 [moli/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
d.l.<x<=.205	73	73	72.3	72.3
.205<x<=.604	24	97	23.8	96.0
.604<x<=1.003	1	98	1.0	97.0
1.003<x<=1.402	1	99	1.0	98.0
1.402<x<=1.801	1	100	1.0	99.0
1.801<x<=2.2001	0	100	0.0	99.0
2.2001<x<=2.5989	0	100	0.0	99.0
2.598<x<=2.997	0	100	0.0	99.0
2.997<x<=3.3966	0	100	0.0	99.0
3.3966<x<=3.7955	0	100	0.0	99.0
3.7955<x<=4.1944	0	100	0.0	99.0
4.1944<x<=4.5932	0	100	0.0	99.0
4.5932<x<=4.9921	0	100	0.0	99.0
4.9921<x<=5.3910	0	100	0.0	99.0
5.3910<x<=5.7898	1	101	1.0	100.0

Tabella 2.9 Scarpino 1 (Ottobre 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CH₄. Categorie in mol/m² giorno.

CH ₄ [mol/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
x<d.l	52	52	51.5	51.5
d.l<x<=.046	45	97	44.6	96.0
.046<x<=.137	1	98	1.0	97.0
.137<x<=.229	0	98	0.0	97.0
.229<x<=.321	1	99	1.0	98.0
.321<x<=.412	0	99	0.0	98.0
.412<x<=.504	0	99	0.0	98.0
.504<x<=.595	0	99	0.0	98.0
.595<x<=.687	1	100	1.0	99.0
.687<x<=.779	0	100	0.0	99.0
.779<x<=.870	0	100	0.0	99.0
.870<x<=.962	0	100	0.0	99.0
.962<x<=1.054	0	100	0.0	99.0
1.054<x<=1.145	0	100	0.0	99.0
1.145<x<=1.237	0	100	0.0	99.0
1.237<x<=1.329	1	101	1.0	100.0

Tabella 2.10 Scarpino 1 (Ottobre 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di H₂S. Categorie in mol/m² giorno.

H ₂ S [mol/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
d.l<x<=.12E-4	70	70	68.6	68.6
.12E-4<x<=.27E-4	4	74	3.9	72.5
.27E-4<x<=.42E-4	3	77	2.9	75.5
.42E-4<x<=.57E-4	3	80	2.9	78.4
.57E-4<x<=.71E-4	2	82	2.0	80.4
.71E-4<x<=.86E-4	3	85	2.9	83.3
.86E-4<x<=.10E-3	5	90	4.9	88.2
.10E-3<x<=.11E-3	1	91	1.0	89.2
.11E-3<x<=.13E-3	0	91	0.0	89.2
.13E-3<x<=.14E-3	3	94	2.9	92.2
.14E-3<x<=.16E-3	2	96	2.0	94.1
.16E-3<x<=.17E-3	2	98	2.0	96.1
.17E-3<x<=.19E-3	2	100	2.0	98.0
.19E-3<x<=.20E-3	0	100	0.0	98.0

H ₂ S [moli/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
.20E-3<x<=.22E-3	1	101	1.0	99.0

In Figura 2.15 sono riportati gli istogrammi relativi ai valori di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S mentre in Figura 2.16 gli istogrammi relativi ai valori log-trasformati. Dall'analisi degli istogrammi si osserva una distribuzione polimodale per CO₂ e CH₄,logaritmica per l' H₂S.

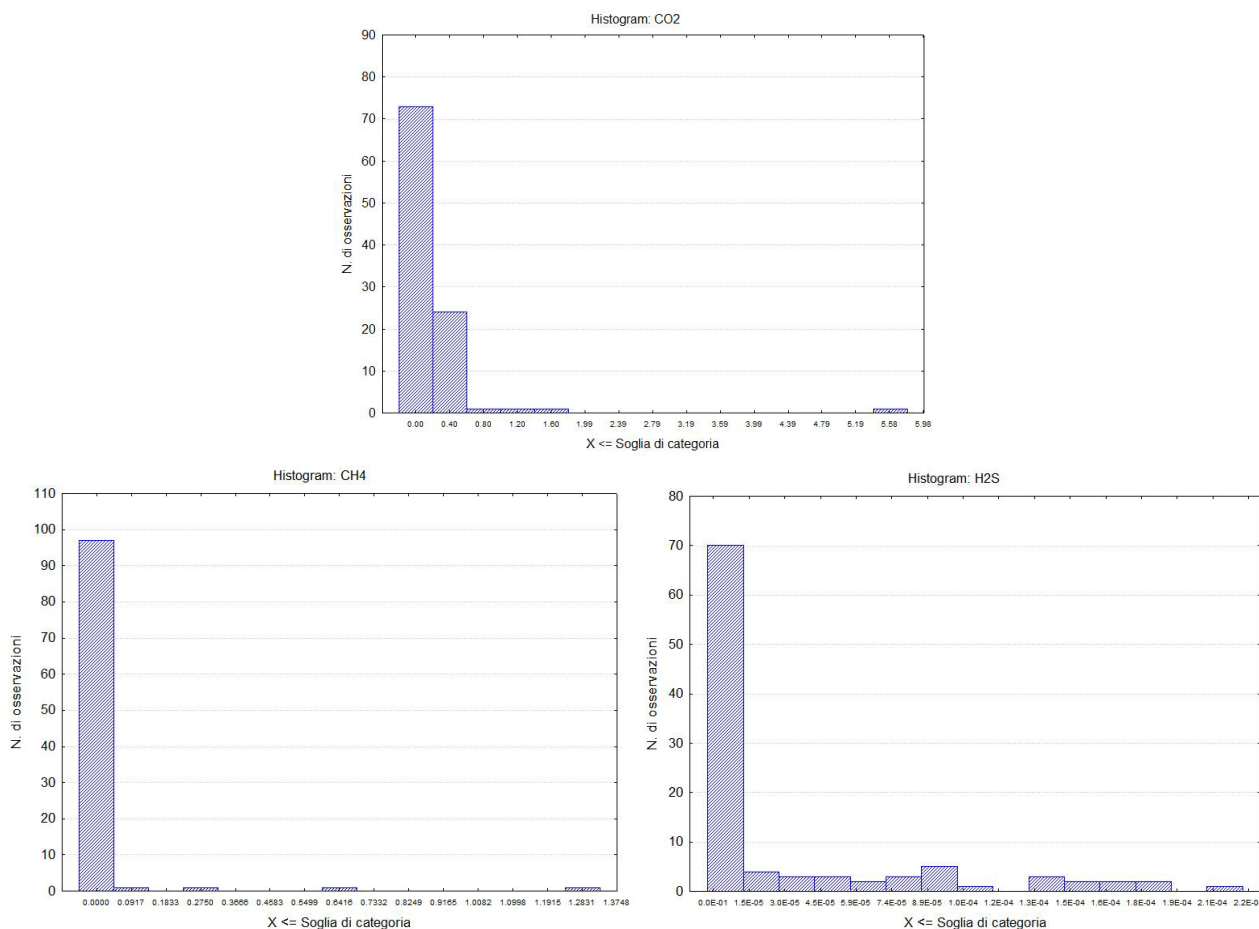


Figura 2.15 Scarpino 1 (Ottobre 2016).Istogramma del flusso di CO₂ (alto a sinistra), CH₄ (alto a destra), e H₂S (basso).

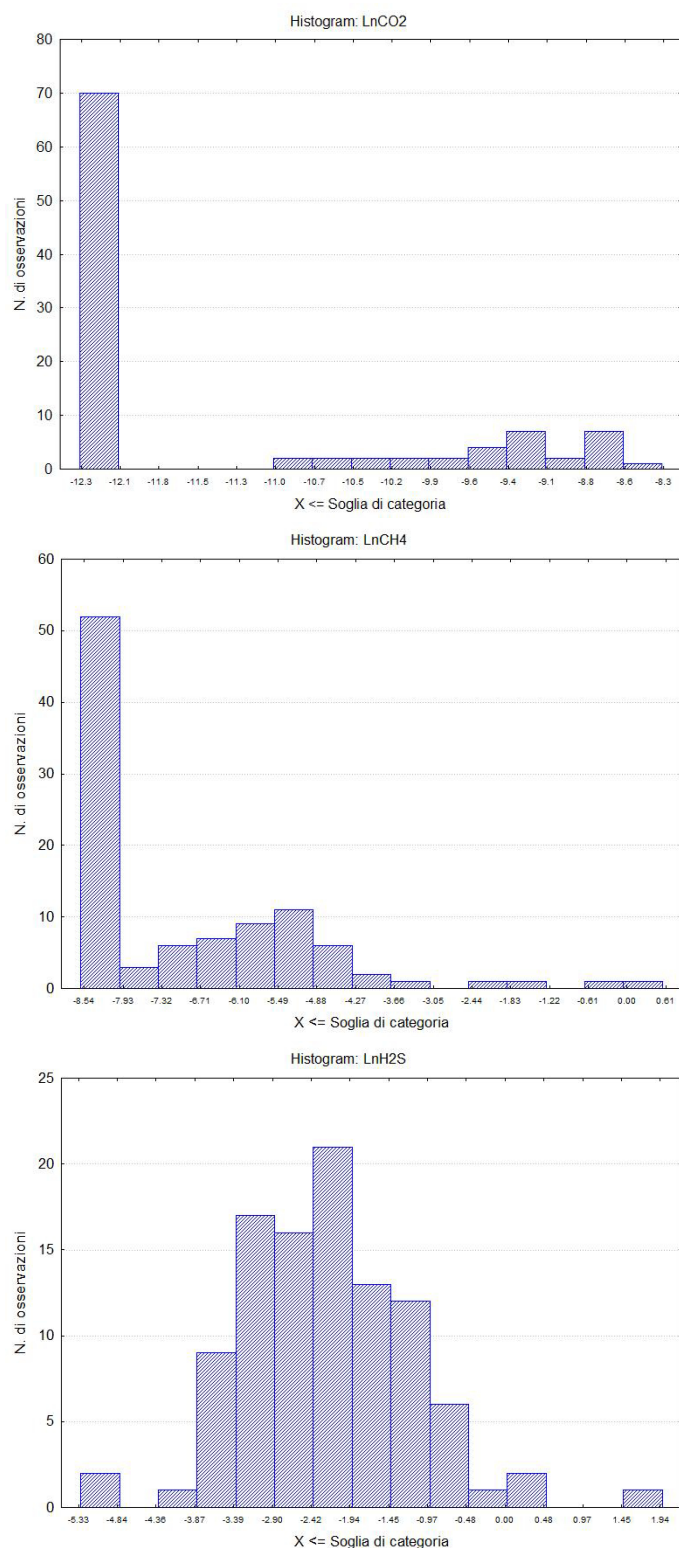


Figura 2.16 Scarpino 1 (Ottobre 2016). Istogramma del logaritmo del flusso di CO₂ (alto a sinistra), CH₄ (alto a destra), e H₂S (basso).

2.3.1 Stima del flusso di biogas emesso dal corpo discarica.

In Figura 2.17, Figura 2.18 e Figura 2.19 sono riportate le curve relative ai flussi di CO₂, CH₄ e H₂S che individuano la presenza di una famiglia statistica per la CO₂ e di due famiglie per il CH₄ e H₂S. Si fa notare che per quanto riguarda questi ultimi due gas la famiglia 3 – famiglia a basso flusso – è costituita dalle misure inferiori al d.l.

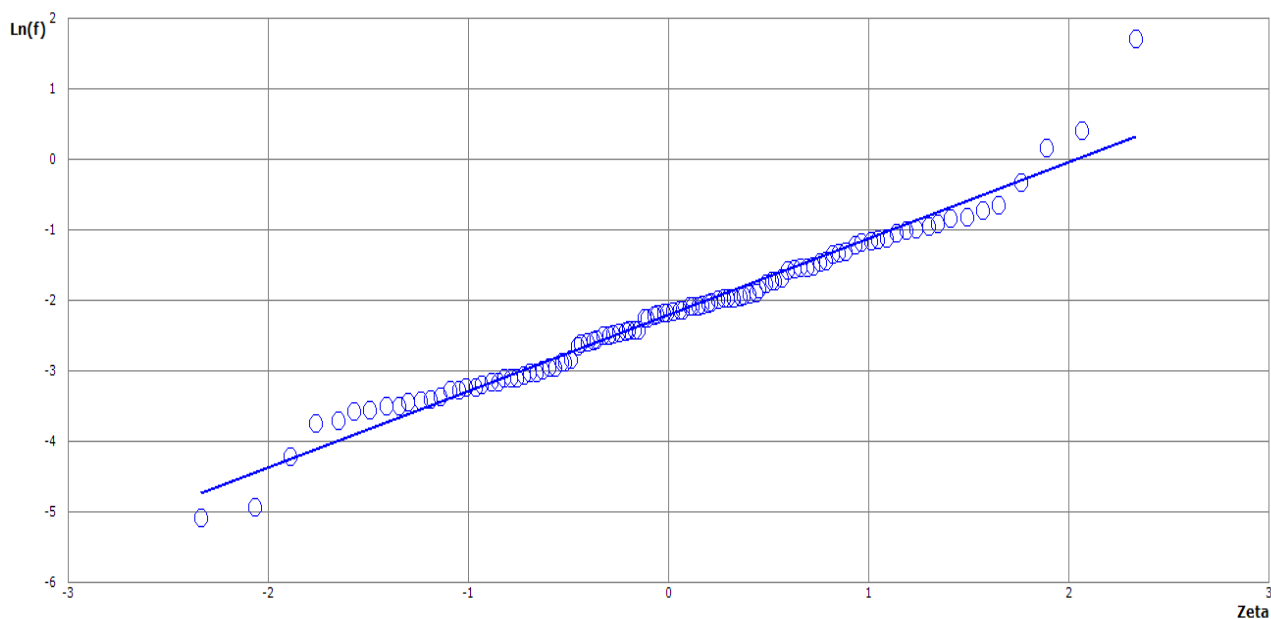


Figura 2.17 Scarpino 1 (Ottobre 2016).Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flussoCO₂

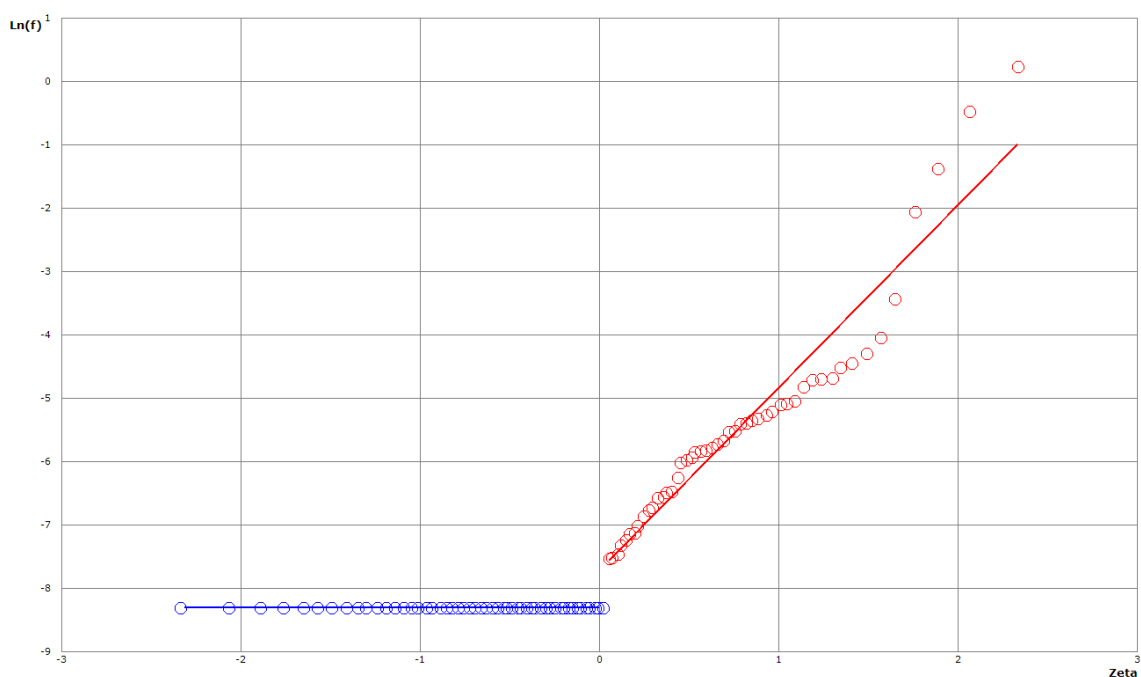


Figura 2.18 Scarpino 1 (Ottobre 2016).Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flussoCH₄

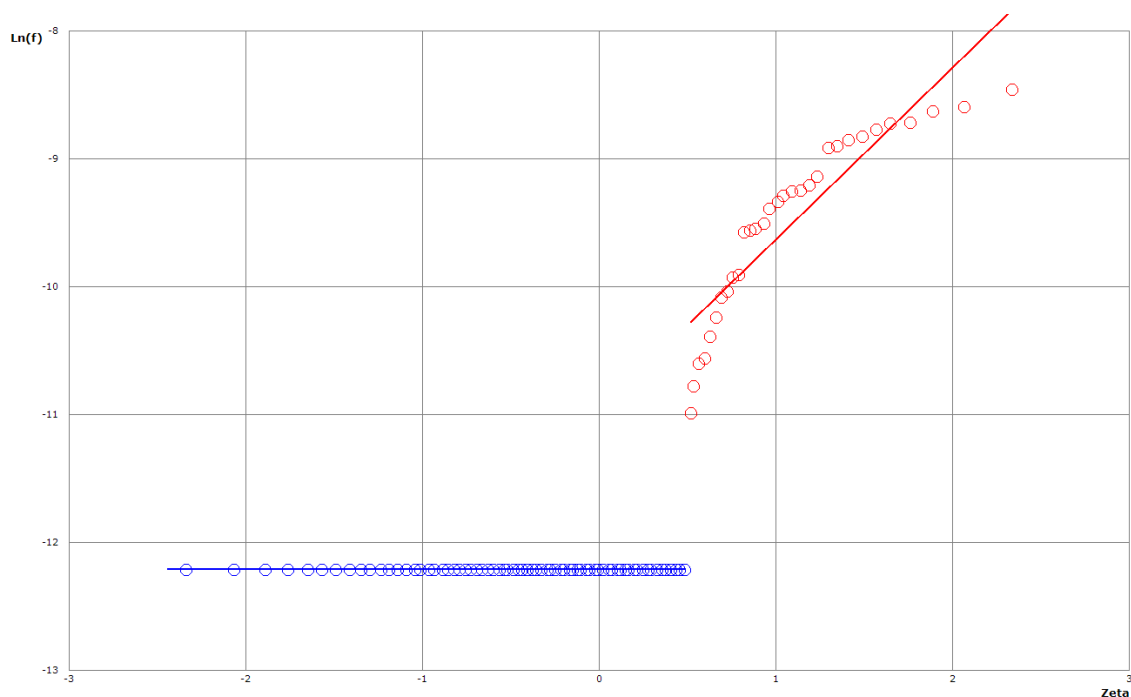
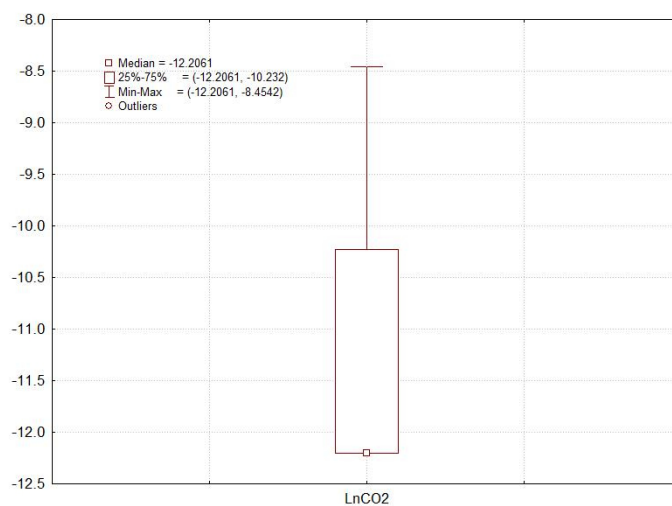


Figura 2.19 Scarpino 1 (Ottobre 2016). Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flusso H₂S.

Di seguito sono stati pertanto costruiti i diagrammi box-plot) costruiti sui valori logaritmici così da identificare la possibile presenza di *outlier*, dove si evidenzia nessun outlier per la CO₂, tre per il metano (#98, #5, #80 e #61) ed uno per l'H₂S (#33).



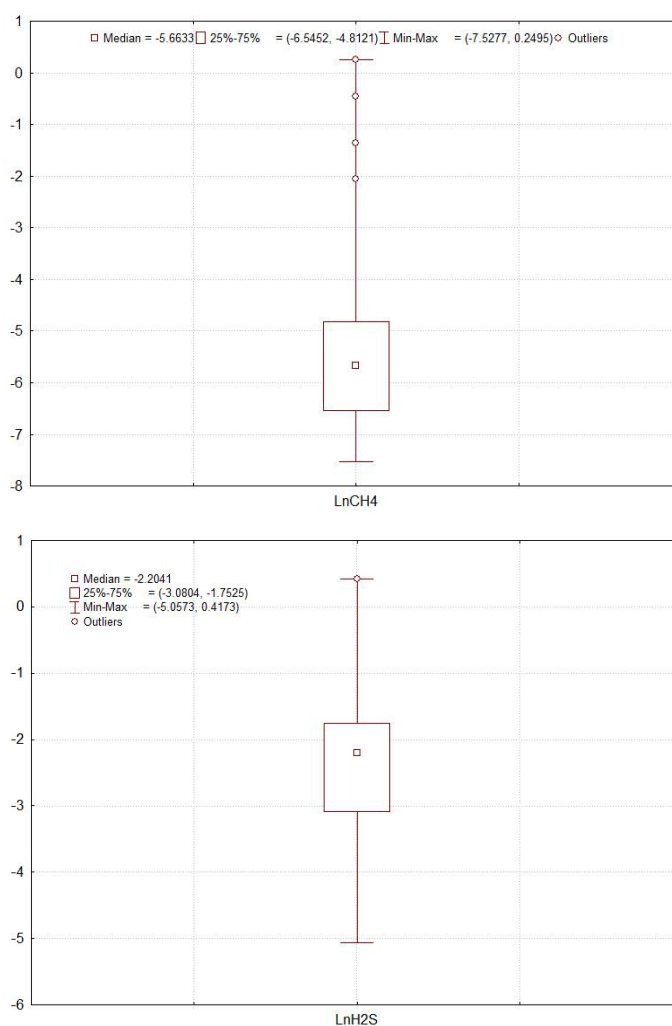


Figura 2.20 Scarpino 1 (Ottobre 2016).Box Plot dei dati di flusso di CO_2 (alto a sinistra), CH_4 (alto a destra), e H_2S (basso) relativi alla famiglia statistica a valori più elevati

Sulla base delle famiglie riconosciute, ed eliminando i valori outliers, seguendo la procedura della statistica presentata da Sinclair (Sinclair 1974; 1991) e utilizzando i coefficienti di Sichel (1966), sono stati individuati i parametri statistici delle diverse popolazioni e determinate le emissioni in atmosfera corrispondenti con i relativi intervalli di confidenza al 95% (Tabella 2.11). Si ricorda che tale trattamento sarà effettuato per tutte le aree investigate della discarica.

Tabella 2.11 Scarpino 1 (Ottobre 2016).Caratteristiche statistiche delle famiglie individuate

	Misure	Media	Varianza	Sichel-V	Flusso (Nm³/h)	Limiti al 95% di confidenza (Nm³/h)	
LnFlusso CO₂							
1	101	-2.19	1.13	1.75	9.87	12.63	8.09
Tot CO₂					9.87	12.63	8.09
LnFlusso CH₄							
1	45	-5.8	1.04	1.67	0.12	0.18	0.09
2	52	-8.29	0	1	0.01	0.01	0.01
Tot CO₂					0.12	0.18	0.10
LnFlusso H₂S							
1	30	-9.48	0.5	1.28	1.67E-03	2.08E-03	1.25E-03

	Misure	Media	Varianza	Sichel-V	Flusso (Nm ³ /h)	Limiti al 95% di confidenza (Nm ³ /h)	
2	70	-12.21	0	1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Tot CH ₄					1.67E-03	2.08E-03	1.25E-03
Flusso totale					9.87	12.63	8.09

Si osserva che il flusso totale di biogas (CO₂+CH₄+H₂S.) emesso è pari a circa 10 Nm³/h con i limiti di confidenza al 95% rispettivamente di 8 e 12 Nm³/h. Come per l'area monitorata a settembre all'emissione complessiva metano contribuisce per l'1.2% e il loro rapporto (CH₄/CO₂) risulta essere pari a 0.01, assolutamente confrontabile con le misure di settembre. L'emissione per unità di superficie risulta essere 0.2 lt/h.

2.3.2 Carte di isoflusso

Nella presente analisi geostatistica, l'analisi variografica è stata realizzata prendendo in considerazione il flusso totale di biogas (CO₂+CH₄+H₂S). Pertanto, per procedere alla realizzazione delle carte è stato costruito il semivariogramma sperimentale partendo dai dati di flusso di biogas totale. Il secondo passo è stato quello di definire il modello matematico che meglio ricostruisce l'andamento del variogramma sperimentale.

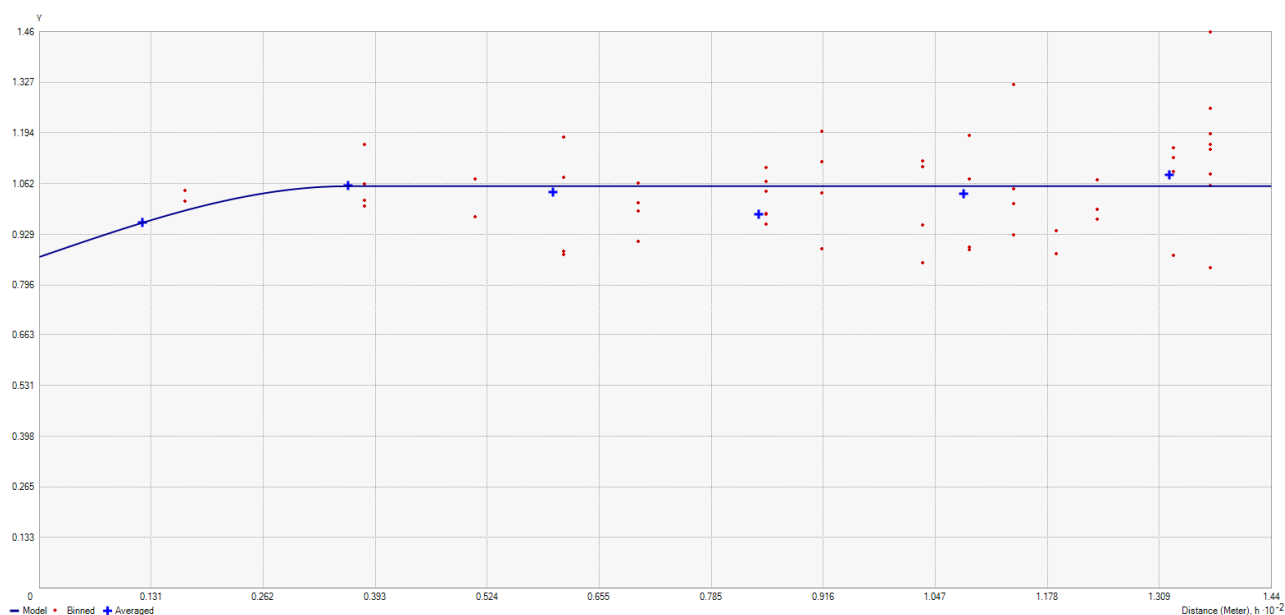


Figura 2.21 Scarpino 1 (Ottobre 2016). Semivariogramma sperimentale del flusso totale di biogas (crocette blu) e modello matematico scelto (linea continua nera).

In Figura 2.21 vengono quindi mostrati contestualmente il semivariogramma sperimentale (Lag 24, N. di Lags 6) del logaritmo del flusso di biogas ed il modello matematico scelto. In particolare, nel presente caso il modello che rappresenta l'andamento della varianza all'aumentare della distanza tra le coppie di punti è dato dalla combinazione di una componente sferica (range=36 m, partial sill=0.185) e di un effetto nugget di 0.87.

Anche in questo caso per convalidare il modello scelto è stata utilizzata la tecnica della Cross Validation. In Figura 2.22 - Figura 2.24 sono riportati i risultati della Cross Validation in forma grafica. Si osserva che per quattro punti di misura i dati calcolati differiscono di oltre 2.5 σ .

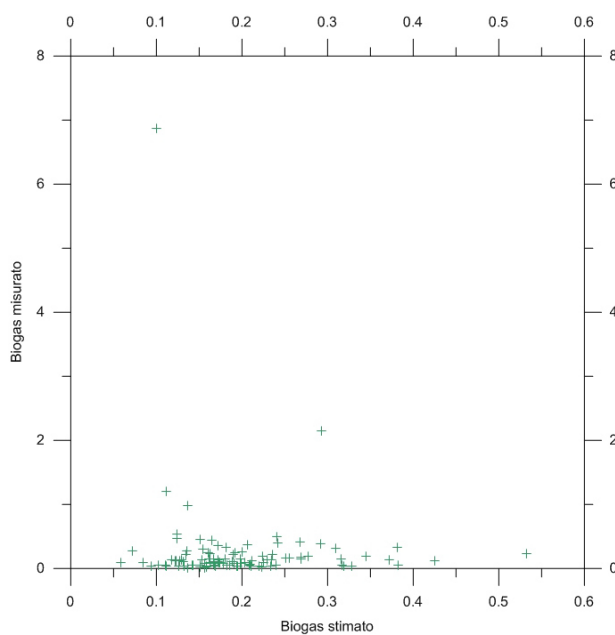


Figura 2.22 Scarpino 1 (Ottobre 2016). Cross Validation: scatterplot del logaritmo naturale del biogas misurato vs il logaritmo naturale del biogas stimato.

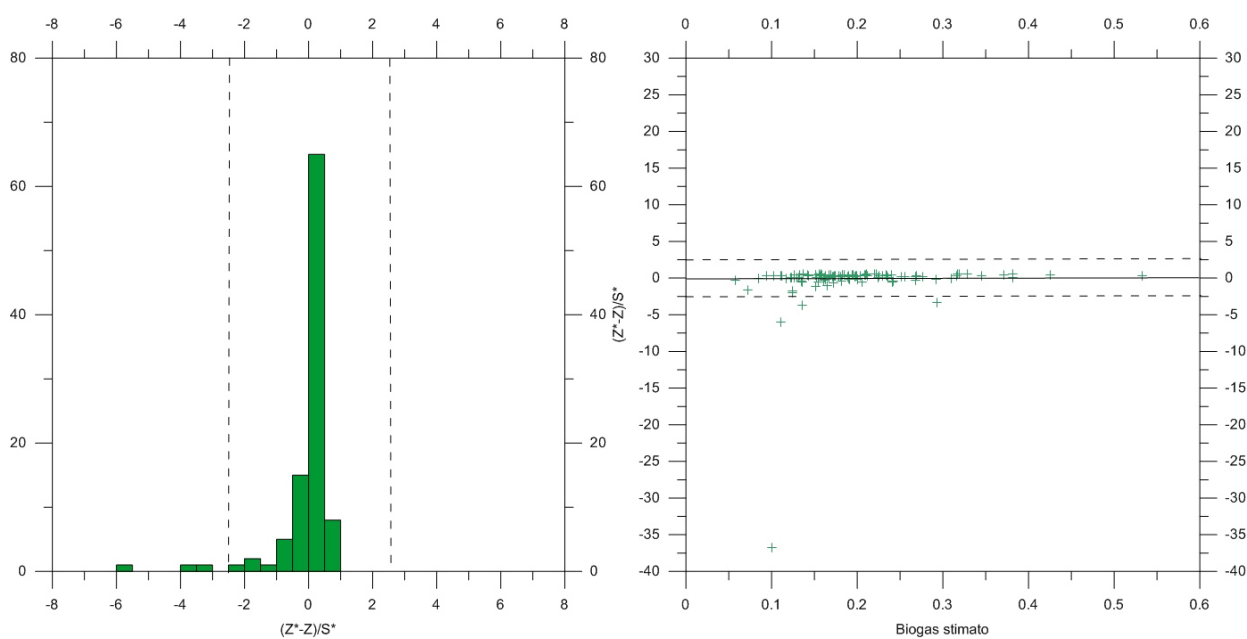


Figura 2.23 Scarpino 1 (Ottobre). Cross Validation: Istogramma relativo all'errore standard (sinistra), logaritmo del biogas stimato dal modello vs errore standard.



Figura 2.24 Scarpino 1 (Ottobre 2016). Mappa dei punti delle misure di flusso: i punti in azzurro rappresentano le misure che il modello matematico scelto riproduce con un errore $> 2.5\sigma$.

Mediante il metodo dell'Ordinary Kriging applicato ai dati di flusso di biogas ($\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{S}$), metodo che si avvale dei parametri ottenuti dal semivariogramma per l'interpolazione, è stata costruita la mappa di isoflusso mostrata in Figura 2.25 e dell'errore standard in Figura 2.26. Dalla mappa di isoflusso si osserva che i flussi di biogas sono sostanzialmente contenuti con valori generalmente inferiori a $0.6 \text{ mol/m}^2 \text{ giorno}$.

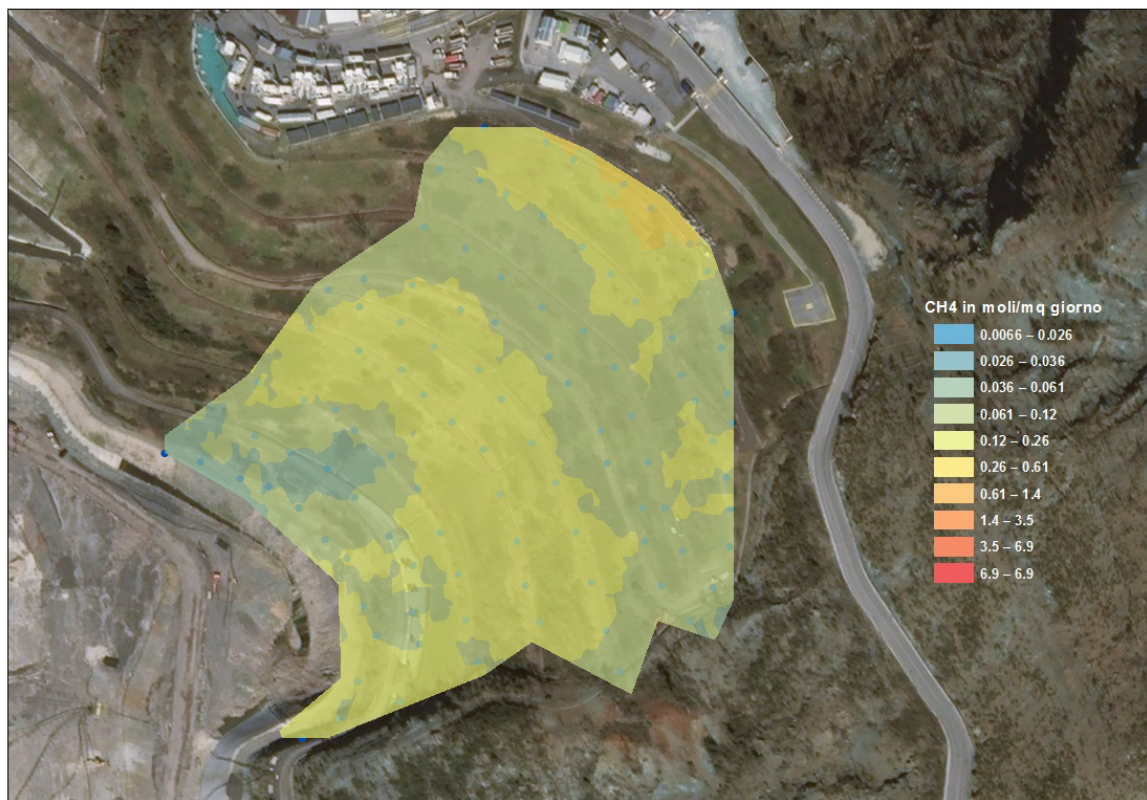


Figura 2.25 Scarpino 1 (Ottobre 2016). Mappa di isoflusso del biogas diffuso dalla copertura.



Figura 2.26 Scarpino 1 (Ottobre 2016). Mappa della deviazione standard sulla stima.

2.4 Stima del biogas totale Scarpino 1

Il trattamento statistico e geostatistico è stato effettuato separatamente per le due aree di Scarpino 1, monitorate rispettivamente a settembre ed ottobre 2016. Pertanto sono state stimate le emissioni totali da ciascuna area e di seguito se ne riporta la somma, rappresentativa delle emissioni totali dall'intero lotto "Scarpino 1". In questo modo l'emissione totale di biogas risulta essere 33.72 Nm³/hr.

	Flusso (Nm ³ /h)	Limiti al 95% di confidenza (Nm ³ /h)	
Settembre	23.40	32.59	18.10
Ottobre	9.87	12.63	8.09
Tot CO2	33.26	45.22	26.19
Settembre	0.32	0.45	0.25
Ottobre	0.12	0.18	0.10
Tot CH4	0.45	0.63	0.35
Settembre	5.00E-03	6.25E-03	4.58E-03
Ottobre	1.67E-03	2.08E-03	1.25E-03
Totale H2S	0.01	0.01	0.01
Flusso Totale	33.72	45.86	26.54

3 Lotto "Scarpino 2"

3.1 Misura di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S

Nelle giornate del 25 Agosto e del 21, 22 e 23 settembre 2016 sono state effettuate 528 misure di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S sulla superficie dell'impianto di smaltimento, nel lotto denominato "Scarpino 2", coprendo un'area totale pari a circa 270.000 m². In Figura 3.1 è mostrata l'ubicazione dei punti in cui sono state effettuate le 428 misure di flusso; considerando la superficie dell'area oggetto di indagine è stata realizzata una maglia di campionamento di dimensioni medie pari a circa 25 x 25 m.

Come per Scarpino 1, anche in questo caso l'esecuzione del monitoraggio è stata effettuata nel minor tempo possibile e durante l'esecuzione delle misure sono stati controllati i parametri meteorologici in quanto l'emissione di gas dal suolo è influenzata dalle condizioni atmosferiche oltre che dalle proprietà della copertura.



Figura 3.1 Ubicazione delle misure di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S eseguite ad agosto e settembre 2016 nel lotto Scarpino 2 della discarica di Monte Scarpino.

3.2 Misure effettuate ad Agosto 2016

In Tabella 3.1 sono mostrati i principali parametri statistici relativi ai valori ottenuti, mentre i dati grezzi sono riportati in Appendice 3.

Anche in questo caso, come per i paragrafi successivi, per la trattazione statistica che segue i valori indicati come <d.l. saranno elaborati ponendoli pari a ½ d.l., quindi equivalenti a 0.001,

0.00025 e 0.000005 moli/m²-giorno rispettivamente per biossido di carbonio, metano e acido solfidrico e corrispondenti a 17 misure per la 10 CO₂, 47 misure per il CH₄ e 30 misure H₂S su un totale di 85 misure effettuate sull'area.

Tabella 3.1. Scarpino 2 (Agosto 2016). Parametri statistici relativi alle misure di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S Dati in moli/m² giorno

	N. validi	Media	Mediana	Minimo	Massimo	Dev.Std.	Asimmetria
Flusso CH ₄	85	2.07E-01	2.50E-04	2.50E-04	6.912	0.952	33.803
Flusso CO ₂	85	4.57E-01	4.19E-02	1.00E-03	5.303	1.104	10.146
Flusso H ₂ S	85	4.94E-05	2.66E-05	5.00E-06	0.000	0.000	6.089
Biogas	85	6.64E-01	4.70E-02	1.26E-03	12.142	1.975	19.400

In Tabella 3.2, Tabella 3.3 e Tabella 3.4 sono riportate le classi di frequenza relative alle misure di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S. In particolare si osserva che per quanto concerne il biossido di carbonio circa il 90% delle misure risultano inferiori al 1.7 moli/m² giorno, mentre per il metano oltre il 95% sono inferiori a 1.2 moli/m² giorno. Infine, per quanto concerne l'acido solfidrico si osserva che il 76% sono inferiori a 0.66*10⁻⁴ moli/m² giorno.

Tabella 3.2 Scarpino 2 (Agosto 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CO₂. Categorie in moli/m² giorno.

CO ₂ [moli/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
d.l.<x<=.190	62	62	72.94	72.94
.190<x<=.569	9	71	10.59	83.53
.569<x<=.947	5	76	5.88	89.41
.947<x<=1.326	0	76	0.00	89.41
1.326<x<=1.705	0	76	0.00	89.41
1.705<x<=2.083	2	78	2.35	91.76
2.083<x<=2.462	2	80	2.35	94.12
2.462<x<=2.841	0	80	0.00	94.12
2.841<x<=3.220	1	81	1.18	95.29
3.220<x<=3.598	0	81	0.00	95.29
3.598<x<=3.977	1	82	1.18	96.47
3.977<x<=4.356	0	82	0.00	96.47
4.356<x<=4.735	1	83	1.18	97.65
4.735<x<=5.113	0	83	0.00	97.65
5.113<x<=5.492	2	85	2.35	100.00

Tabella 3.3 Scarpino 2 (Agosto 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CH₄. Categorie in moli/m² giorno.

CH ₄ [moli/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
d.l.<x<=.247	79	79	92.94	92.94

CH ₄ [moli/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
.247<x<=.740	2	81	2.35	95.29
.740<x<=1.234	0	81	0.00	95.29
1.234<x<=1.728	0	81	0.00	95.29
1.728<x<=2.222	1	82	1.18	96.47
2.222<x<=2.715	0	82	0.00	96.47
2.715<x<=3.209	0	82	0.00	96.47
3.209<x<=3.703	1	83	1.18	97.65
3.703<x<=4.196	0	83	0.00	97.65
4.196<x<=4.690	1	84	1.18	98.82
4.690<x<=5.184	0	84	0.00	98.82
5.184<x<=5.678	0	84	0.00	98.82
5.678<x<=6.171	0	84	0.00	98.82
6.171<x<=6.665	0	84	0.00	98.82
6.665<x<=7.159	1	85	1.18	100.00

Tabella 3.4 Scarpino 2 (Agosto 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di H₂S. Categorie in moli/m² giorno.

H ₂ S [moli/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
d.l.<x<=.17E-4	37	37	43.52	43.52
.17E-4<x<=.41E-4	11	48	12.94	56.47
.41E-4<x<=.66E-4	17	65	20.00	76.47
.66E-4<x<=.91E-4	8	73	9.41	85.88
.91E-4<x<=.11E-3	2	75	2.35	88.24
.11E-3<x<=.14E-3	1	76	1.18	89.41
.14E-3<x<=.16E-3	1	77	1.18	90.59
.16E-3<x<=.18E-3	4	81	4.71	95.29
.18E-3<x<=.21E-3	3	84	3.53	98.82
.21E-3<x<=.23E-3	0	84	0.00	98.82
.23E-3<x<=.26E-3	0	84	0.00	98.82
.26E-3<x<=.28E-3	0	84	0.00	98.82
.28E-3<x<=.31E-3	0	84	0.00	98.82
.31E-3<x<=.33E-3	0	84	0.00	98.82
.33E-3<x<=.36E-3	1	85	1.18	100.00

In Figura 3.2 sono riportati gli istogrammi relativi ai valori di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S mentre in Figura 3.3 gli istogrammi relativi ai valori log-trasformati. Si note che le distribuzioni per tutti e tre i composti possono essere considerate polimodali.

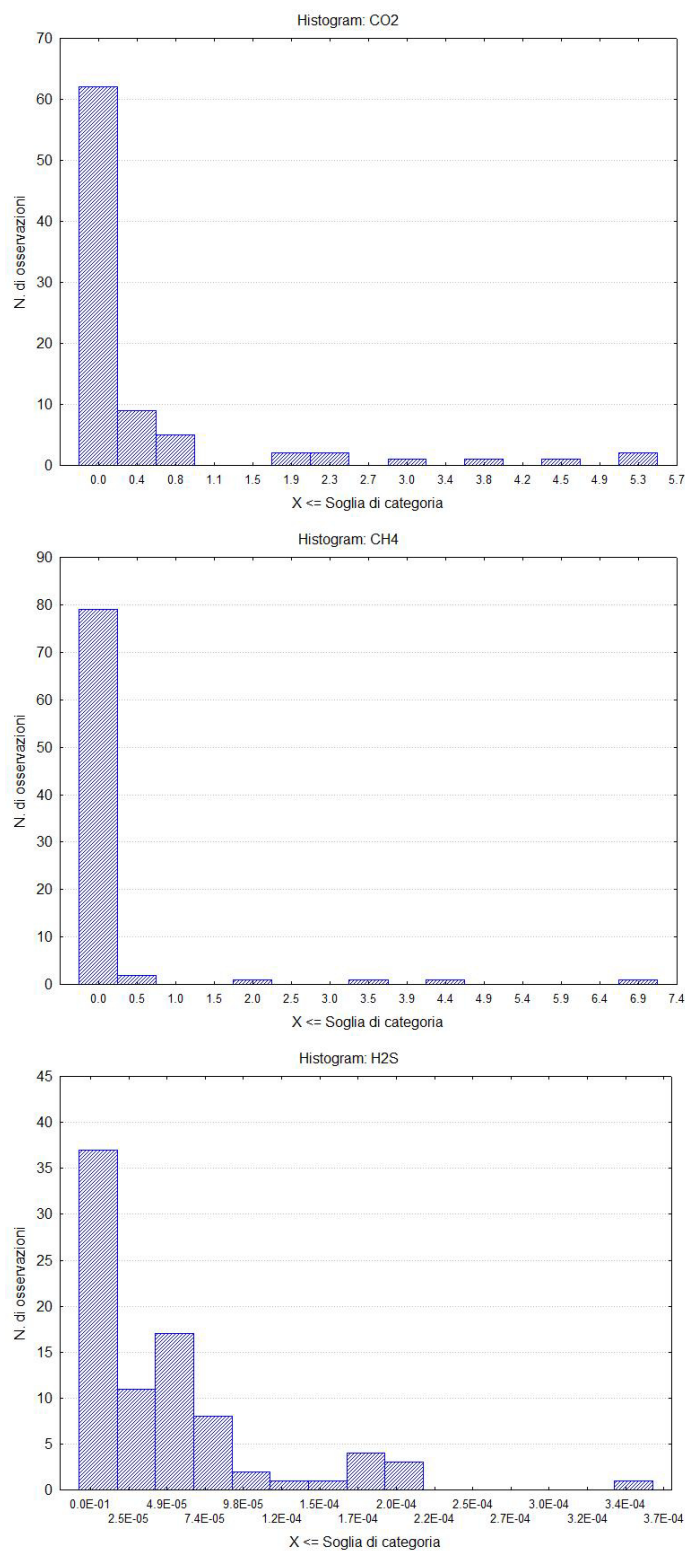


Figura 3.2 Scarpino 2 (Agosto 2016). Istogramma del flusso di CO₂ (alto a sinistra), CH₄ (alto a destra), e H₂S (basso).

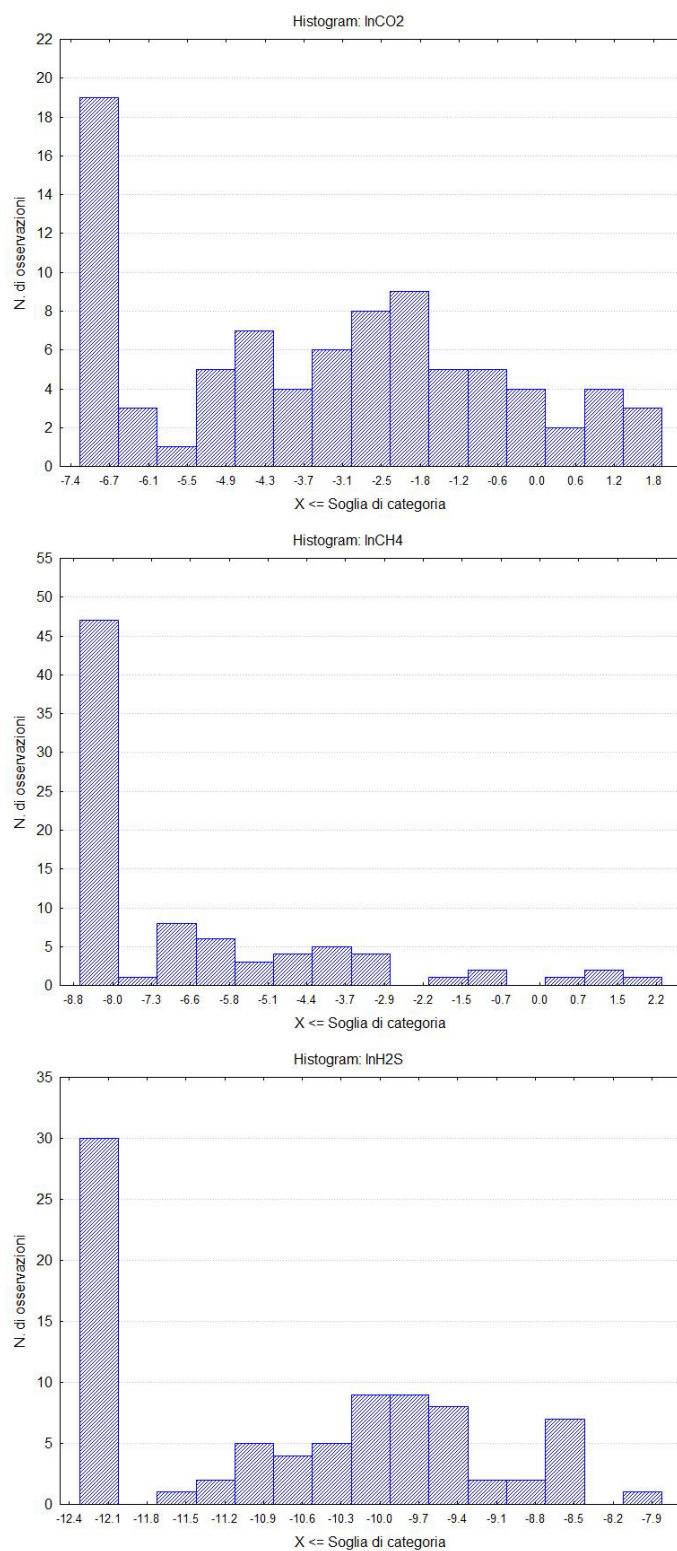


Figura 3.3 Scarpino 2 (Agosto 2016). Istogramma del logaritmo del flusso di CO₂ (alto a sinistra), CH₄ (alto a destra), e H₂S (basso).

3.2.1 Stima del flusso di biogas emesso dal corpo discarica.

In Figura 3.4, Figura 3.5 e Figura 3.6 sono riportate le curve relative ai flussi di CO₂, CH₄ e H₂S che individuano la presenza di tre famiglie statistiche per la CO₂ e di tre famiglie per il CH₄ e due per l' H₂S.

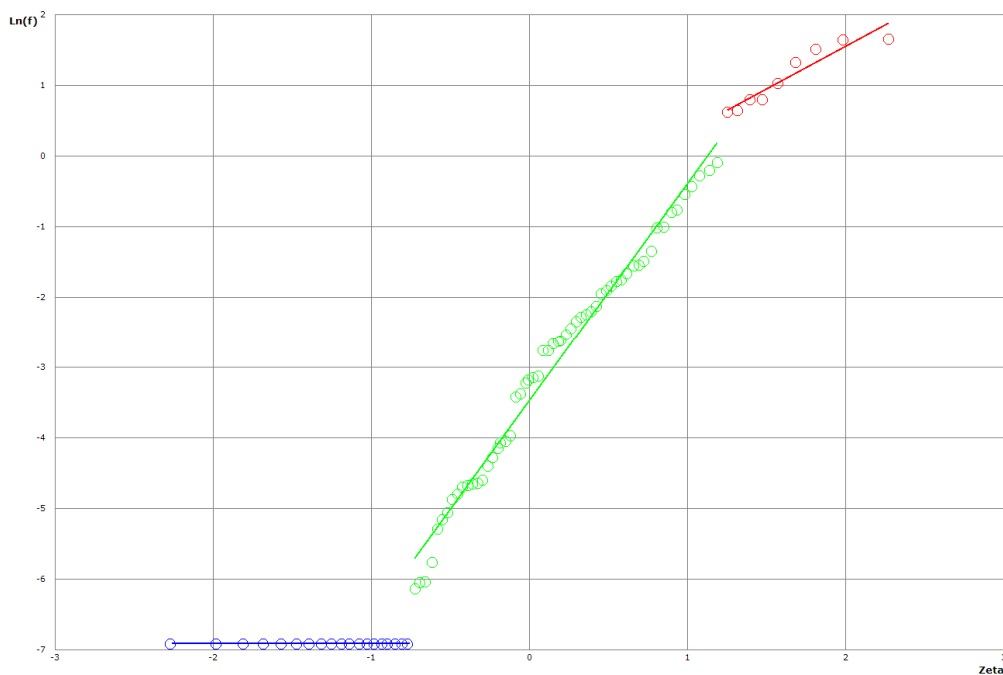


Figura 3.4 Scarpino 2 (Agosto 2016). Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flussoCO₂

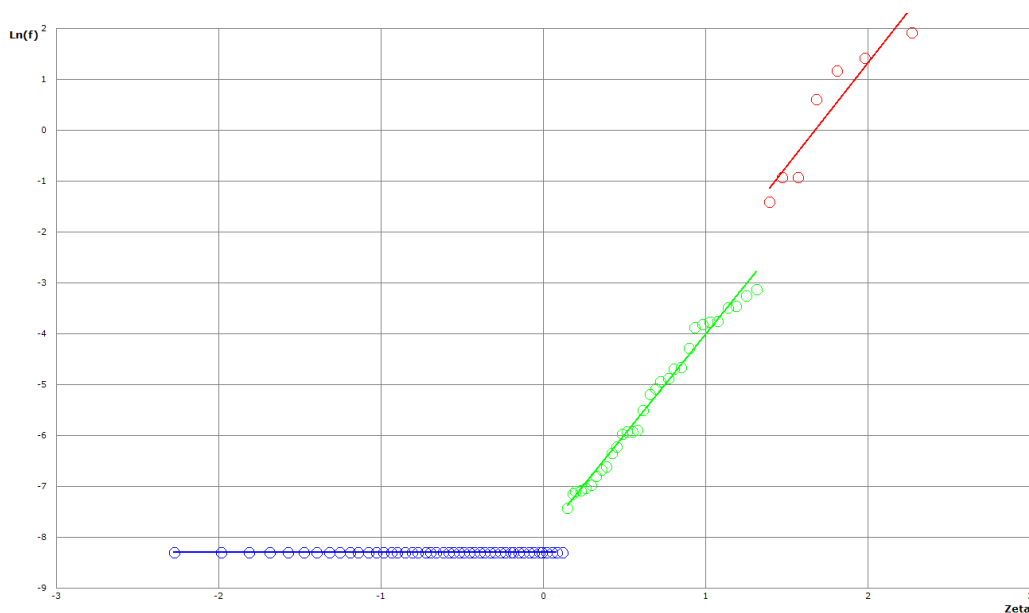


Figura 3.5 Scarpino 2 (Agosto 2016). Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flussoCH₄

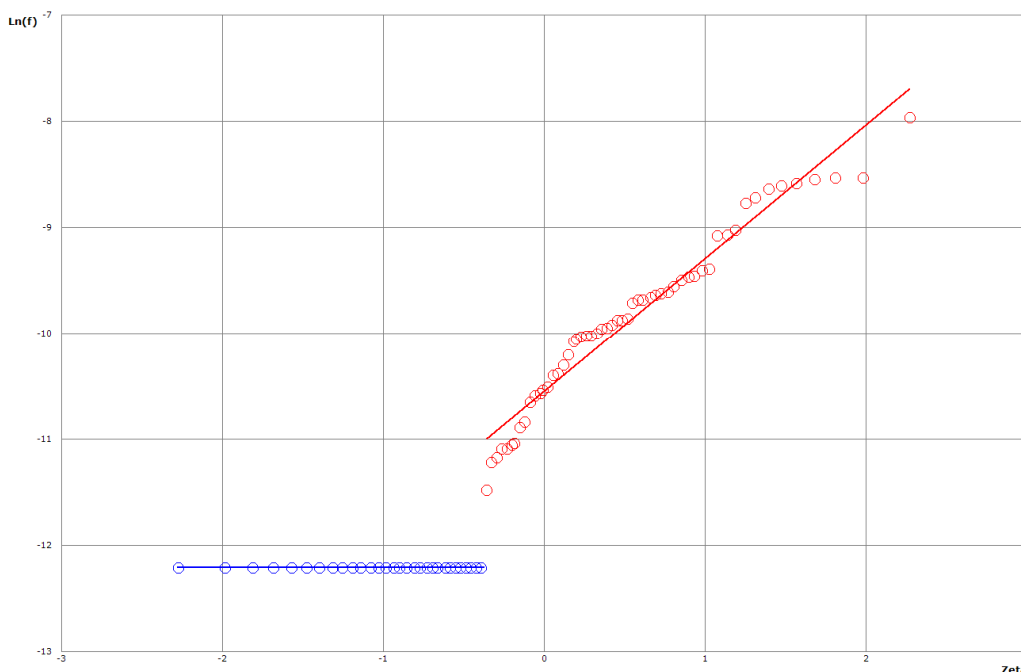
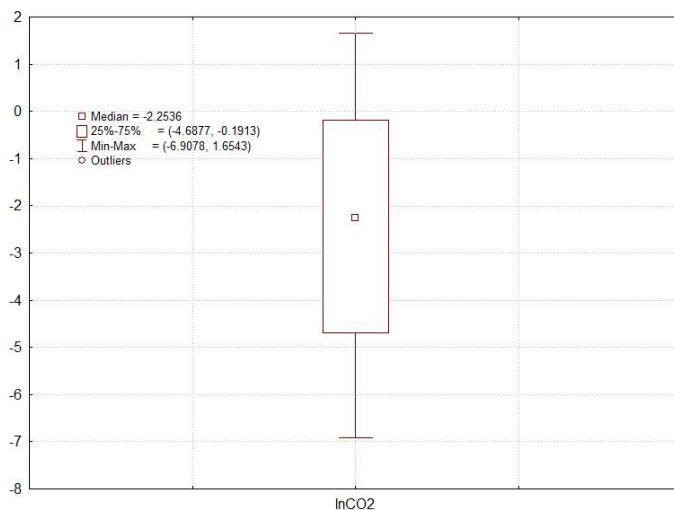


Figura 3.6 Scarpino 2 (Agosto 2016). Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flusso H_2S .

Di seguito sono stati pertanto costruiti i diagrammi box-plot (Figura 2.7) costruiti sui valori logaritmici così da identificare la possibile presenza di *outlier* nelle famiglie statistiche di valori più elevati, dove si osserva la presenza dove si osservano due valori outliers per il metano (#19, #84) che verranno esclusi dalla stima dell'emissione.



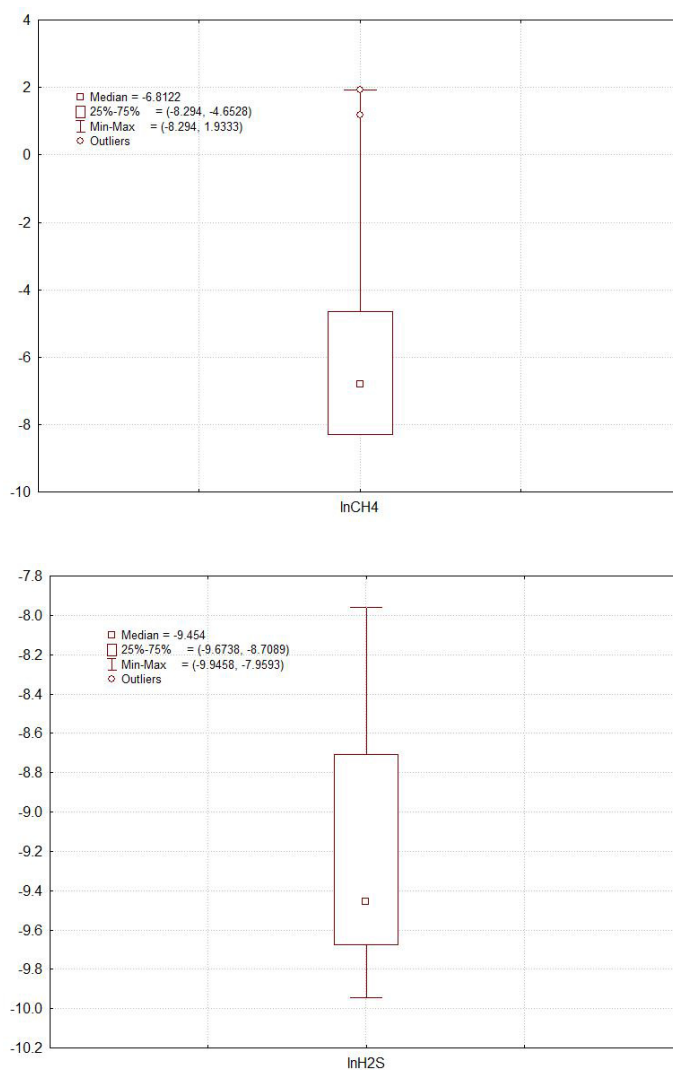


Figura 3.7 Scarpino 2 (Agosto 2016). Box Plot dei dati di flusso di CO_2 (alto a sinistra), CH_4 (alto a destra), e H_2S (basso) relativi alla famiglia statistica a valori più elevati

Come per le aree precedenti sono stati individuati i parametri statistici delle diverse popolazioni e determinate le emissioni in atmosfera corrispondenti con i relativi intervalli di confidenza al 95%.

Tabella 3.5 Scarpino 2 (Agosto 2016). Caratteristiche statistiche delle famiglie individuate

	Misure	Media	Varianza	Sichel-V	Flusso (Nm³/h)	Limiti al 95% di confidenza (Nm³/h)	
LnFlusso CO ₂							
1	9	1.130	0.180	1.090	11.874	18.277	9.435
2	57	-2.940	2.760	3.850	4.527	9.240	2.818
3	19	-6.910	0.000	1.000	0.008	0.008	0.008
Tot CO ₂					16.41	27.52	12.26
LnFlusso CH ₄							
1	5	0.280	1.780	2.240	8.103	128.333	3.378
2	31	-5.370	1.870	2.470	0.139	0.322	0.085
3	47	-8.290	0.000	1.000	0.005	0.005	0.005
Tot CH ₄					8.25	0.18	0.10

	Misure	Media	Varianza	Sichel-V	Flusso (Nm³/h)	Limiti al 95% di confidenza (Nm³/h)	
LnFlusso H₂S							
1	55	-9.85	0.68	1.4	1.67E-03	2.08E-03	1.25E-03
2	30	-12.21	0	1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Tot H₂S					1.67E-03	2.08E-03	1.25E-03
Flusso totale					24.66	27.71	12.36

In Tabella 3.5 si osserva che il flusso totale di biogas (CO₂+CH₄+H₂S.) emesso dall'intera area è pari a 24.66 Nm³/h con i limiti di confidenza al 95% rispettivamente di 27.71 e 12.36 Nm³/h. All'emissione complessiva metano e biossido di carbonio contribuiscono rispettivamente per il 33% e per l'66% ed il loro rapporto risulta essere pari a 0.5 (CH₄/CO₂). Il flusso specifico per unità di superficie risulta essere 0.68 lt/hr m².

3.2.2 Carte di isoflusso

L'analisi variografica è stata realizzata prendendo in considerazione il logaritmo del flusso totale di biogas (CO₂+CH₄+H₂S). Di seguito si riporta il semivariogramma sperimentale (N.di lag 9, Lag size 12) ed il modello matematico che meglio lo approssima.

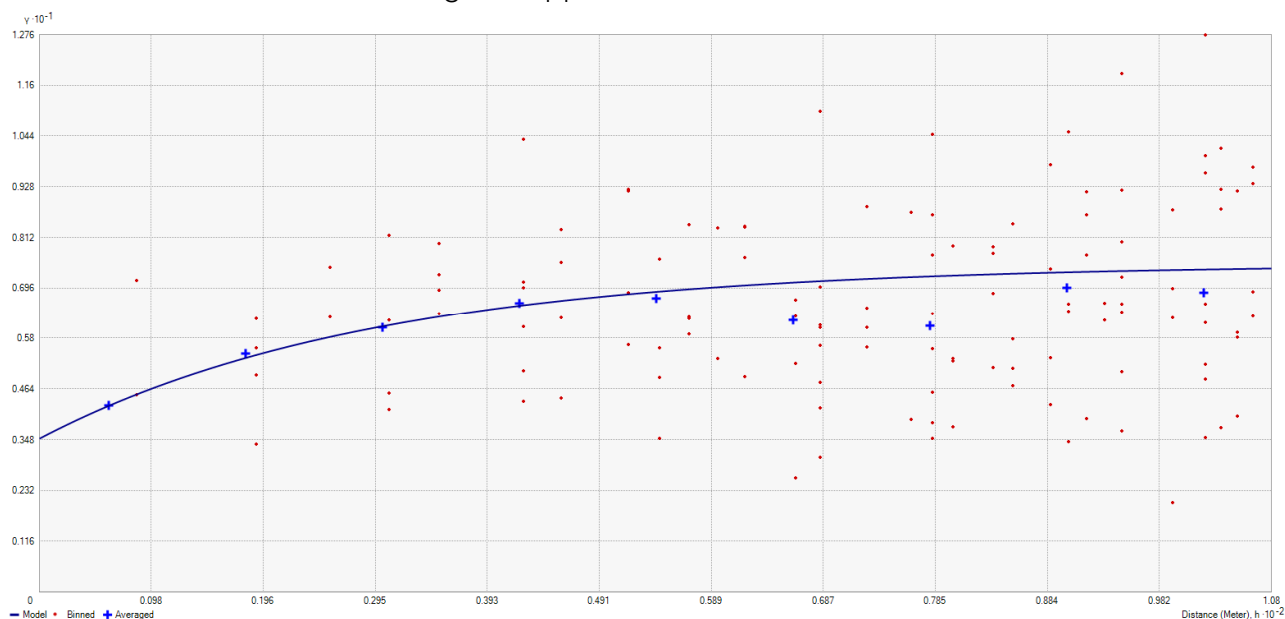


Figura 3.8 Scarpino 2 (Agosto 2016). Semivariogramma sperimentale del flusso totale di biogas (crocette blu) e modello matematico scelto (linea continua nera).

Il modello che rappresentato combina una componente esponenziale (range=88 m, partial sill=4), una componente sferica (range=180 m, partial sill=0.01) e di un effetto nugget di 3.5. In Figura 3.9 e Figura 3.10 sono riportati i risultati della Cross Validation in forma grafica dove si osserva tutti i punti di misura i dati calcolati rientrano all'interno del 2.5 σ.

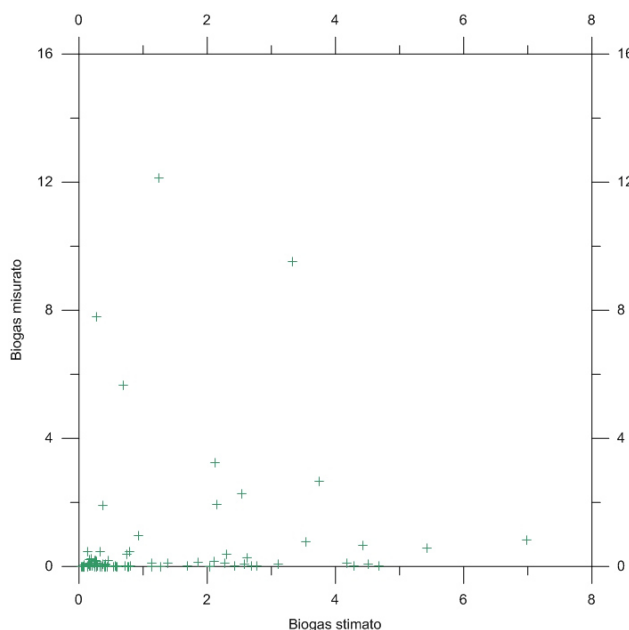


Figura 3.9 Scarpino 2 (Agosto 2016). Cross Validation: scatterplot del logaritmo naturale del biogas misurato vs il logaritmo naturale del biogas stimato.

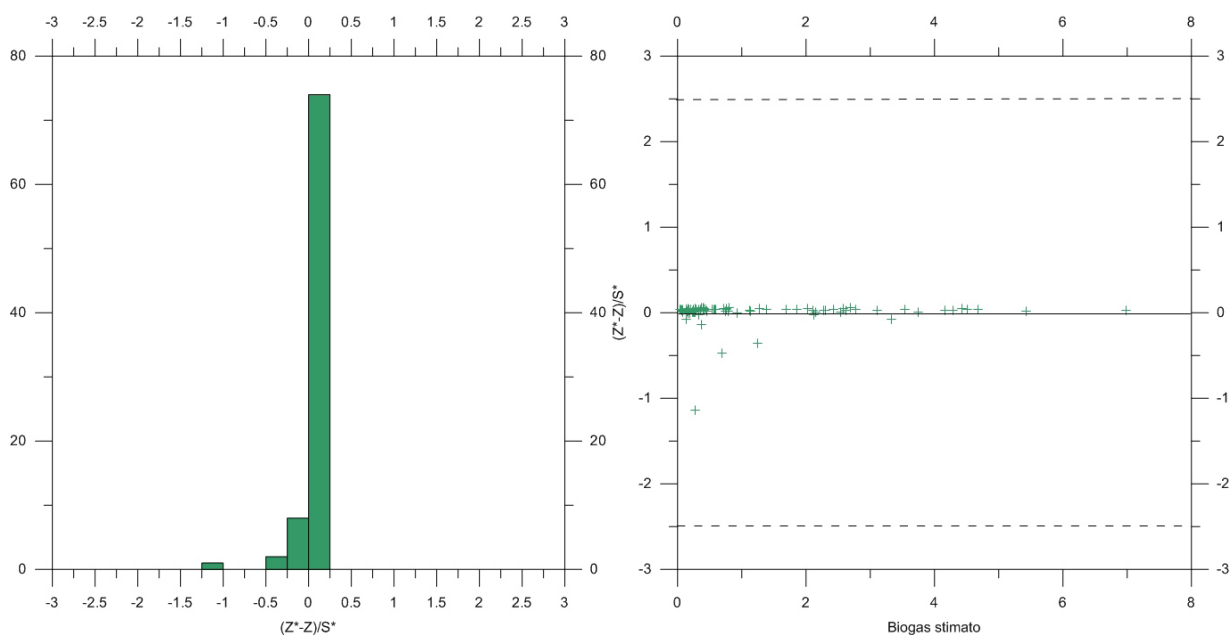


Figura 3.10 Scarpino 2 (Agosto 2016). Cross Validation: Istogramma relativo all'errore standard (sinistra), logaritmo del biogas stimato dal modello vs errore standard.

Dalla mappa di isoflusso (Figura 3.11) si osserva che alcune aree a nord ed est del sito mostrano valori di flusso maggiori che variano tra 5 e 12 mol/m² giorno, mentre in tutto il resto del sito i flussi sono sostanzialmente inferiori a 1 mol/m² giorno.

Infine in Figura 3.12 è riportata la mappa dell'errore effettuato sulla stima calcolato come standard deviation.

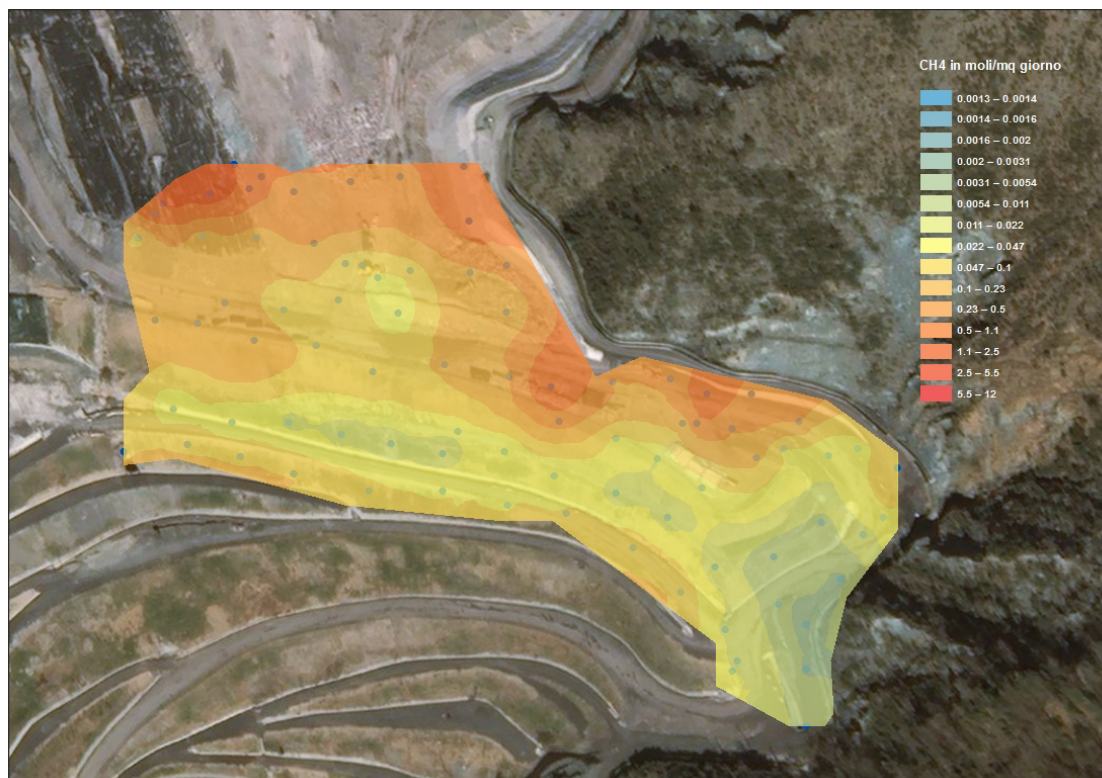


Figura 3.11 Scarpino 2 (Agosto 2016). Mappa di isoflusso del biogas diffuso dalla copertura.

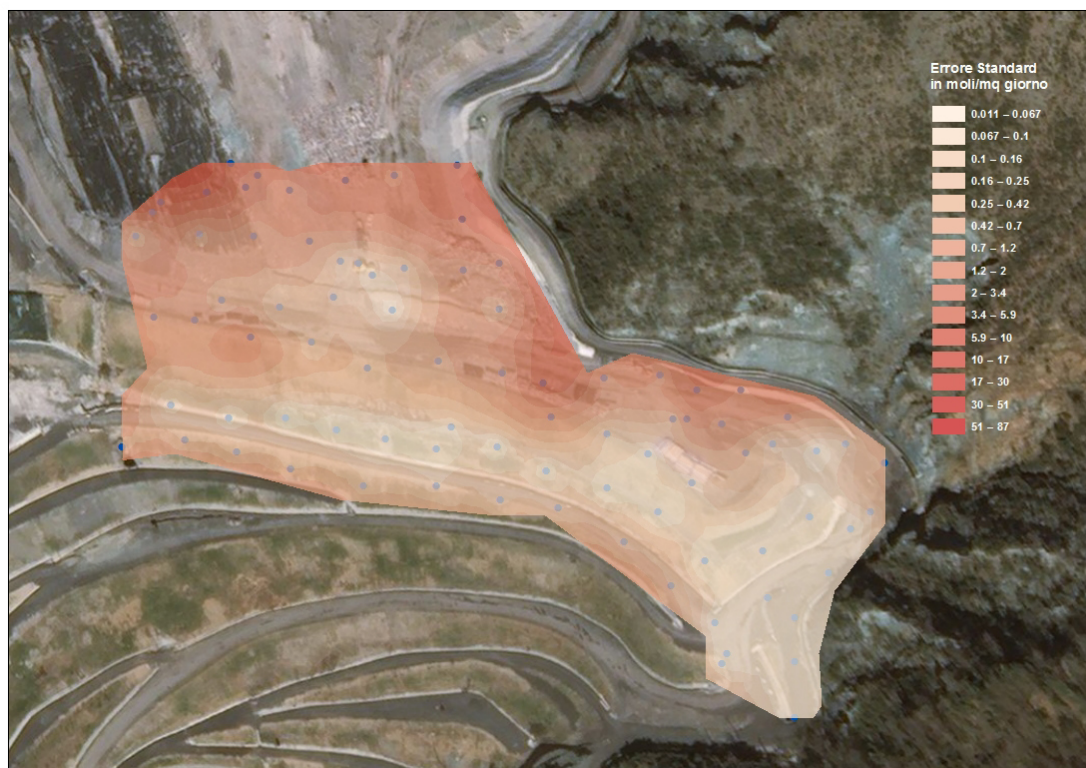


Figura 3.12 Scarpino 2 (Agosto 2016). Mappa della deviazione standard sulla stima.

3.3 Misure effettuate a settembre 2016

In Tabella 3.6 sono mostrati i principali parametri statistici relativi ai valori ottenuti, mentre i dati grezzi sono riportati in Appendice 3.

Si ricorda che i valori <d.l. saranno elaborati ponendoli pari a ½ d.l., quindi equivalenti a 0.001, 0.00025 e 0.000005 moli/m²-giorno rispettivamente per biossido di carbonio, metano e acido solfidrico e corrispondenti a 20 misure per la CO₂, 94 misure per il CH₄ e 163 misure H₂S su un totale di 343 misure effettuate sull'area, ad eccezione dell' H₂S per la quale sono state effettuate in totale 285 misure.

Tabella 3.6. Scarpino 2 (Settembre 2016). Parametri statistici relativi alle misure di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S Dati in moli/m² giorno

	N. validi	Media	Mediana	Minimo	Massimo	Dev.Std.	Asimmetria
Flusso CH ₄	343	0.444841	2.62E-03	2.50E-04	32.94	2.67	111.56
Flusso CO ₂	343	0.780609	1.90E-01	1.00E-03	29.41	2.55	79.57
Flusso H ₂ S	285	0.000050	5.00E-06	5.00E-06	5.26E-04	8.63E-05	9.56
Biogas	343	1.225491	1.97E-01	1.25E-03	62.35	5.17	98.56

In Tabella 3.7, Tabella 3.8 e Tabella 3.9 sono riportate le classi di frequenza relative alle misure di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S. Si osserva che per quanto concerne il biossido di carbonio circa il 95% delle misure risultano inferiori al 3 moli/m² giorno, mentre per il metano oltre il 97% sono inferiori a 3.5 moli/m² giorno. Infine, per quanto concerne l'acido solfidrico si osserva che il 76% sono inferiori a 0.60*10⁻⁴ moli/m² giorno.

Tabella 3.7 Scarpino 2 (Settembre 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CO₂. Categorie in moli/m² giorno.

CO ₂ [moli/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
d.l.<x<=1.051	289	289	84.26	84.26
1.051<x<=3.152	40	329	11.66	95.92
3.152<x<=5.253	6	335	1.75	97.67
5.253<x<=7.353	2	337	0.58	98.25
7.353<x<=9.454	2	339	0.58	98.83
9.454<x<=11.555	0	339	0.00	98.83
11.555<x<=13.656	1	340	0.29	99.13
13.656<x<=15.757	1	341	0.29	99.42
15.757<x<=17.857	0	341	0.00	99.42
17.857<x<=19.958	0	341	0.00	99.42
19.958<x<=22.059	0	341	0.00	99.42
22.059<x<=24.160	0	341	0.00	99.42
24.160<x<=26.261	0	341	0.00	99.42
26.261<x<=28.362	1	342	0.29	99.71
28.362<x<=30.462	1	343	0.29	100.00

Tabella 3.8 Scarpino 2 (Settembre 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CH₄. Categorie in moli/m² giorno.

CH ₄ [moli/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
d.l.<x≤1.176	321	321	93.59	93.59
1.176<x≤3.529	13	334	3.79	97.38
3.529<x≤5.88	4	338	1.17	98.54
5.88<x≤8.234	1	339	0.29	98.83
8.234<x≤10.586	0	339	0.00	98.83
10.586<x≤12.939	2	341	0.58	99.42
12.939<x≤15.291	0	341	0.00	99.42
15.291<x≤17.644	0	341	0.00	99.42
17.644<x≤19.996	0	341	0.00	99.42
19.996<x≤22.349	0	341	0.00	99.42
22.349<x≤24.702	0	341	0.00	99.42
24.702<x≤27.054	0	341	0.00	99.42
27.054<x≤29.407	0	341	0.00	99.42
29.407<x≤31.759	1	342	0.29	99.71
31.759<x≤34.112	1	343	0.29	100.00

Tabella 3.9 Scarpino 2 (Settembre 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di H₂S. Categorie in moli/m² giorno.

H ₂ S [moli/m ² giorno]	Conteggi	conteggi cumulati	% dati validi	% dati cumulati
d.l.<x≤.23E-4	179	179	62.81	62.81
.23E-4<x≤.60E-4	38	217	13.33	76.14
.60E-4<x≤.98E-4	20	237	7.02	83.16
.98E-4<x≤.13E-3	9	246	3.16	86.32
.13E-3<x≤.17E-3	16	262	5.61	91.93
.17E-3<x≤.20E-3	5	267	1.75	93.68
.20E-3<x≤.24E-3	5	272	1.75	95.44
.24E-3<x≤.28E-3	6	278	2.11	97.54
.28E-3<x≤.32E-3	2	280	0.70	98.25
.32E-3<x≤.35E-3	1	281	0.35	98.60
.35E-3<x≤.39E-3	0	281	0.00	98.60
.39E-3<x≤.43E-3	0	281	0.00	98.60
.43E-3<x≤.47E-3	1	282	0.35	98.95
.47E-3<x≤.50E-3	2	284	0.70	99.65
.50E-3<x≤.54E-3	1	285	0.35	100.00

In Figura 3.13 sono riportati gli istogrammi relativi ai valori di flusso di CO₂, CH₄ e H₂S mentre in Figura 3.14 gli istogrammi relativi ai valori log-trasformati, si osserva un comportamento lognormale per la CO₂ e polimodale per CH₄ e H₂S.

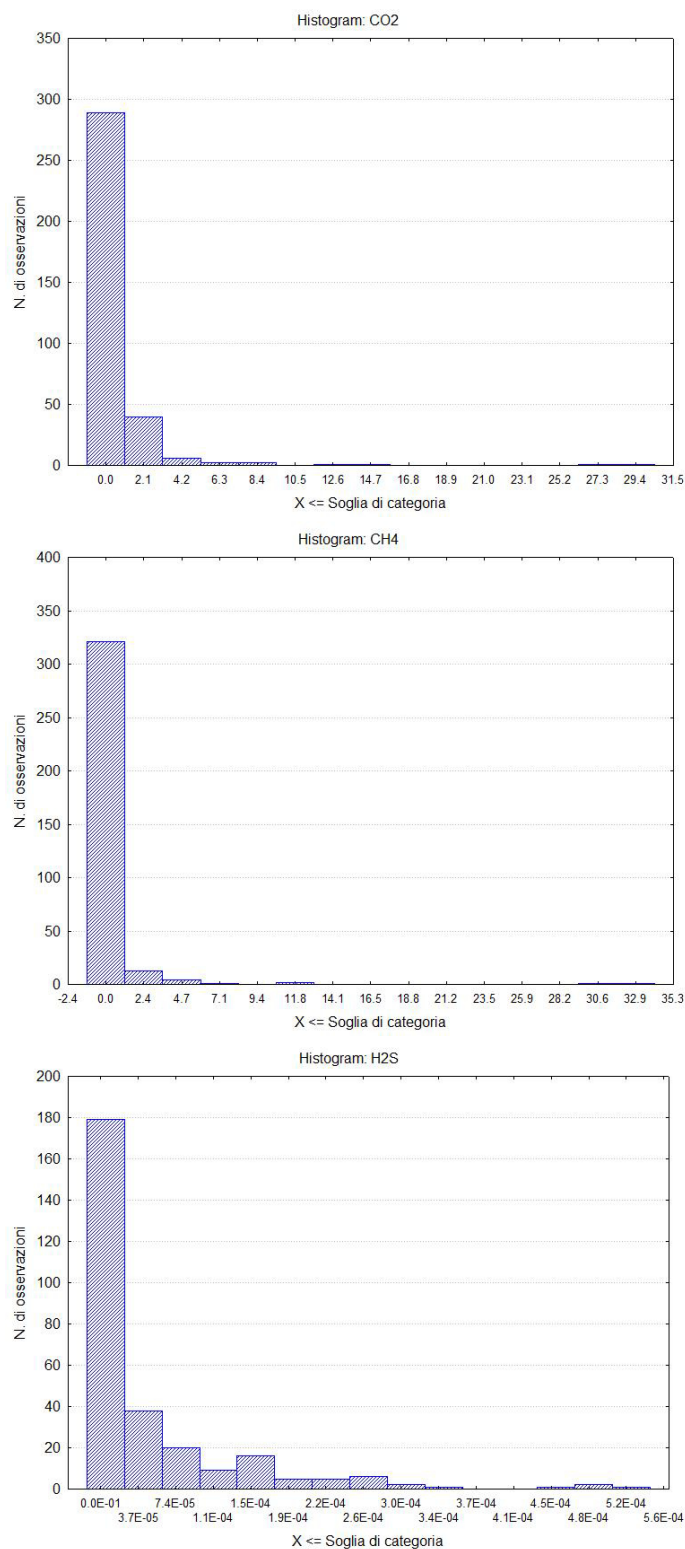


Figura 3.13 Scarpino 2 (Settembre 2016). Istogramma del flusso di CO₂ (alto a sinistra), CH₄ (alto a destra), e H₂S (basso).

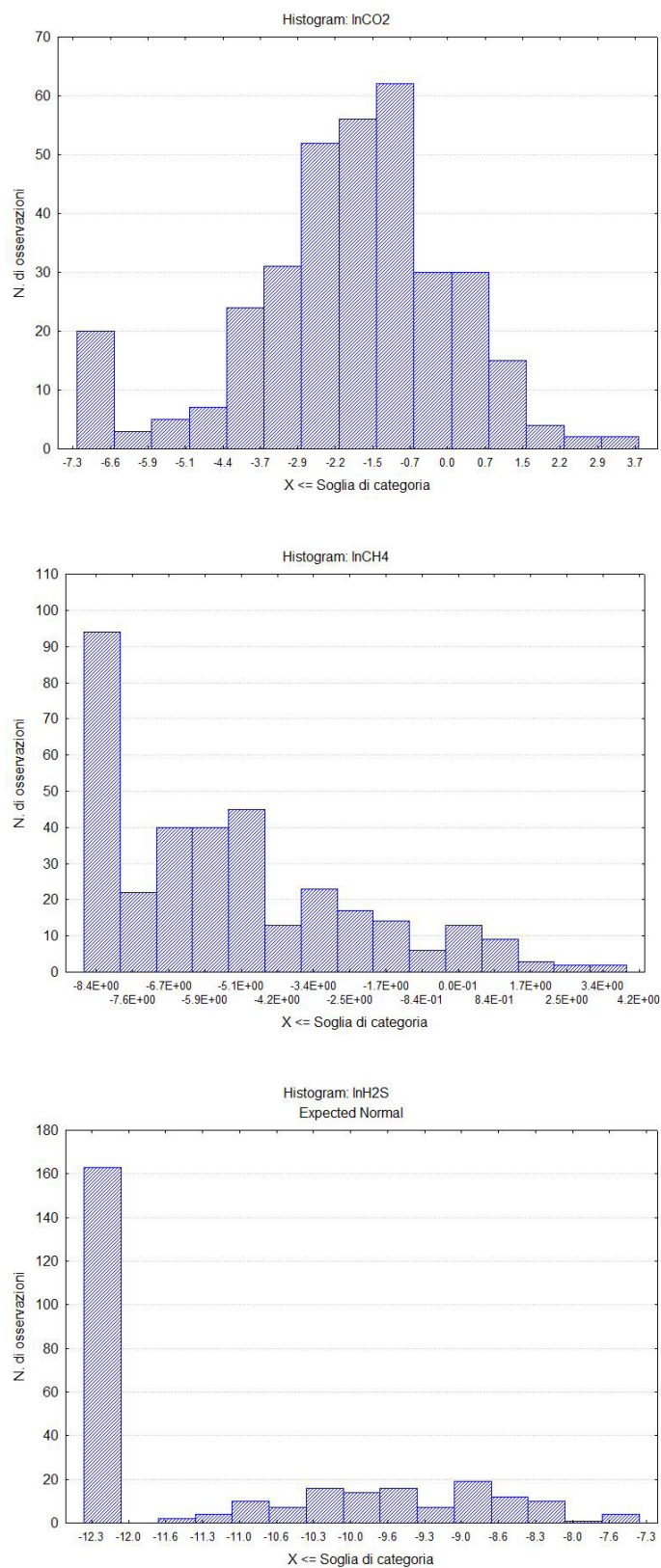


Figura 3.14 Scarpino 2 (Settembre 2016). Istogramma del logaritmo del flusso di CO₂ (alto a sinistra), CH₄ (alto a destra), e H₂S (basso).

3.3.1 Stima del flusso di biogas emesso dal corpo discarica.

In Figura 3.15, Figura 3.16 e Figura 3.17 sono riportate le curve relative ai flussi di CO₂, CH₄ e H₂S che individuano la presenza di tre famiglie statistiche per tutti i parametri determinati.

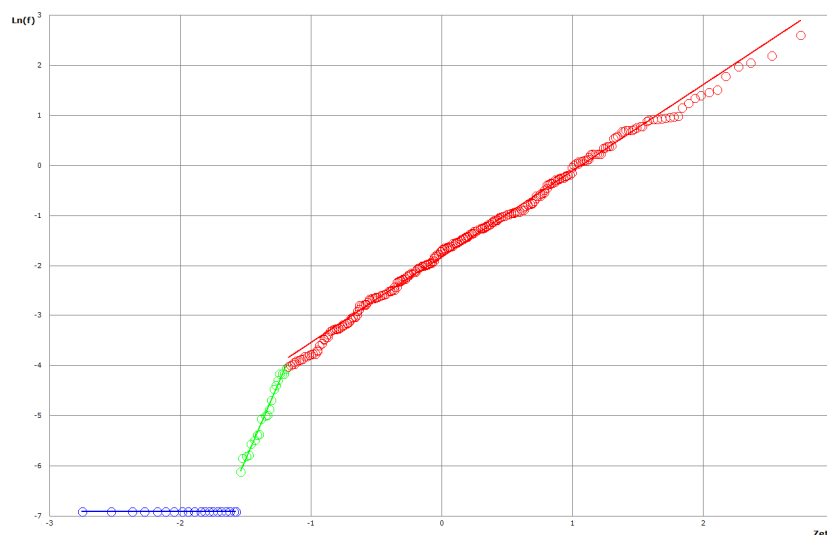


Figura 3.15 Scarpino 2 (Settembre 2016). Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flusso CO₂

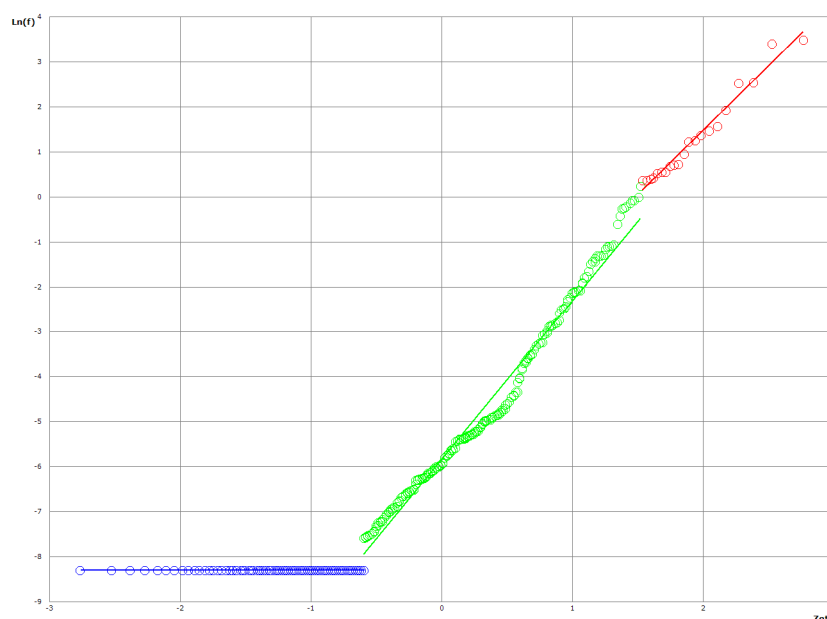


Figura 3.16 Scarpino 2 (Settembre 2016). Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flusso CH₄

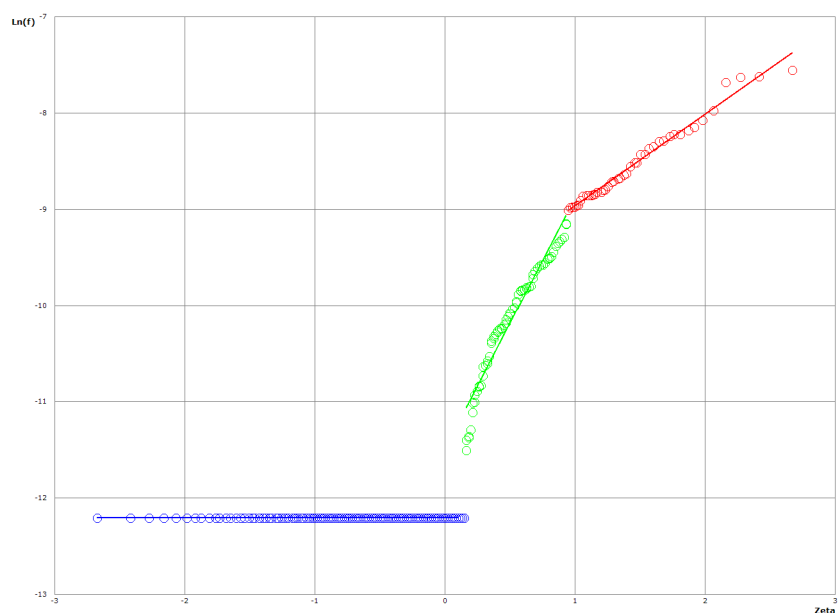
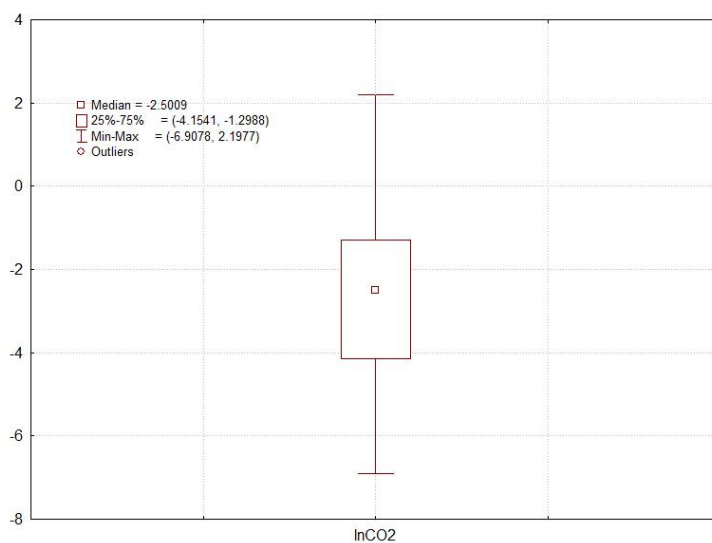


Figura 3.17 Scarpino 2 (Settembre 2016). Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flusso H₂S.

Di seguito sono stati pertanto costruiti i diagrammi box-plot (Figura 3.18) dove si osserva la presenza dove si osservano due valori outliers per il metano (#166, #75) che verranno esclusi dalla stima dell'emissione totale di biogas.



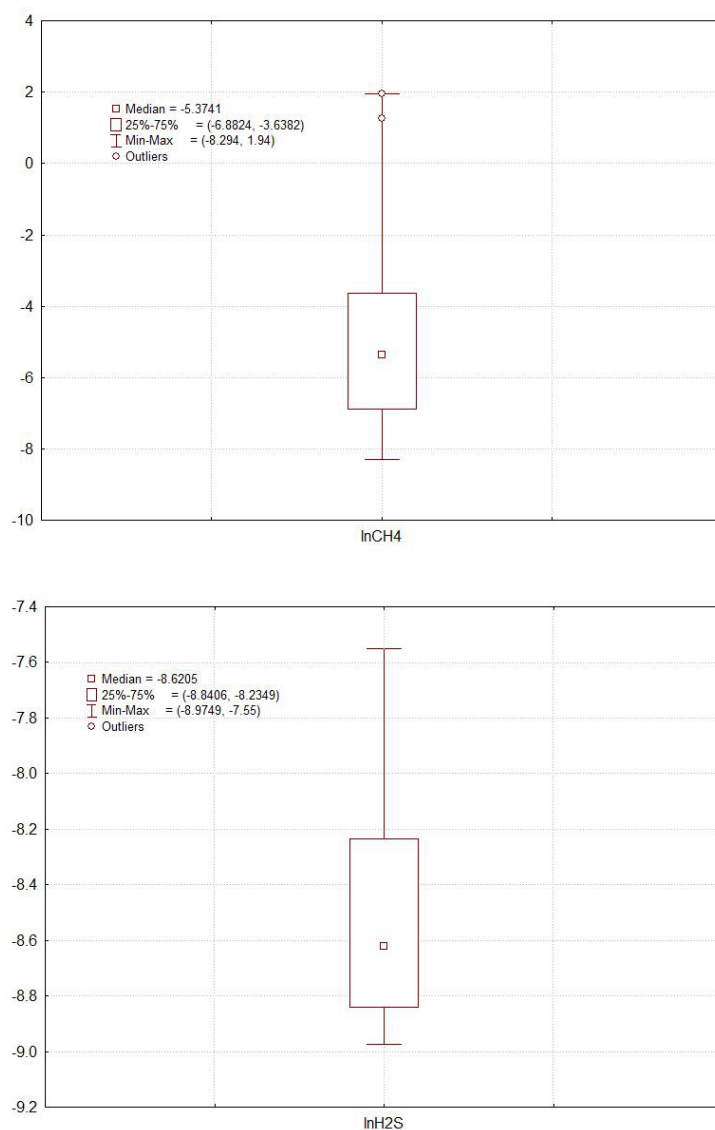


Figura 3.18 Scarpino 2 (Settembre 2016). Box Plot dei dati di flusso di CO_2 (alto a sinistra), CH_4 (alto a destra), e H_2S (basso) relativi alla famiglia statistica a valori più elevati

Come per le aree precedenti sono stati individuati i parametri statistici delle diverse popolazioni e determinate le emissioni in atmosfera corrispondenti con i relativi intervalli di confidenza al 95%.

Tabella 3.10 Scarpino 2 (Settembre 2016). Caratteristiche statistiche delle famiglie individuate

	Misure	Media	Varianza	Sichel-V	Flusso (Nm³/h)	Limiti al 95% di confidenza (Nm³/h)	
LnFlusso CO₂							
1	300	-1.450	1.990	2.690	118.599	163.713	92.738
2	20	-4.980	0.440	1.240	0.107	0.153	0.085
3	20	-6.910	0.000	1.000	0.013	0.013	0.013
Tot CO₂					118.72	163.88	92.83
LnFlusso CH₄							
1	36	0.300	1.070	1.690	51.356	84.483	37.219
2	211	-5.040	2.800	3.980	3.395	5.373	2.422
3	94	-8.290	0.000	1.000	0.015	0.015	0.015

	Misure	Media	Varianza	Sichel-V	Flusso (Nm ³ /h)	Limiti al 95% di confidenza (Nm ³ /h)	
Tot CH₄					54.77	0.18	0.10
LnFlusso H₂S							
1	44	-8.52	0.16	1.08	7.92E-03	9.17E-03	7.08E-03
2	69	-10.13	0.38	1.21	2.92E-03	3.33E-03	2.50E-03
3	145	-12.21	0	1	4.17E-04	4.17E-04	4.17E-04
Tot H₂S					1.13E-02	1.29E-02	1.00E-02
Flusso totale					173.50	164.07	92.94

In Tabella 3.10 si osserva che il flusso totale di biogas (CO₂+CH₄+H₂S.) emesso dall'intera area è pari a 173.5 Nm³/h con i limiti di confidenza al 95% rispettivamente di 164 e 92.94 Nm³/h. All'emissione complessiva metano e biossido di carbonio contribuiscono rispettivamente per il 31% e per l'68% ed il loro rapporto risulta essere pari a 0.46 (CH₄/CO₂). Tali valori risultano allineati a quanto misurati, nel medesimo lotto durante il mese di agosto. Il flusso specifico per unità di superficie risulta essere 0.74 lt/hr m².

3.3.2 Carte di isoflusso

L'analisi variografica (Figura 3.19) è stata realizzata prendendo in considerazione il flusso totale di biogas (CO₂+CH₄+H₂S). Di seguito si riporta il semivariogramma sperimentale (N.di lag 8, Lag size 22) ed il modello matematico che meglio lo approssima.

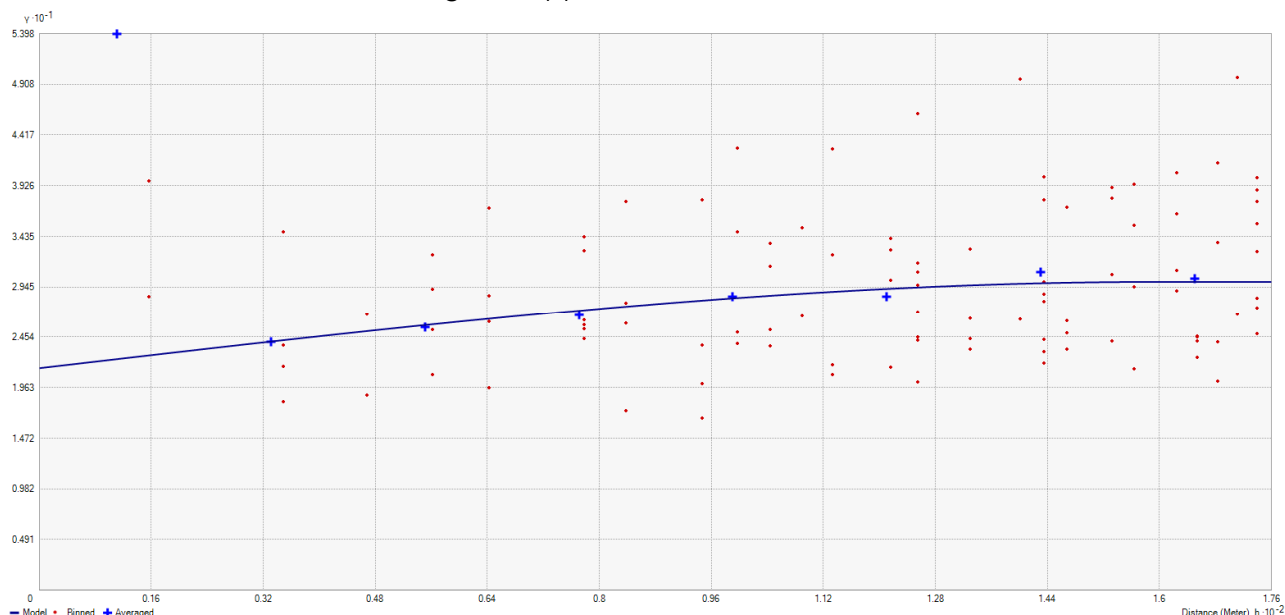


Figura 3.19 Scarpino 2 (Settembre 2016). Semivariogramma sperimentale del flusso totale di biogas (crocette blu) e modello matematico scelto (linea continua nera).

Il modello che rappresentato combina una componente sferica (range=160 m, partial sill=8.45) e di un effetto nugget di 2.15. In Figura 3.20, Figura 3.21 e Figura 3.22 sono riportati i risultati della Cross Validation in forma grafica dove si osserva che per 5 punti di misura i dati calcolati superano 2.5 σ .

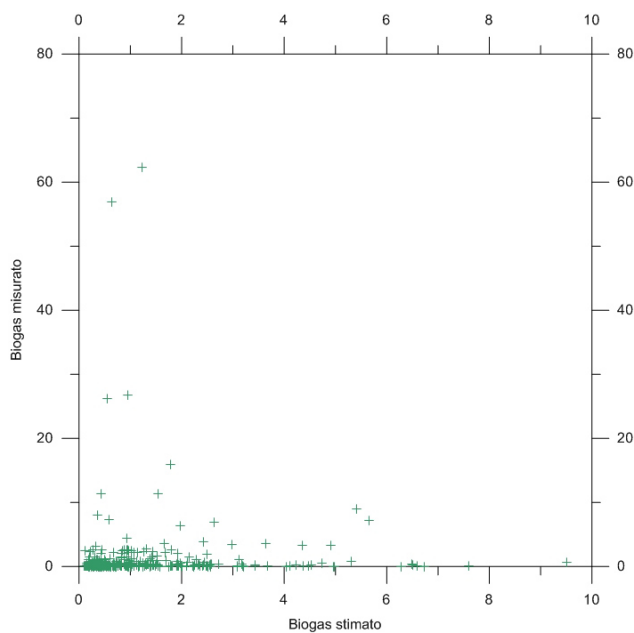


Figura 3.20 Scarpino 2 (Settembre 2016). Cross Validation: scatterplot del logaritmo naturale del biogas misurato vs il logaritmo naturale del biogas stimato.

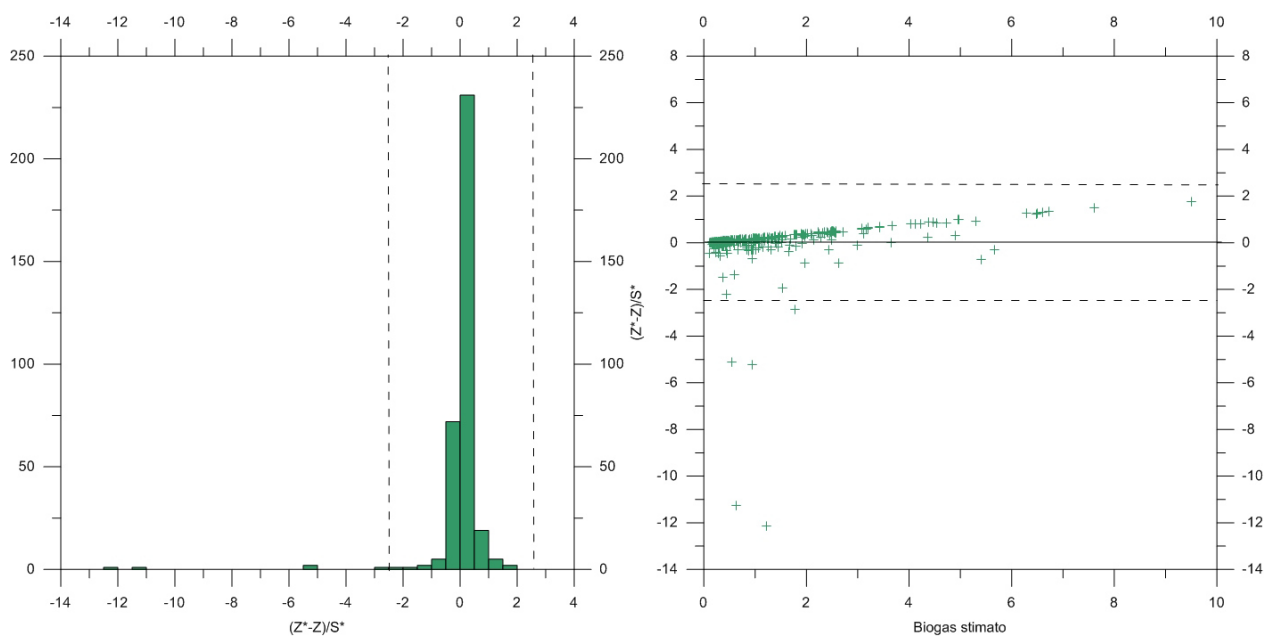


Figura 3.21 Scarpino 2 (Settembre 2016). Cross Validation: Istogramma relativo all'errore standard (sinistra), logaritmo del biogas stimato dal modello vs errore standard.



Figura 3.22 Scarpino 2 (Settembre 2016). Mappa dei punti delle misure di flusso: i punti in azzurro rappresentano le misure che il modello matematico scelto riproduce con un errore $> 2.5\sigma$.

Mediante il metodo dell'Ordinary Kriging applicato ai dati del flusso di biogas ($\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{S}$) è stata costruita la mappa di isoflusso mostrata in Figura 3.21.

Dalla mappa di isoflusso si osserva che, ad eccezione di aree circoscritte, i flussi di biogas mostrano valori generalmente inferiori a 3 mol/m² giorno.

Infine in Figura 3.22 è riportata la mappa dell'errore effettuato sulla stima calcolato come standard deviation.

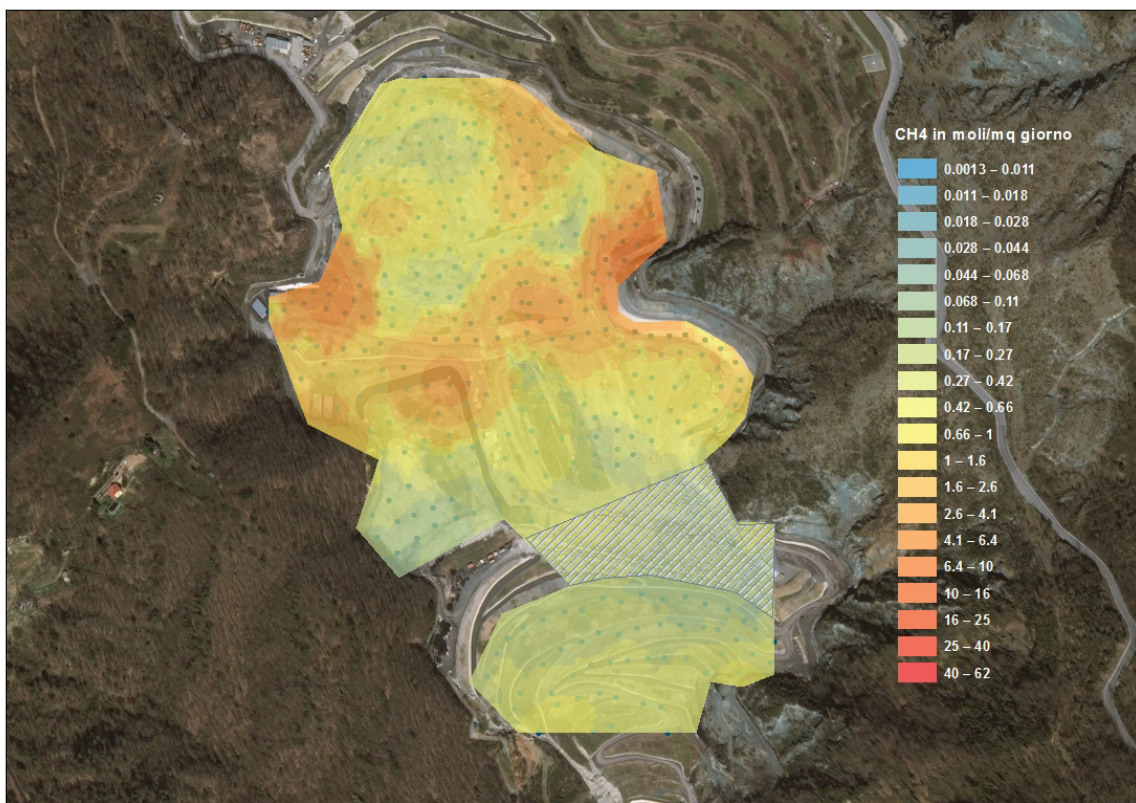


Figura 3.23 Scarpino 2 (Settembre 2016). Mappa di isoflusso del biogas diffuso dalla copertura.



Figura 3.24 Scarpino 2 (Settembre 2016). Mappa della deviazione standard sulla stima.

3.4 Stima del biogas totale Scarpino 2

Il trattamento statistico e geostatistico è stato effettuato separatamente per le due aree di Scarpino 2, monitorate rispettivamente ad agosto e settembre 2016. Pertanto sono state stimate le emissioni totali da ciascuna area e di seguito se ne riporta la somma, rappresentativa delle emissioni totali dall'intero lotto "Scarpino 2". In questo modo l'emissione totale di biogas risulta essere 198 Nm³/hr.

	Flusso (Nm ³ /h)	Limiti al 95% di confidenza (Nm ³ /h)	
Agosto	16.41	27.52	12.26
Settembre	118.72	163.88	92.83
Tot CO2	135.13	191.40	105.10
Agosto	8.25	0.18	0.10
Settembre	54.77	0.18	0.10
Tot CH4	63.01	0.37	0.19
Agosto	1.67E-03	2.08E-03	1.25E-03
Settembre	1.13E-02	1.29E-02	1.00E-02
Totale H2S	0.01	0.02	0.01
Flusso Totale	198.15	191.78	105.30

4 Conclusioni

Nei mesi di Agosto, Settembre e Ottobre 2016 è stato effettuato il monitoraggio delle emissioni diffuse presso la discarica di Monte Scarpino nel Comune di Genova, gestita da Amiu Genova Spa. Il monitoraggio è consistito nell'esecuzione di misure puntuali dirette del flusso all'interfaccia suolo-atmosfera di CH₄, CO₂ e H₂S in ciascuno dei due lotti dell'impianto, Scarpino1 e Scarpino 2, per un totale di **724 misure** sull'intero impianto. Le indagini sono state condotte utilizzando il metodo della camera di accumulo e successivamente i dati sono stati trattati per stimare la quantità totale di biogas e costruire le mappe di isoflusso.

Per quanto concerne il lotto "Scarpino 1" sono state effettuate 296 misure su un area di circa 167.000 m², il flusso totale di biogas emesso risulta essere circa 34 Nm³ [46-27 Nm³], composto per oltre il 98% di CO₂. Il flusso specifico per unità di superficie 0.2 lt/m² hr, valore da discarica in fase post operativa avanzata.

Relativamente al lotto "Scarpino 2" sono state effettuate 482 misure su un area di circa 252.000 m², con un flusso totale di biogas emesso di 198 Nm³ [192-105 Nm³], composto per il 68% da CO₂ e per il 30% da CH₄.

Il flusso specifico per unità di superficie in questo caso risulta essere 0.7 lt/m² hr, anche in questo caso si ottiene un valore tipico da discarica in fase post operativa che nel tempo sarà destinato a ridursi.

5 Indice delle Figure

Figura 2.1 Ubicazione delle misure di flusso di CO ₂ , CH ₄ e H ₂ S eseguite a settembre e ottobre 2016 nel lotto Scarpino 1 della discarica di Monte Scarpino.	5
Figura 2.2 Scarpino 1 (Settembre 2016).Istogramma del flusso di CO ₂ (alto a sinistra), CH ₄ (alto a destra), e H ₂ S (basso).	9
Figura 2.3 Scarpino 1 (Settembre 2016).Istogramma del logaritmo del flusso di CO ₂ (alto a sinistra), CH ₄ (alto a destra), e H ₂ S (basso).	10
Figura 2.4 Scarpino 1 (Settembre 2016).Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flussoCO ₂	11
Figura 2.5 Scarpino 1 (Settembre 2016).Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flussoCH ₄	12
Figura 2.6 Scarpino 1 (Settembre 2016).Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flusso H ₂ S.	12
Figura 2.7 Scarpino 1 (Settembre 2016).Box Plot dei dati di flusso di CO ₂ (alto a sinistra), CH ₄ (alto a destra), e H ₂ S (basso) relativi alla famiglia statistica a valori più elevati	13
Figura 2.8. Caratteristiche del semivariogramma e parametri che lo definiscono. I punti rossi rappresentano il semivariogramma sperimentale, la linea continua nera raffigura il modello matematico.	15
Figura 2.9 Scarpino 1 (Settembre 2016).Semivariogramma sperimentale del flusso totale di biogas (crocette blu) e modello matematico scelto (linea continua nera).	16
Figura 2.10 Scarpino 1 (Settembre 2016).Cross Validation: scatterplot del logaritmo naturale del biogas misurato vs il logaritmo naturale del biogas stimato.	16
Figura 2.11 Scarpino 1 (Settembre 2016).Cross Validation: Istogramma relativo all'errore standard (sinistra), logaritmo del biogas stimato dal modello vs errore standard.	17
Figura 2.12 Scarpino 1 (Settembre 2016).Mappa dei punti delle misure di flusso: i punti in azzurro rappresentano le misure che il modello matematico scelto riproduce con un errore > 2.5σ.	17
Figura 2.13 Scarpino 1 (Settembre 2016).Mappa di isoflusso del biogas diffuso dalla copertura.	18
Figura 2.14 Scarpino 1 (Settembre 2016).Mappa della deviazione standard sulla stima	18
Figura 2.15 Scarpino 1 (Ottobre 2016).Istogramma del flusso di CO ₂ (alto a sinistra), CH ₄ (alto a destra), e H ₂ S (basso).	21
Figura 2.16 Scarpino 1 (Ottobre 2016).Istogramma del logaritmo del flusso di CO ₂ (alto a sinistra), CH ₄ (alto a destra), e H ₂ S (basso).	22
Figura 2.17 Scarpino 1 (Ottobre 2016).Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flussoCO ₂	23
Figura 2.18 Scarpino 1 (Ottobre 2016).Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flussoCH ₄	23
Figura 2.19 Scarpino 1 (Ottobre 2016).Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flusso H ₂ S.	24

Figura 2.20 Scarpino 1 (Ottobre 2016).Box Plot dei dati di flusso di CO ₂ (alto a sinistra), CH ₄ (alto a destra), e H ₂ S (basso) relativi alla famiglia statistica a valori più elevati	25
Figura 2.21 Scarpino 1 (Ottobre 2016). Semivariogramma sperimentale del flusso totale di biogas (crocette blu) e modello matematico scelto (linea continua nera).....	26
Figura 2.22 Scarpino 1 (Ottobre 2016). Cross Validation: scatterplot del logaritmo naturale del biogas misurato vs il logaritmo naturale del biogas stimato.....	27
Figura 2.23 Scarpino 1 (Ottobre). Cross Validation: Istogramma relativo all'errore standard (sinistra), logaritmo del biogas stimato dal modello vs errore standard.	27
Figura 2.24 Scarpino 1 (Ottobre 2016). Mappa dei punti delle misure di flusso: i punti in azzurro rappresentano le misure che il modello matematico scelto riproduce con un errore > 2.5 σ	28
Figura 2.25 Scarpino 1 (Ottobre 2016). Mappa di isoflusso del biogas diffuso dalla copertura.	29
Figura 2.26 Scarpino 1 (Ottobre 2016). Mappa della deviazione standard sulla stima.....	29
Figura 3.1 Ubicazione delle misure di flusso di CO ₂ , CH ₄ e H ₂ S eseguite ad agosto e settembre 2016 nel lotto Scarpino 2 della discarica di Monte Scarpino.	31
Figura 3.2 Scarpino 2 (Agosto 2016). Istogramma del flusso di CO ₂ (alto a sinistra), CH ₄ (alto a destra), e H ₂ S (basso).	34
Figura 3.3 Scarpino 2 (Agosto 2016). Istogramma del logaritmo del flusso di CO ₂ (alto a sinistra), CH ₄ (alto a destra), e H ₂ S (basso).	35
Figura 3.4 Scarpino 2 (Agosto 2016). Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flussoCO ₂ ...	36
Figura 3.5 Scarpino 2 (Agosto 2016). Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flussoCH ₄ ...	36
Figura 3.6 Scarpino 2 (Agosto 2016). Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flusso H ₂ S....	37
Figura 3.7 Scarpino 2 (Agosto 2016). Box Plot dei dati di flusso di CO ₂ (alto a sinistra), CH ₄ (alto a destra), e H ₂ S (basso) relativi alla famiglia statistica a valori più elevati	38
Figura 3.8 Scarpino 2 (Agosto 2016). Semivariogramma sperimentale del flusso totale di biogas (crocette blu) e modello matematico scelto (linea continua nera).....	39
Figura 3.9 Scarpino 2 (Agosto 2016). Cross Validation: scatterplot del logaritmo naturale del biogas misurato vs il logaritmo naturale del biogas stimato.	40
Figura 3.10 Scarpino 2 (Agosto 2016). Cross Validation: Istogramma relativo all'errore standard (sinistra), logaritmo del biogas stimato dal modello vs errore standard.....	40
Figura 3.11 Scarpino 2 (Agosto 2016). Mappa di isoflusso del biogas diffuso dalla copertura.....	41
Figura 3.12 Scarpino 2 (Agosto 2016). Mappa della deviazione standard sulla stima.	41
Figura 3.13 Scarpino 2 (Settembre 2016). Istogramma del flusso di CO ₂ (alto a sinistra), CH ₄ (alto a destra), e H ₂ S (basso).	44
Figura 3.14 Scarpino 2 (Settembre 2016). Istogramma del logaritmo del flusso di CO ₂ (alto a sinistra), CH ₄ (alto a destra), e H ₂ S (basso).	45
Figura 3.15 Scarpino 2 (Settembre 2016). Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flussoCO ₂	46

Figura 3.16 Scarpino 2 (Settembre 2016). Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flussoCH ₄	46
Figura 3.17 Scarpino 2 (Settembre 2016). Curva di probabilità logaritmica cumulata del Ln flusso H ₂ S.	47
Figura 3.18 Scarpino 2 (Settembre 2016). Box Plot dei dati di flusso di CO ₂ (alto a sinistra), CH ₄ (alto a destra), e H ₂ S (basso) relativi alla famiglia statistica a valori più elevati	48
Figura 3.19 Scarpino 2 (Settembre 2016). Semivariogramma sperimentale del flusso totale di biogas (crocette blu) e modello matematico scelto (linea continua nera).	49
Figura 3.20 Scarpino 2 (Settembre 2016). Cross Validation: scatterplot del logaritmo naturale del biogas misurato vs il logaritmo naturale del biogas stimato.....	50
Figura 3.21 Scarpino 2 (Settembre 2016). Cross Validation: Istogramma relativo all'errore standard (sinistra), logaritmo del biogas stimato dal modello vs errore standard.....	50
Figura 3.22 Scarpino 2 (Settembre 2016). Mappa dei punti delle misure di flusso: i punti in azzurro rappresentano le misure che il modello matematico scelto riproduce con un errore > 2.5σ.	51
Figura 3.23 Scarpino 2 (Settembre 2016). Mappa di isoflusso del biogas diffuso dalla copertura.....	52
Figura 3.24 Scarpino 2 (Settembre 2016). Mappa della deviazione standard sulla stima.	52

6 Indice delle Tabelle

Tabella 2.1. Scarpino 1 (Settembre 2016).Parametri statistici relativi alle misure di flusso di CO ₂ , CH ₄ e H ₂ S Dati in mol/m ² giorno.....	6
Tabella 2.2 Scarpino 1 (Settembre 2016).Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CO ₂ . Categorie in mol/m ² giorno.	6
Tabella 2.3 Scarpino 1 (Settembre 2016).Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CH ₄ . Categorie in mol/m ² giorno.	7
Tabella 2.4 Scarpino 1 (Settembre 2016).Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CH ₄ . Categorie in mol/m ² giorno.	7
Tabella 2.5 Scarpino 1 (Settembre 2016).Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di H ₂ S. Categorie in mol/m ² giorno.	8
Tabella 2.6 Scarpino 1 (Settembre 2016).Caratteristiche statistiche delle famiglie individuate.....	14
Tabella 2.7. Scarpino 1 (Ottobre 2016).Parametri statistici relativi alle misure di flusso di CO ₂ , CH ₄ e H ₂ S Dati in mol/m ² giorno.....	19
Tabella 2.8 Scarpino 1 (Ottobre 2016).Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CO ₂ . Categorie in mol/m ² giorno.	19
Tabella 2.9 Scarpino 1 (Ottobre 2016).Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CH ₄ . Categorie in mol/m ² giorno.	20
Tabella 2.10 Scarpino 1 (Ottobre 2016).Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di H ₂ S. Categorie in mol/m ² giorno.	20
Tabella 2.11 Scarpino 1 (Ottobre 2016).Caratteristiche statistiche delle famiglie individuate.....	25
Tabella 3.1. Scarpino 2 (Agosto 2016). Parametri statistici relativi alle misure di flusso di CO ₂ , CH ₄ e H ₂ S Dati in mol/m ² giorno.....	32
Tabella 3.2 Scarpino 2 (Agosto 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CO ₂ . Categorie in mol/m ² giorno.	32
Tabella 3.3 Scarpino 2 (Agosto 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CH ₄ . Categorie in mol/m ² giorno.	32
Tabella 3.4 Scarpino 2 (Agosto 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di H ₂ S. Categorie in mol/m ² giorno.	33
Tabella 3.5 Scarpino 2 (Agosto 2016). Caratteristiche statistiche delle famiglie individuate.....	38
Tabella 3.6. Scarpino 2 (Settembre 2016). Parametri statistici relativi alle misure di flusso di CO ₂ , CH ₄ e H ₂ S Dati in mol/m ² giorno.....	42
Tabella 3.7 Scarpino 2 (Settembre 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CO ₂ . Categorie in mol/m ² giorno.	42
Tabella 3.8 Scarpino 2 (Settembre 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di CH ₄ . Categorie in mol/m ² giorno.	43

Tabella 3.9 Scarpino 2 (Settembre 2016). Tabelle di frequenza relative ai dati di flusso di H ₂ S. Categorie in moli/m ² giorno.	43
Tabella 3.5 Scarpino 2 (Settembre 2016). Caratteristiche statistiche delle famiglie individuate	48

Appendice 1: Metodi utilizzati per la determinazione dei flussi di biogas

Metodi utilizzati per la determinazione dei flussi di biogas

In generale le stime di flusso di gas possono essere fatte utilizzando molti metodi che si basano su principi fisici tra loro diversi. Questi metodi possono tuttavia essere suddivisi in due grandi categorie: metodi micrometeorologici e metodi così detti "Enclosure Based", che utilizzano cioè variazioni di concentrazione della specie voluta in un contenitore appoggiato al suolo.

Per quanto riguarda i primi, l'atmosfera vicino alla terra si comporta in modo turbolento. I gas sono quindi rapidamente diffusi alla/dalla superficie per moti irregolari e random, dovuti al vento e ad effetti legati a variazioni di densità. Come risultato la parte più bassa dell'atmosfera risponde rapidamente ai cambiamenti negli scambi di materia che avvengono all'interfaccia aria – suolo (Matson P.A., Harriss R.C., 1995).

Uno dei metodi più conosciuti è quello basato sulle correlazioni di turbolenze ("Eddy Correlation") del vento; in tale metodo si effettuano misure contemporanee di velocità verticale del vento del vento e concentrazione della data specie.

Il vantaggio di questo metodo è quello di consentire misure di valenza regionale. Tali sistemi sono però costosi e dipendono ovviamente moltissimo dalle condizioni meteorologiche. Inoltre non forniscono informazioni sulle variazioni di flusso a piccola scala.

I metodi di "Enclosure Based" consentono invece misure puntuali e richiedono strumentazione poco costosa; chiaramente sono necessarie molte misure e considerazioni statistiche per la valutazione del flusso medio sull'intera area di studio, anche se il quadro offerto con tali tecniche è di maggior dettaglio.

Un confronto tra i diversi metodi per la misura del flusso si trova in Trégourès A. et al., 1999, l'autore dopo aver confrontato sette diversi metodi per la misura del flusso ha indicato il metodo della camera di accumulo come meno influenzato dalle condizioni meteorologiche.

Nella discarica di Rochy – Condé, situata a circa 100 Km da Parigi, oltre ai metodi sopracitati e a quello della camera d'accumulo sono stati utilizzati altri metodi per la valutazione del flusso di gas: tecniche dei gas in traccianti e il metodo della termografia all' infrarosso.

Quest'ultima tecnica consiste nella visualizzazione della distribuzione delle temperature sulla superficie del terreno. La visualizzazione viene effettuata misurando l'energia della radiazione compresa nella banda tra che va dagli 8 ai 12 μm di lunghezze d'onda.

Con il metodo dei gas traccianti il flusso di biogas è ricavato dal coefficiente di trasferimento atmosferico K misurato dai gas in traccia (Trégourès et al., 1997).

Se si considera una sorgente puntuale di flusso, k può essere definito come il rapporto tra la concentrazione dell'effluente integrato in questo punto e la massa rilasciata. Visto che la velocità Q del flusso di effluente può essere considerata costante, il coefficiente k si può esprimere tramite la seguente relazione:

$$k = C/Q$$

in cui C è la concentrazione dell'effluente nel punto di misurazione.

Il coefficiente k è influenzato dalla posizione del punto di misurazione e dalle condizioni atmosferiche ma è indipendente dal tipo di effluente rilasciato.

Le tecniche di misura puntuale possono essere suddivise in due differenti categorie:

- tecniche dinamiche;

- tecniche statiche.

La tecnica dinamica consiste nella determinazione continua dell'incremento della concentrazione della specie considerata in un flusso d'aria, predisposto dall'operatore, passante attraverso un recipiente capovolto posizionato sul terreno.

La tecnica statica consiste sia nella determinazione dell'incremento di concentrazione della specie considerata nell'aria contenuta all'interno di un recipiente. L'incremento della concentrazione della specie considerata si calcola determinando la sua concentrazione nel recipiente in due momenti: quando questo viene posto sul terreno e dopo un determinato intervallo di tempo.

Descrizione del metodo della camera di accumulo.

Il biogas è in realtà un miscuglio di gas i cui componenti principali sono CH₄, CO₂ e H₂S. Per quantificare il flusso totale di biogas occorre quindi determinare i flussi dei tre gas.

Naturalmente nella valutazione globale del flusso di biogas occorrerà tenere di conto dell'emissione naturale di CO₂ che può provenire dall'attività apicale di erbe o da batteri presenti nella parte più superficiale della copertura. Un accurato trattamento statistico dei dati, volto al riconoscimento della presenza di diverse popolazioni caratterizzate ciascuna da un proprio valore medio e deviazione standard, consente di correggere i valori da tali apporti.

Di fatto, quindi, si misura continuamente la concentrazione di CH₄, CO₂ e H₂S all'interno della camera di accumulo permettendo in questo modo un'immediata valutazione del tasso di incremento degli stessi.

Tale metodo è stato scelto rispetto ad altri tenendo conto delle seguenti considerazioni:

- questa strumentazione è in grado di fornire misure di flusso dai suoli a prescindere dalla conoscenza delle caratteristiche dei suoli stessi e dalla conoscenza del regime di flusso stesso. Pertanto essa non richiede alcun coefficiente empirico che tenga conto delle caratteristiche del suolo, per trasformare il gradiente di concentrazione misurato in flusso. Una volta fissata l'altezza della camera di accumulo possiamo ottenere direttamente l'efflusso di CH₄ (o CO₂ o H₂S) dal suolo, essendo quest'ultimo il prodotto della pendenza della retta (per bassi valori di flusso) o della parte iniziale della curva (per alti valori di flusso) di incremento della concentrazione di CH₄ (o CO₂ o H₂S) nel tempo all'interno della camera;
- è molto più veloce di altri metodi;
- la strumentazione risulta maneggevole e di facile utilizzo.

La strumentazione impiegata per la misura è costituita da 5 parti principali (Figura A1.1):

- una camera di accumulo alta 10 cm con una superficie di base di 314 cm²;
- un rivelatore CO₂ con le seguenti caratteristiche: Principio di misura: Non-Dispersive Infrared Detection (NDIR). Range di misura: da 0.1 a 20000 ppm. Precisione: < 3% della lettura. Compensazione di pressione: da 150 a 1150 mBar. Temperatura operativa: da -20 a 45°C;
- un rivelatore CH₄ con le seguenti caratteristiche:
 - Principio di misura: TLDAS (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy).
 - Range: da 0.1 ppm a 100000 ppm. Risoluzione: 0.1 ppm.
 - Accuratezza: ±10%.

- Temperatura operativa: da -20 a 45°C
- un rivelatore H₂S con le seguenti caratteristiche:
 - Principio di misura: Cella elettrochimica.
 - Range: da 0 a 20 ppm. Risoluzione: 0.01 ppm.
 - Tempo di risposta (t₉₀): < 40 sec.
 - Temperatura operativa: da -30 a 50°C.
- un computer palmare.

Considerando le dimensioni della camera sopra indicate, in Figura A1.1 vengono mostrati i *range* di misura dei flussi, espressi in mol/m² *d, per ogni specie gassosa, in particolare il *low detection limit* (LDL) e il fondo scala (FS).

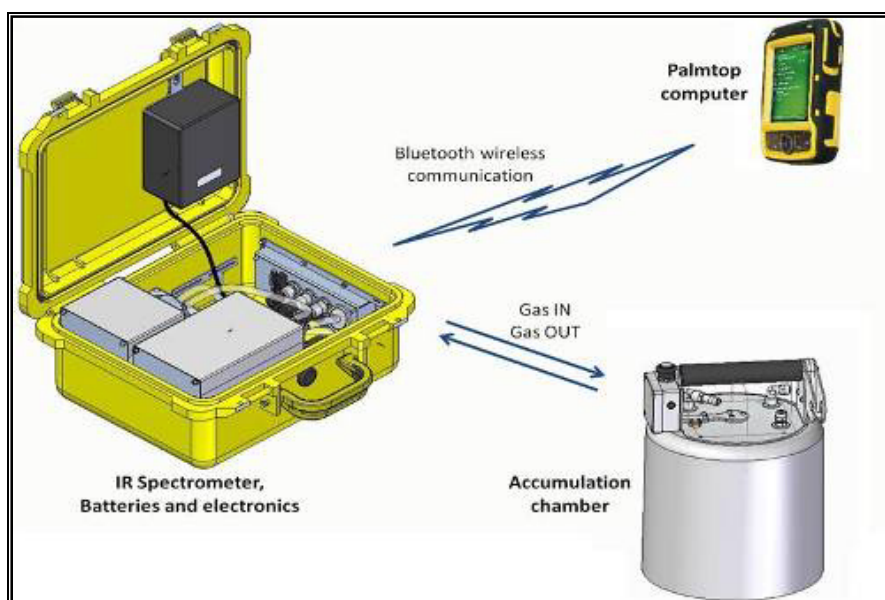


Figura A1.1 Schema della strumentazione portatile di misura di flussi con camera di accumulo.

Tabella A1.1 Range di misura dei flussi per ogni specie gassosa.

Specie Gassosa	Metodologia	LDL 10 ⁻³ *[mol/m ² *d]	FS [mol/m ² *d]
CH ₄	Spettrometria IR con Tunable Laser Diode con cella multipasso	0.5	1000
CO ₂	Spettrometria IR	2	300
H ₂ S	Cella elettrochimica	0.01	0.3

La camera di accumulo viene posta sul terreno curando la perfetta adesione del bordo sul suolo così da ridurre al minimo gli scambi con l'atmosfera esterna che provocherebbero sostanziali errori nella misura. La camera di accumulo è equipaggiata con un dispositivo di miscelamento in modo da ottenere il perfetto mescolamento dei gas all'interno della stessa.

Una piccola pompa a membrana aspira il gas dall'interno della camera lo invia ai sensori da dove vengono reiniettati nella camera di accumulo. In queste condizioni la concentrazione dei gas

indagati all'interno della camera aumenta nel tempo con legge lineare. Un software dedicato permette di valutare, direttamente in sito, la pendenza della retta che descrive l'aumento di concentrazione delle componenti analizzate.

Lo strumento si basa sulla tecnica della camera di accumulo.

A partire dagli anni '70 la camera di accumulo è stata utilizzata per misurare il tasso di respirazione dei suoli (Witkamp 1969; Kucera and Kirkman 1971; Kanemasu et al., 1974; Parkinson, 1981) e dagli anni '90 è stata impiegata anche per le misure di flussi di CO₂ da aree geotermiche e vulcaniche (Chiodini et al., 1996; Chiodini et al., 1998; Frondini et al., 2004; Werner e Cardellini, 2006). Successivamente la collaborazione tra West Systems, IGG-CNR e l'Università di Perugia ha permesso di apportare le integrazioni necessarie a rendere il Flussimetro uno strumento portatile e semplice da utilizzare (Virgili, 2008). Il principale vantaggio rispetto alle altre metodologie è dovuto al fatto che le misure di flusso dal suolo realizzate con la camera di accumulo sono indipendenti dal regime di flusso (avvettivo o diffusivo) e dalle caratteristiche del suolo (porosità, coefficiente diffusivo, ecc) (Tonani and Miele, 1991). Questa peculiarità, unita alle caratteristiche di maneggevolezza, semplice utilizzo e tempi brevi di misura, ha permesso di estendere la sua applicazione anche alla valutazione delle emissioni diffuse dalle coperture di discariche di RSU (Cossu et al., 1997; Cioni et al., 2002; 2003; Capaccioni et al., 2005; Raco et al., 2010). Attualmente il Flussimetro, equipaggiato con i sensori sopra descritti, consente la misura del reale flusso di CO₂, CH₄ e H₂S emesso in atmosfera anche da coperture di discariche controllate (Giovenali et al., 2013).

Appendice 2: Metodologie statistiche e geostatistiche utilizzate

Stima del flusso totale del biogas diffuso dal suolo

Le mappe di isoflusso sono state ottenute utilizzando il metodo del kriging, tuttavia la stima globale di biogas non può essere fatta utilizzando questa tecnica per due motivi (Journel and Huijbregts, 1978):

- generalmente non è possibile assumere la stazionarietà o una singola media di forma conosciuta sull'intera area di studio, ma solo per un limitato intorno (local quasi-stationarity);
- anche nel caso in cui fosse verificata la stazionarietà sull'intera area di studio di solito ci sono troppi dati per costruire e quindi risolvere la matrice di calcolo del kriging.

Inoltre la costruzione di questa matrice implicherebbe che il semivariogramma sia conosciuto su una distanza h pari alle dimensioni dell'area di studio, mentre è noto che l'affidabilità del semi-semivariogramma sperimentale è limitata ad una distanza pari a metà delle dimensioni dell'area investigata.

Per stimare il flusso totale del biogas diffuso dal suolo è stata quindi utilizzata la procedura descritta da Sinclair (1974; 1991) e l'estimatore di Sichel (1966), tale metodologia statistica prevede il riconoscimento delle diverse popolazioni presenti nel set di misure attraverso la costruzione delle curve di probabilità cumulata. Per una distribuzione normale unimodale, la curva di probabilità cumulata è una retta, se la distribuzione è polimodale si hanno tanti punti di flesso quante sono le popolazioni presenti. Una volta riportate nella curva di probabilità cumulata le diverse famiglie, si stimano i valori della media e della deviazione standard delle diverse popolazioni riconosciute. Poiché abbiamo a che fare con distribuzioni lognormali, si ha la necessità di trovare la media dei valori non logaritmici, a tale scopo si utilizzano le tabelle di Sichel e l'estimatore t (Sichel, 1966). Infine, sempre attraverso le tabelle di Sichel, si stima l'intervallo di confidenza al 95%.

Mappe di isoflusso

Le mappe di isoflusso sono state costruite applicando la tecnica geostatistica conosciuta come metodo di interpolazione ed estrapolazione del kriging (Krige 1951; Matheron, 1962; 1965; 1969; 1970). La possibilità di disporre di una metodologia che permetta di visualizzare l'andamento di un qualsiasi parametro chimico-fisico su tutta un'area di studio è di notevole sostegno nell'interpretazione e nella correlazione di tutto l'insieme dei dati. In effetti, avere a disposizione una mappa con delle isolinee dei flussi di CO_2 e/o di CH_4 , permette di mostrare, in maniera chiara, la presenza di zone ad elevata permeabilità verticale.

Quando si traccia una linea di isoflusso, di fatto si effettua un'interpolazione di punti sperimentali. Se ciò viene svolto manualmente esiste una parte di interpretazione che è funzione della densità dei dati e del grado di regolarità delle variabili considerate; per questo, le linee tracciate dipendono soggettivamente dall'esperienza acquisita dall'operatore. Se si dispone di pochi dati, si può comunque cercare di dare un'interpretazione quando lavoriamo con strutture ben conosciute. Se invece vogliamo adottare una metodologia oggettivamente riproducibile che tracci le linee di livello, dobbiamo tenere conto delle caratteristiche strutturali del parametro che è stato misurato (Chilés e Chauvet, 1973). Un metodo cartografico infatti, non può creare informazioni, ma deve utilizzare al meglio ed in modo valutabile quelle esistenti.

I metodi comunemente usati nell'analisi geostatistica non analizzano come il valore del parametro sia realmente influenzato dalla sua posizione spaziale e dalla sua relazione con i punti vicini, ma,

dando per scontato che la grandezza considerata sia una variabile continua delle coordinate spaziali, utilizzano algoritmi di interpolazione di tipo diverso. Tutti questi metodi sono accomunati dalla mancanza di un criterio oggettivo per valutare la "qualità" della mappa, per cui essi non possono quantificare la precisione della stima. Infatti, non basta tracciare una carta, è importante anche sapere quale confidenza accordarle.

Il metodo che supera questa difficoltà è il kriging, elaborato da George Matheron agli inizi degli anni sessanta (Matheron, 1962; 1965; 1969; 1970) su un'idea di Krige (1951), ampiamente sviluppato dai ricercatori del centro di geostatistica dell'Ecole des Mines di Fontainebleau (Chauvet, 1982; Chauvet, 1991; Chauvet, 1993; Chauvet e Galli, 1982, Armstrong, 1984a; Armstrong 1984b; Wackernagel, 1995), e presentato da molti autori (Clark, 1979; David, 1977; Davis, 1986). Tale metodologia geostatistica permette, non solo di stimare il valore del parametro studiato in un punto dove non è possibile la sua misura, ma anche di dare l'errore di tale stima. Introducendo il concetto di variabile regionalizzata (cioè una funzione $f(x)$ definita nello spazio e dotata di continuità spaziale), questa metodologia permette altresì di studiare, da un punto di vista prettamente matematico, le correlazioni spaziali di una distribuzione di punti.

In estrema sintesi, il metodo del kriging richiede la costruzione del semivariogramma sperimentale, la valutazione del modello matematico che meglio interpreta i dati del semivariogramma e prevede la definizione del miglior intorno da considerare per il processo d'interpolazione.

.

Appendice 3: Misure di flusso

Dati espressi in moli/m²giorno. I limiti di rilevabilità strumentale (d.l.): CO₂ ≈ 0.002 moli/m²giorno; CH₄ ≈ 0.0005 moli/m²giorno.

Scarpino 1: misure effettuate a settembre 2016

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
1	488272	4924459	0.000962	0.072980	<d.l
2	488275	4924434	<d.l	0.020765	<d.l
3	488295	4924459	0.000889	0.090685	<d.l
4	488296	4924438	<d.l	0.010941	<d.l
5	488316	4924464	0.000579	0.140596	<d.l
6	488321	4924448	<d.l	<d.l	<d.l
7	488340	4924475	0.001245	0.039916	<d.l
8	488347	4924460	<d.l	0.036248	<d.l
9	488332	4924492	0.000615	0.068872	<d.l
10	488315	4924490	0.003930	0.102072	<d.l
11	488291	4924478	<d.l	0.289562	<d.l
12	488373	4924450	0.004342	0.007133	<d.l
13	488343	4924436	<d.l	0.027683	<d.l
14	488328	4924430	0.004901	0.003902	<d.l
15	488304	4924413	<d.l	0.008249	<d.l
16	488286	4924414	0.002684	<d.l	<d.l
17	488261	4924403	0.000583	0.002668	<d.l
18	488241	4924409	0.006601	<d.l	<d.l
19	488244	4924426	<d.l	0.010374	<d.l
20	488225	4924412	0.009355	0.004708	1.05E-04
21	488192	4924396	0.213191	0.736552	<d.l
22	488229	4924375	0.010794	0.152372	<d.l
23	488203	4924373	<d.l	0.255225	<d.l
24	488252	4924383	<d.l	0.032054	<d.l
25	488214	4924393	<d.l	0.128823	<d.l
26	488274	4924385	0.006768	0.011755	<d.l
27	488232	4924393	0.018739	0.362527	<d.l
28	488318	4924396	0.004070	<d.l	<d.l
29	488291	4924393	0.001314	0.011784	<d.l
30	488343	4924397	0.003677	<d.l	<d.l
31	488339	4924415	0.075559	0.186092	<d.l
32	488365	4924396	0.384147	0.432335	<d.l
33	488359	4924426	0.175471	0.769049	<d.l
34	488386	4924396	0.111583	0.147198	<d.l
35	488382	4924426	0.033434	0.049803	1.78E-04
36	488413	4924387	0.121778	0.058430	<d.l
37	488401	4924419	0.012358	0.067109	<d.l
38	488424	4924376	<d.l	<d.l	3.17E-04

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
39	488419	4924409	<d.l	0.158500	<d.l
40	488446	4924367	<d.l	0.023924	<d.l
41	488390	4924406	<d.l	0.179194	<d.l
42	488458	4924348	0.004689	0.118480	<d.l
43	488366	4924407	0.025935	0.129283	<d.l
44	488479	4924336	<d.l	0.012170	2.35E-04
45	488432	4924388	<d.l	0.014606	<d.l
46	488439	4924340	0.003003	0.106906	<d.l
47	488416	4924352	<d.l	0.107148	<d.l
48	488419	4924342	<d.l	0.020493	<d.l
49	488397	4924363	<d.l	0.254152	<d.l
50	488387	4924348	<d.l	0.008614	<d.l
51	488371	4924364	<d.l	0.106351	<d.l
52	488369	4924347	<d.l	0.012305	<d.l
53	488349	4924361	<d.l	0.016079	<d.l
54	488349	4924343	<d.l	0.059505	1.21E-04
55	488328	4924361	0.109311	0.017888	<d.l
56	488328	4924344	0.002524	0.060118	<d.l
57	488306	4924359	0.000870	0.166471	<d.l
58	488303	4924345	<d.l	0.072700	<d.l
59	488286	4924363	<d.l	0.021261	<d.l
60	488278	4924341	0.001794	0.026607	<d.l
61	488231	4924342	0.000982	0.076981	<d.l
62	488258	4924343	<d.l	0.055706	<d.l
63	488186	4924340	<d.l	0.201574	<d.l
64	488213	4924340	<d.l	0.127671	<d.l
65	488142	4924347	0.001486	0.045235	<d.l
66	488168	4924341	<d.l	0.184917	<d.l
67	488148	4924369	0.000501	0.738238	<d.l
68	488170	4924363	0.004793	0.014243	1.42E-04
69	488128	4924370	<d.l	0.142497	<d.l
70	488174	4924384	<d.l	0.014787	<d.l
71	488135	4924384	<d.l	1.296669	<d.l
72	488159	4924398	0.005558	0.061643	<d.l
73	488151	4924322	<d.l	0.123198	<d.l
74	488141	4924403	0.003036	0.283367	<d.l
75	488119	4924299	0.000939	0.779933	<d.l
76	488114	4924313	<d.l	<d.l	<d.l
77	488138	4924300	1.119969	#####	<d.l
78	488138	4924318	<d.l	0.052207	1.21E-04
79	488162	4924300	<d.l	2.178232	<d.l
80	488178	4924321	<d.l	0.021065	3.52E-04
81	488184	4924304	0.000640	0.057866	<d.l
82	488206	4924322	0.001248	0.217053	<d.l
83	488208	4924301	<d.l	0.099698	<d.l
84	488227	4924321	<d.l	0.048122	<d.l

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
85	488230	4924294	0.019010	0.023146	<d.l
86	488253	4924316	<d.l	0.084097	<d.l
87	488251	4924291	0.001407	0.017950	1.31E-04
88	488276	4924314	0.001011	0.054413	<d.l
89	488270	4924289	<d.l	0.030305	1.91E-04
90	488300	4924310	<d.l	0.030515	<d.l
91	488289	4924288	<d.l	0.601045	<d.l
92	488323	4924310	<d.l	0.077847	<d.l
93	488311	4924291	<d.l	0.687499	<d.l
94	488346	4924310	<d.l	0.070521	<d.l
95	488338	4924283	<d.l	1.200250	<d.l
96	488372	4924304	0.000856	0.084737	<d.l
97	488355	4924287	<d.l	0.011328	<d.l
98	488396	4924304	<d.l	0.043437	<d.l
99	488380	4924289	0.000589	0.259057	<d.l
100	488420	4924301	0.000543	0.003219	4.48E-04
101	488404	4924285	0.000784	0.277146	<d.l
102	488447	4924301	0.000857	0.141070	<d.l
103	488422	4924277	<d.l	0.911148	<d.l
104	488463	4924311	<d.l	0.088890	<d.l
105	488445	4924265	<d.l	0.694857	<d.l
106	488268	4924325	<d.l	0.015496	<d.l
107	488461	4924253	<d.l	1.073940	<d.l
108	488299	4924325	0.000985	0.401289	<d.l
109	488479	4924242	0.001934	0.933681	<d.l
110	488317	4924324	0.001780	0.401970	<d.l
111	488497	4924226	<d.l	1.242098	<d.l
112	488347	4924322	0.004062	0.105666	<d.l
113	488495	4924250	<d.l	0.031178	<d.l
114	488374	4924320	0.001445	0.145564	<d.l
115	488214	4924273	<d.l	0.842168	1.36E-04
116	488398	4924320	<d.l	0.279146	<d.l
117	488145	4924287	0.000511	0.719690	<d.l
118	488421	4924313	0.003095	0.341102	<d.l
119	488091	4924309	0.000655	0.030780	4.41E-04
120	488451	4924287	0.001613	0.499058	1.24E-04
121	488119	4924271	<d.l	0.109417	<d.l
122	488470	4924273	<d.l	0.619159	<d.l
123	488137	4924261	<d.l	0.197282	<d.l
124	488485	4924259	1.347441	1.747045	<d.l
125	488181	4924248	<d.l	0.170303	<d.l
126	488190	4924267	0.005833	0.915735	1.20E-04
127	488227	4924238	<d.l	0.036528	<d.l
128	488168	4924276	0.011718	1.083086	<d.l
129	488269	4924247	<d.l	0.062787	<d.l
130	488127	4924292	<d.l	1.593174	<d.l

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
131	488337	4924263	<d.l	0.031899	<d.l
132	488104	4924291	0.005749	<d.l	6.59E-04
133	488384	4924258	<d.l	0.053022	<d.l
134	488162	4924248	<d.l	0.058361	<d.l
135	488428	4924245	<d.l	0.137929	1.30E-04
136	488208	4924239	<d.l	0.064189	2.28E-04
137	488468	4924221	0.000631	0.048163	<d.l
138	488254	4924235	0.007846	0.003837	<d.l
139	488144	4924225	<d.l	0.076659	2.59E-04
140	488296	4924250	<d.l	0.004055	<d.l
141	488186	4924215	<d.l	0.053283	<d.l
142	488321	4924259	0.008959	0.158636	1.35E-04
143	488233	4924209	<d.l	0.081902	<d.l
144	488368	4924254	<d.l	0.034736	<d.l
145	488279	4924217	<d.l	0.061514	1.88E-04
146	488414	4924247	0.000924	0.007355	3.64E-04
147	488321	4924233	<d.l	0.059384	1.84E-04
148	488458	4924229	0.002369	0.016190	8.47E-04
149	488370	4924237	<d.l	0.051075	<d.l
150	488493	4924204	<d.l	0.519892	<d.l
151	488416	4924231	0.001104	0.045020	2.81E-04
152	488116	4924222	<d.l	0.085078	4.23E-04
153	488458	4924210	<d.l	0.049236	<d.l
154	488169	4924222	<d.l	0.077888	<d.l
155	488502	4924184	<d.l	0.080829	<d.l
156	488219	4924214	0.002150	0.037133	<d.l
157	488462	4924179	<d.l	0.040360	3.57E-04
158	488258	4924214	<d.l	<d.l	<d.l
159	488421	4924195	<d.l	0.040928	1.85E-04
160	488308	4924226	0.007084	0.002527	1.40E-04
161	488372	4924212	<d.l	0.053988	<d.l
162	488351	4924239	<d.l	0.049361	<d.l
163	488326	4924202	<d.l	0.071601	<d.l
164	488402	4924239	0.006580	0.066654	<d.l
165	488354	4924210	<d.l	0.104618	1.15E-04
166	488448	4924219	0.002641	<d.l	2.02E-04
167	488401	4924204	<d.l	0.010016	1.30E-04
168	488490	4924193	0.008774	0.047849	<d.l
169	488453	4924188	0.001942	0.028854	<d.l
170	488494	4924172	0.007695	0.080121	<d.l
171	488284	4924177	<d.l	0.048193	1.86E-04
172	488311	4924190	<d.l	0.285954	<d.l
173	488267	4924163	0.003611	0.083199	<d.l
174	488261	4924135	0.001348	0.014951	<d.l
175	488256	4924118	0.003317	0.051765	<d.l
176	488361	4924192	<d.l	0.157683	<d.l

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
177	488286	4924146	0.002839	0.069945	1.41E-04
178	488401	4924179	<d.l	0.220321	<d.l
179	488304	4924159	0.002267	0.088922	<d.l
180	488440	4924161	0.002552	0.135501	<d.l
181	488318	4924170	0.001843	0.061223	<d.l
182	488374	4924167	0.003626	0.145700	<d.l
183	488337	4924179	0.001281	0.147141	<d.l
184	488349	4924162	0.004557	0.389715	<d.l
185	488382	4924186	0.001423	0.064549	1.93E-04
186	488317	4924140	0.011849	0.078487	<d.l
187	488421	4924169	<d.l	0.054938	1.76E-04
188	488297	4924113	0.040957	0.194993	<d.l
189	488458	4924153	<d.l	1.719899	<d.l
190	488280	4924074	0.015813	0.059573	<d.l
191	488337	4924153	0.002328	0.041066	<d.l
192	488248	4924041	0.003686	0.581440	<d.l
193	488306	4924127	0.000762	0.058111	<d.l
194	488267	4924054	<d.l	0.111578	1.75E-04
195	488291	4924090	<d.l	0.033294	<d.l

Scarpino 1: misure effettuate a ottobre 2016

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
1	488707	4924236	<d.l	0.323899	<d.l
2	488737	4924229	0.003003	0.497152	<d.l
3	488750	4924220	<d.l	0.119227	1.56E-04
4	488775	4924208	0.003288	0.332115	<d.l
5	488789	4924197	0.630067	1.517865	1.70E-05
6	488808	4924179	0.013690	0.223725	<d.l
7	488817	4924166	<d.l	0.147111	8.40E-05
8	488830	4924145	0.009065	0.015155	4.90E-05
9	488823	4924128	<d.l	0.033922	<d.l
10	488829	4924091	0.006118	0.045943	<d.l
11	488827	4924105	0.000723	0.042813	<d.l
12	488819	4924082	0.001437	0.301205	<d.l
13	488826	4924064	<d.l	0.071524	7.20E-05
14	488810	4924102	0.002896	0.531194	<d.l
15	488828	4924048	0.000538	0.272547	<d.l
16	488804	4924115	<d.l	0.045943	5.00E-05
17	488828	4924030	<d.l	0.051627	<d.l
18	488799	4924133	<d.l	0.143249	<d.l
19	488819	4924010	0.000547	0.041311	<d.l
20	488781	4924151	0.009346	0.142568	<d.l
21	488804	4924028	<d.l	0.084140	8.90E-05

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
22	488769	4924164	<d.l	0.378140	<d.l
23	488795	4924049	<d.l	0.152215	<d.l
24	488755	4924178	0.003471	0.045684	<d.l
25	488787	4924072	<d.l	0.079158	1.37E-04
26	488736	4924193	<d.l	0.088441	<d.l
27	488779	4924094	<d.l	0.127244	<d.l
28	488717	4924204	0.006521	0.219231	<d.l
29	488771	4924118	<d.l	0.110352	1.64E-04
30	488704	4924211	<d.l	0.057122	<d.l
31	488756	4924136	<d.l	0.140320	<d.l
32	488684	4924216	0.004032	0.030719	9.60E-05
33	488735	4924148	<d.l	0.114997	2.13E-04
34	488794	4924011	<d.l	0.133159	<d.l
35	488715	4924163	0.000800	0.052715	1.86E-04
36	488785	4924049	0.004941	0.127304	<d.l
37	488697	4924177	<d.l	0.107317	<d.l
38	488765	4924087	<d.l	0.074103	<d.l
39	488677	4924187	<d.l	0.219356	1.80E-04
40	488738	4924123	<d.l	0.057218	<d.l
41	488808	4923993	<d.l	0.048960	<d.l
42	488695	4924147	0.009210	0.115729	<d.l
43	488786	4924032	<d.l	0.090547	<d.l
44	488630	4924156	<d.l	0.040333	<d.l
45	488767	4924071	0.001949	0.029308	<d.l
46	488665	4924140	0.005225	0.141751	<d.l
47	488748	4924110	0.000902	0.028710	<d.l
48	488704	4924117	<d.l	0.355400	3.10E-05
49	488712	4924140	<d.l	0.077886	<d.l
50	488645	4924126	<d.l	0.131021	<d.l
51	488671	4924159	<d.l	0.142221	1.48E-04
52	488677	4924105	0.004534	0.369017	<d.l
53	488648	4924162	<d.l	0.049343	1.44E-04
54	488706	4924078	0.001157	0.319315	1.08E-04
55	488645	4924148	<d.l	0.211998	1.35E-04
56	488714	4924056	0.003129	0.181376	<d.l
57	488682	4924129	<d.l	0.188238	<d.l
58	488733	4923993	<d.l	0.173342	4.20E-05
59	488715	4924103	<d.l	0.213991	<d.l
60	488595	4924111	0.001060	0.059260	<d.l
61	488730	4924081	0.128246	0.311636	<d.l
62	488618	4924102	0.003994	1.193111	<d.l
63	488742	4924061	0.002572	0.180880	<d.l
64	488634	4924098	0.011818	0.076077	<d.l

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
65	488752	4924037	0.002456	0.130188	9.30E-05
66	488594	4924085	<d.l	0.118725	4.40E-05
67	488760	4924012	0.001411	0.264116	<d.l
68	488629	4924068	<d.l	0.006363	2.60E-05
69	488767	4923989	0.002961	0.106413	<d.l
70	488672	4924021	<d.l	0.032952	7.10E-05
71	488774	4923969	0.001551	0.040115	<d.l
72	488675	4923982	0.000579	0.034872	7.00E-05
73	488621	4924138	0.004607	0.240663	<d.l
74	488549	4924076	0.011098	0.084656	<d.l
75	488666	4924117	<d.l	0.407134	<d.l
76	488587	4924063	<d.l	0.007327	2.10E-05
77	488691	4924091	<d.l	0.052792	<d.l
78	488615	4924049	<d.l	0.268797	<d.l
79	488723	4924033	0.001532	0.126647	<d.l
80	488639	4924024	0.254361	0.730681	7.50E-05
81	488727	4924011	<d.l	0.394258	3.60E-05
82	488653	4923986	<d.l	0.083907	<d.l
83	488703	4923973	0.000665	0.087205	<d.l
84	488617	4923935	0.008131	0.150466	9.70E-05
85	488697	4923994	0.001211	0.163405	<d.l
86	488635	4923945	0.002688	0.043472	<d.l
87	488694	4924016	<d.l	0.238057	<d.l
88	488644	4923963	0.005505	0.032451	<d.l
89	488685	4924037	<d.l	0.451128	<d.l
90	488647	4924001	0.032725	0.438559	<d.l
91	488674	4924059	<d.l	0.112636	<d.l
92	488628	4924034	0.017743	0.025139	<d.l
93	488661	4924075	0.000814	0.117403	<d.l
94	488600	4924059	0.004770	0.089811	1.01E-04
95	488643	4924087	<d.l	0.024219	<d.l
96	488567	4924072	<d.l	0.038874	1.65E-04
97	488610	4924076	<d.l	0.047090	2.50E-05
98	488665	4923954	1.283370	5.590440	<d.l
99	488643	4924054	<d.l	0.030903	<d.l
100	488671	4923997	0.006243	0.038245	<d.l
101	488660	4924035	<d.l	0.090363	<d.l

Scarpino 2: misure effettuate ad agosto 2016

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
1	488534.3125	4923695.0000	4.04E-01	2.25E+00	<d.l

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
2	488524.0313	4923681.0000	<d.l	5.08E-03	<d.l
3	488563.3750	4923711.5000	<d.l	8.26E-01	6.75E-05
4	488550.5938	4923682.5000	<d.l	9.38E-03	4.77E-05
5	488574.0938	4923706.5000	7.70E-03	7.61E-01	6.66E-05
6	488572.6250	4923681.0000	4.11E-03	1.90E-02	4.34E-05
7	488610.4375	4923704.0000	8.93E-04	3.66E-01	2.38E-05
8	488595.8438	4923679.0000	2.46E-01	2.17E-01	1.41E-05
9	488630.8125	4923706.5000	8.44E-04	1.07E-01	<d.l
10	488615.4688	4923670.5000	2.32E-02	4.01E-02	<d.l
11	488656.8438	4923710.0000	<d.l	5.86E-01	7.80E-05
12	488634.5625	4923668.5000	<d.l	1.72E-02	1.65E-04
13	488658.0625	4923688.0000	7.23E-03	1.92E+00	5.16E-05
14	488658.9063	4923667.5000	3.09E-02	7.30E-02	<d.l
15	488673.0625	4923670.0000	5.65E-03	1.50E-01	7.14E-05
16	488673.6875	4923651.5000	1.27E-03	8.34E-03	7.57E-05
17	488716.2500	4923623.5000	<d.l	1.03E-01	3.11E-05
18	488653.0000	4923603.0000	<d.l	1.59E-02	<d.l
19	488691.6875	4923621.0000	6.91E+00	5.23E+00	1.98E-04
20	488629.8438	4923651.0000	<d.l	<d.l	4.45E-05
21	488674.9063	4923625.0000	<d.l	1.20E-01	4.42E-05
22	488605.9063	4923656.5000	1.40E-02	3.30E-02	<d.l
23	488648.1875	4923630.0000	2.21E-02	1.72E-01	2.66E-05
24	488583.0625	4923652.0000	<d.l	<d.l	<d.l
25	488619.5313	4923627.5000	2.70E-03	1.60E-01	<d.l
26	488559.3125	4923655.5000	2.77E-03	1.77E-02	3.07E-05
27	488596.1875	4923638.0000	<d.l	8.00E-02	<d.l
28	488538.8438	4923612.0000	<d.l	<d.l	1.88E-05
29	488571.9063	4923640.0000	3.23E+00	4.56E+00	6.28E-05
30	488562.0625	4923607.5000	<d.l	<d.l	6.58E-05
31	488548.8750	4923647.0000	<d.l	3.69E-01	<d.l
32	488585.0625	4923607.5000	<d.l	<d.l	<d.l
33	488531.2813	4923648.0000	2.37E-02	7.07E-02	2.74E-05
34	488606.5313	4923602.0000	<d.l	<d.l	3.72E-05
35	488518.6250	4923595.5000	<d.l	1.12E-01	1.35E-05
36	488626.2500	4923598.5000	8.32E-04	<d.l	<d.l
37	488544.4688	4923598.0000	<d.l	1.75E-01	8.30E-05
38	488647.5000	4923594.5000	<d.l	<d.l	2.58E-05
39	488565.7188	4923593.0000	2.02E-03	1.43E-01	1.53E-05
40	488672.0625	4923595.0000	<d.l	<d.l	<d.l

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
41	488587.9688	4923586.0000	7.96E-04	1.91E-01	5.25E-05
42	488692.8750	4923585.0000	<d.l	<d.l	7.88E-05
43	488617.8750	4923579.5000	6.07E-04	8.77E-02	<d.l
44	488717.6875	4923578.0000	<d.l	<d.l	<d.l
45	488647.4688	4923579.5000	<d.l	4.42E-02	<d.l
46	488738.2813	4923568.0000	<d.l	<d.l	<d.l
47	488673.6250	4923573.5000	<d.l	4.19E-02	2.52E-05
48	488757.6563	4923548.5000	<d.l	<d.l	<d.l
49	488697.5625	4923570.0000	<d.l	9.65E-02	3.39E-05
50	488781.9063	4923552.0000	<d.l	<d.l	1.62E-05
51	488724.9063	4923556.5000	1.36E-03	2.27E-01	6.42E-05
52	488800.0938	4923566.0000	<d.l	<d.l	1.04E-05
53	488743.7188	4923538.5000	2.08E-02	4.55E-01	6.10E-05
54	488817.7188	4923561.0000	1.78E-03	5.83E-03	<d.l
55	488761.9063	4923523.0000	<d.l	7.71E-03	<d.l
56	488808.5625	4923543.5000	<d.l	<d.l	1.84E-04
57	488764.8125	4923506.5000	<d.l	4.34E-02	1.59E-05
58	488794.6875	4923525.0000	<d.l	<d.l	4.94E-05
59	488825.7813	4923568.5000	1.12E-03	6.41E-02	<d.l
60	488794.1875	4923507.0000	<d.l	<d.l	<d.l
61	488831.9375	4923588.5000	<d.l	2.14E-01	<d.l
62	488794.8438	4923484.0000	<d.l	2.40E-03	<d.l
63	488766.7500	4923510.5000	<d.l	6.43E-03	<d.l
64	488815.7188	4923596.0000	<d.l	1.40E-02	1.53E-05
65	488791.4063	4923607.0000	9.53E-03	1.89E+00	1.56E-04
66	488783.0938	4923533.5000	<d.l	2.39E-03	1.98E-04
67	488772.0000	4923618.0000	9.28E-03	2.62E-01	4.56E-05
68	488803.4688	4923593.0000	<d.l	<d.l	1.88E-04
69	488754.8438	4923618.0000	3.98E-01	2.84E+00	4.79E-05
70	488785.2500	4923596.5000	<d.l	2.18E-03	<d.l
71	488739.0000	4923624.0000	<d.l	7.35E-02	1.79E-04
72	488764.2813	4923604.0000	3.21E-02	3.43E-02	1.21E-04
73	488694.1250	4923607.0000	3.90E-02	9.17E-01	1.15E-04
74	488744.3125	4923606.5000	2.56E-03	9.61E-03	5.19E-05
75	488750.5313	4923606.5000	1.85E+00	3.81E+00	<d.l
76	488717.5625	4923600.0000	<d.l	1.02E-02	<d.l
77	488774.5000	4923592.0000	2.72E-03	4.73E-01	4.46E-05
78	488734.3438	4923592.5000	<d.l	3.16E-03	1.98E-05
79	488621.7500	4923665.0000	<d.l	9.21E-03	3.49E-04

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
80	488752.3125	4923580.0000	9.52E-04	1.24E-02	6.29E-05
81	488569.9688	4923701.0000	<d.l	6.58E-01	4.24E-05
82	488608.8125	4923671.0000	6.32E-03	9.72E-03	1.95E-04
83	488531.2813	4923691.0000	4.42E-02	2.24E+00	8.39E-05
84	488553.1563	4923699.0000	4.21E+00	5.30E+00	<d.l
85	488587.6875	4923700.0000	<d.l	6.37E-02	1.16E-04

Scarpino 2: misure effettuate a settembre 2016

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
1	488345	4924119	<d.l	1.97E-01	<d.l
2	488368	4924132	1.73E-01	3.91E-01	<d.l
3	488355	4924099	6.44E-02	1.36E-01	1.50E-05
4	488375	4924106	7.91E-01	4.01E-01	<d.l
5	488358	4924079	<d.l	7.72E-01	2.49E-05
6	488381	4924086	2.99E-02	1.27E-01	<d.l
7	488363	4924059	1.12E-03	2.79E-01	9.09E-05
8	488386	4924066	<d.l	<d.l	<d.l
9	488367	4924039	1.39E-03	2.45E-02	1.48E-04
10	488395	4924044	4.58E-03	4.56E-02	<d.l
11	488374	4924018	9.70E-04	2.21E-02	5.47E-05
12	488398	4924019	2.28E-01	7.93E-01	<d.l
13	488385	4923994	1.26E-03	2.75E-02	1.17E-05
14	488406	4923998	2.60E-01	1.78E+00	<d.l
15	488390	4923968	1.16E-03	2.03E-02	1.01E-05
16	488411	4923977	1.50E-01	2.85E-01	<d.l
17	488395	4923944	5.34E-04	2.32E-02	2.68E-05
18	488420	4923958	2.77E-02	1.04E+00	2.40E-05
19	488401	4923924	6.78E-04	2.26E-02	<d.l
20	488429	4923936	8.21E-02	3.80E-01	3.55E-05
21	488407	4923902	8.66E-04	2.07E-02	4.03E-05
22	488433	4923913	1.30E-02	2.29E-02	2.55E-05
23	488410	4923881	<d.l	1.65E-01	5.32E-05
24	488444	4923889	4.87E-02	7.06E-01	<d.l
25	488419	4923861	<d.l	1.88E-01	1.42E-04
26	488451	4923867	<d.l	<d.l	1.57E-04
27	488424	4923843	5.49E-03	1.97E-02	<d.l
28	488449	4923845	<d.l	6.78E-03	<d.l
29	488403	4923844	<d.l	1.89E-02	<d.l

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
30	488379	4923844	3.93E-02	6.18E-02	<d.l
31	488401	4923866	7.70E-03	2.62E+00	<d.l
32	488373	4923873	<d.l	7.38E-02	8.88E-05
33	488395	4923890	<d.l	3.84E-02	<d.l
34	488370	4923894	<d.l	2.23E-03	<d.l
35	488384	4923913	5.95E-03	1.42E+00	1.65E-05
36	488371	4923894	7.06E-03	2.59E-01	<d.l
37	488374	4923937	<d.l	1.90E-02	3.08E-05
38	488359	4923916	5.94E-04	7.06E-02	<d.l
39	488369	4923958	1.70E-01	2.04E+00	<d.l
40	488356	4923942	2.75E-01	2.02E-01	<d.l
41	488360	4923978	<d.l	3.01E-01	3.28E-05
42	488340	4923966	7.87E-03	5.65E-02	<d.l
43	488350	4923999	2.80E-01	6.40E-01	4.76E-05
44	488331	4923981	3.45E+00	3.89E+00	4.47E-05
45	488345	4924019	6.70E-04	1.38E-02	3.48E-05
46	488323	4924004	1.46E-03	1.34E-01	<d.l
47	488344	4924036	<d.l	1.29E-01	1.66E-05
48	488321	4924020	2.03E-03	1.08E-01	<d.l
49	488340	4924055	1.94E-01	2.92E-01	<d.l
50	488320	4924041	9.05E-03	2.13E-01	2.43E-05
51	488339	4924077	<d.l	1.29E-01	3.55E-05
52	488305	4924062	<d.l	3.22E-02	5.34E-05
53	488336	4924103	7.57E-02	2.40E-01	<d.l
54	488316	4924088	1.51E+00	7.75E-01	<d.l
55	488277	4924029	<d.l	6.73E-02	<d.l
56	488294	4924047	<d.l	<d.l	<d.l
57	488282	4924011	4.38E-03	3.43E-01	6.90E-05
58	488294	4924021	5.81E-02	<d.l	<d.l
59	488282	4923989	<d.l	1.31E-01	1.94E-04
60	488302	4924001	1.30E-02	1.10E+00	3.79E-05
61	488290	4923969	6.12E-02	1.99E+00	<d.l
62	488301	4923981	1.47E+00	1.05E+00	<d.l
63	488281	4923949	1.85E-03	6.99E-02	<d.l
64	488309	4923953	1.30E-03	1.57E-02	<d.l
65	488291	4923929	8.08E-04	6.35E-03	3.71E-05
66	488487	4923801	1.27E-01	3.26E-01	<d.l
67	488295	4923903	1.29E-03	2.33E-02	<d.l
68	488316	4923935	3.06E-03	1.46E-01	<d.l

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
69	488314	4923893	9.11E-04	1.80E-01	6.31E-05
70	488323	4923915	<d.l	<d.l	<d.l
71	488316	4923873	2.55E-03	3.82E-01	3.59E-05
72	488330	4923895	1.40E-03	3.06E-02	<d.l
73	488290	4923887	1.96E-03	3.76E-02	<d.l
74	488333	4923878	3.34E-02	1.36E-01	<d.l
75	488262	4923894	3.03E+01	2.65E+01	<d.l
76	488331	4923859	5.29E-04	1.39E-01	1.15E-05
77	488268	4923909	3.35E-03	3.40E-02	6.87E-05
78	488319	4923839	3.63E-03	2.14E+00	<d.l
79	488244	4923896	1.20E-01	1.91E-01	<d.l
80	488299	4923868	4.40E+00	2.55E+00	<d.l
81	488221	4923885	1.01E-02	6.07E-02	<d.l
82	488279	4923873	<d.l	<d.l	5.13E-05
83	488194	4923874	4.63E-03	2.62E-01	1.44E-04
84	488258	4923878	<d.l	4.61E-03	<d.l
85	488212	4923877	1.77E+00	1.82E+00	5.37E-05
86	488234	4923884	2.62E-03	<d.l	7.60E-05
87	488424	4924126	9.92E-02	8.11E-01	<d.l
88	488410	4924130	2.22E-02	7.90E-01	<d.l
89	488420	4924099	4.57E-02	2.95E-01	<d.l
90	488407	4924105	1.09E-01	1.38E-01	<d.l
91	488424	4924082	5.82E-02	1.15E+00	<d.l
92	488412	4924083	1.99E-03	<d.l	<d.l
93	488431	4924061	2.43E-03	5.53E-01	7.14E-05
94	488417	4924066	<d.l	4.32E-02	<d.l
95	488442	4924043	1.16E-02	4.69E-02	<d.l
96	488424	4924048	<d.l	1.95E-01	<d.l
97	488453	4924022	3.83E-02	7.10E-01	<d.l
98	488432	4924028	<d.l	7.52E-02	<d.l
99	488460	4924001	8.89E-02	3.15E-01	1.97E-05
100	488446	4924010	<d.l	3.66E-02	<d.l
101	488466	4923980	1.31E-02	2.10E+00	<d.l
102	488448	4923985	2.70E-03	8.25E-01	<d.l
103	488473	4923956	8.31E-03	2.22E-01	2.38E-04
104	488449	4923967	3.64E-02	4.73E-01	3.37E-05
105	488473	4923927	3.51E-01	1.98E+00	<d.l
106	488454	4923941	<d.l	<d.l	<d.l
107	488480	4923906	9.83E-03	2.42E-01	<d.l

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
108	488457	4923924	<d.l	<d.l	1.95E-05
109	488484	4923883	7.36E-03	7.66E-03	2.71E-04
110	488473	4923905	<d.l	7.41E-02	<d.l
111	488496	4923863	2.57E-03	2.20E-02	4.63E-04
112	488475	4923884	1.28E+01	1.39E+01	<d.l
113	488509	4923843	1.72E+00	2.15E-01	<d.l
114	488482	4923869	<d.l	2.87E-01	<d.l
115	488531	4923845	<d.l	1.59E-01	<d.l
116	488481	4923851	<d.l	1.57E-02	1.45E-04
117	488524	4923865	6.96E+00	9.00E+00	5.26E-04
118	488488	4923827	5.41E-04	2.29E-02	<d.l
119	488518	4923885	2.42E-01	3.20E+00	2.20E-04
120	488549	4923851	3.38E-01	6.88E-01	<d.l
121	488510	4923910	2.97E-02	1.51E-01	<d.l
122	488546	4923876	1.20E-02	3.62E-01	5.59E-05
123	488503	4923927	4.75E-02	3.82E-01	<d.l
124	488540	4923891	1.63E-02	3.83E-02	3.14E-05
125	488498	4923949	7.08E-03	1.51E-01	<d.l
126	488535	4923905	1.24E-01	1.11E+00	7.40E-05
127	488491	4923970	4.70E-03	2.20E-02	1.72E-04
128	488526	4923924	9.27E-04	1.14E-01	4.20E-05
129	488480	4923993	6.83E-03	3.72E-01	5.53E-05
130	488520	4923947	2.78E-02	8.82E-02	<d.l
131	488478	4924011	3.55E+00	7.85E+00	2.34E-04
132	488508	4923970	1.77E-02	6.88E-02	1.43E-04
133	488470	4924038	6.45E-03	3.59E-01	<d.l
134	488502	4923990	<d.l	4.14E-03	3.44E-05
135	488460	4924057	5.37E-03	6.17E-02	6.07E-05
136	488496	4924011	1.02E-03	4.77E-01	4.70E-05
137	488452	4924077	3.33E-01	1.26E+00	1.78E-04
138	488518	4923799	<d.l	<d.l	8.74E-05
139	488446	4924099	7.08E-03	7.65E-02	<d.l
140	488489	4924028	6.94E-03	3.71E-02	<d.l
141	488441	4924117	9.33E-01	3.48E+00	<d.l
142	488481	4924048	5.14E-04	<d.l	2.70E-04
143	488487	4924085	2.05E+00	4.34E+00	<d.l
144	488473	4924064	8.12E-01	7.34E-01	<d.l
145	488494	4924059	3.98E+00	7.29E+00	1.07E-04
146	488472	4924093	2.74E-01	4.17E-01	<d.l

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
147	488506	4924045	5.73E-03	2.04E+00	<d.l
148	488510	4924072	8.20E-03	<d.l	1.52E-04
149	488513	4924023	4.61E-03	4.15E-01	1.30E-04
150	488520	4924051	<d.l	6.49E-02	<d.l
151	488523	4924002	3.24E-03	7.17E-02	<d.l
152	488526	4924033	4.84E-03	6.88E-03	4.90E-04
153	488528	4923977	4.93E-03	3.76E-02	<d.l
154	488540	4924012	2.17E-02	4.01E-01	<d.l
155	488535	4923959	<d.l	1.01E-01	<d.l
156	488546	4923996	1.86E-03	5.44E-02	9.29E-05
157	488546	4923939	2.61E-03	3.39E-01	<d.l
158	488555	4923974	3.60E-03	4.02E-01	<d.l
159	488555	4923916	3.37E-02	2.29E-01	1.65E-04
160	488565	4923957	2.20E-03	1.69E-01	1.66E-04
161	488559	4923898	6.65E-01	2.65E+00	<d.l
162	488569	4923932	1.49E-01	2.02E-02	2.01E-04
163	488567	4923878	2.73E-01	1.83E-01	<d.l
164	488573	4923915	<d.l	<d.l	<d.l
165	488569	4923854	1.77E+00	1.73E+00	1.80E-04
166	488589	4923930	3.29E+01	2.94E+01	1.12E-05
167	488605	4923946	1.27E-01	4.97E-01	2.82E-04
168	488587	4923951	1.22E-01	<d.l	4.92E-04
169	488602	4923970	4.88E+00	4.08E+00	<d.l
170	488585	4923968	2.50E-02	7.09E-01	<d.l
171	488598	4923990	5.54E-01	2.70E+00	<d.l
172	488581	4923989	8.45E-02	2.05E+00	<d.l
173	488594	4924011	4.77E-03	6.96E-02	<d.l
174	488576	4924017	<d.l	2.22E-01	<d.l
175	488583	4924036	2.40E-01	1.26E+00	<d.l
176	488566	4924037	7.70E-04	5.00E-01	<d.l
177	488606	4924025	3.57E-03	7.01E-02	<d.l
178	488616	4924006	1.29E+00	2.59E+00	<d.l
179	488620	4923980	2.64E+00	4.56E+00	<d.l
180	488601	4923851	5.10E-02	8.26E-02	<d.l
181	488587	4923836	1.54E+00	1.25E+00	<d.l
182	488618	4923847	5.60E-02	4.11E-02	1.79E-05
183	488606	4923829	9.42E-01	1.50E+00	<d.l
184	488640	4923847	1.78E-02	2.46E-01	<d.l
185	488630	4923826	5.65E-02	1.45E+00	<d.l

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
186	488657	4923848	<d.l	9.24E-03	<d.l
187	488651	4923828	8.63E-03	2.62E-01	2.51E-04
188	488679	4923842	5.18E-03	2.84E-02	1.06E-04
189	488675	4923826	4.91E-03	4.46E-01	<d.l
190	488696	4923833	7.74E-01	5.82E-01	2.19E-04
191	488693	4923811	5.38E-03	5.90E-01	<d.l
192	488713	4923818	6.46E-03	2.49E+00	<d.l
193	488696	4923791	5.12E-03	5.21E-01	2.01E-04
194	488719	4923798	<d.l	3.93E-01	7.51E-05
195	488691	4923765	7.91E-03	1.47E+00	1.27E-04
196	488716	4923786	3.17E-01	2.19E+00	6.98E-05
197	488667	4923769	5.03E-03	4.62E-01	3.23E-05
198	488712	4923770	3.39E-01	2.19E+00	6.98E-05
199	488659	4923802	5.16E-03	7.56E-01	<d.l
200	488706	4923759	<d.l	4.36E-01	7.48E-05
201	488645	4923790	5.77E-02	3.32E-01	<d.l
202	488690	4923744	<d.l	3.85E-03	3.45E-04
203	488641	4923765	1.23E-01	2.53E+00	<d.l
204	488663	4923740	8.43E-04	3.29E-01	<d.l
205	488601	4923804	<d.l	2.15E-01	8.00E-05
206	488648	4923752	1.00E-03	3.90E-01	<d.l
207	488597	4923784	7.76E-03	2.90E-03	<d.l
208	488620	4923801	3.06E-02	2.51E-02	<d.l
209	488602	4923758	1.47E+00	1.09E+00	<d.l
210	488618	4923778	7.33E-04	4.68E-03	2.53E-04
211	488597	4923736	<d.l	<d.l	2.19E-05
212	488617	4923753	3.64E-02	7.20E-02	<d.l
213	488599	4923716	3.74E-03	6.06E-02	<d.l
214	488620	4923731	<d.l	1.74E-02	1.71E-04
215	488556	4923692	4.62E-03	1.02E+00	<d.l
216	488581	4923704	2.53E-02	7.48E-02	<d.l
217	488554	4923716	6.00E-04	2.96E-01	<d.l
218	488581	4923722	<d.l	3.01E-03	2.90E-04
219	488558	4923736	3.03E-03	4.35E-02	4.42E-05
220	488581	4923743	7.53E-03	3.90E-02	1.43E-04
221	488557	4923757	4.70E-03	2.90E-01	<d.l
222	488579	4923761	6.83E-03	7.33E-02	<d.l
223	488528	4923784	5.47E-04	1.79E-02	<d.l
224	488545	4923772	<d.l	3.93E-02	<d.l

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
225	488525	4923760	2.72E-03	1.09E+00	<d.l
226	488542	4923751	2.63E-02	1.39E-01	2.65E-04
227	488520	4923735	1.16E-03	<d.l	<d.l
228	488540	4923735	6.46E-04	1.72E-01	<d.l
229	488507	4923757	3.78E-03	8.37E-01	5.58E-05
230	488532	4923707	<d.l	<d.l	1.23E-04
231	488498	4923779	3.19E-03	2.35E-01	<d.l
232	488755	4923508	1.31E-03	1.90E-01	1.87E-05
233	488722	4923531	1.41E-03	8.09E-02	1.48E-04
234	488679	4923550	1.26E-03	1.11E-01	3.12E-04
235	488631	4923556	1.69E-03	8.06E-02	4.14E-05
236	488586	4923552	1.51E-03	2.81E-01	5.37E-05
237	488541	4923543	1.91E-03	9.69E-02	<d.l
238	488498	4923533	1.88E-03	7.54E-02	3.92E-05
239	488459	4923512	7.46E-04	2.55E-01	1.25E-05
240	488436	4923471	1.03E-03	3.75E-02	1.29E-04
241	488467	4923435	1.49E-03	8.20E-02	1.36E-04
242	488479	4923471	5.51E-04	2.19E-01	<d.l
243	488518	4923500	<d.l	1.01E-01	6.54E-05
244	488560	4923519	1.91E-03	1.03E-01	<d.l
245	488603	4923523	2.17E-03	3.91E-01	6.76E-05
246	488650	4923527	<d.l	1.95E-01	<d.l
247	488692	4923522	<d.l	1.71E-01	<d.l
248	488731	4923494	1.93E-03	7.14E-02	<d.l
249	488750	4923485	1.93E-03	4.01E-02	<d.l
250	488696	4923495	1.47E-03	8.81E-02	1.51E-04
251	488592	4923488	<d.l	6.98E-01	1.98E-05
252	488633	4923491	2.18E-03	2.87E-01	<d.l
253	488678	4923475	4.44E-03	1.00E-01	1.26E-04
254	488532	4923472	<d.l	7.66E-02	8.49E-05
255	488507	4923452	2.49E-03	1.15E-01	<d.l
256	488536	4923446	1.37E-03	3.37E-01	<d.l
257	488579	4923447	1.47E-03	8.02E-02	1.27E-04
258	488630	4923437	1.17E-03	2.73E-01	1.43E-04
259	488337	4923607	1.01E-03	3.26E-02	
260	488359	4923624	<d.l	4.12E-02	
261	488378	4923638	<d.l	6.22E-02	
262	488402	4923645	<d.l	4.23E-02	
263	488422	4923651	<d.l	<d.l	

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
264	488448	4923660	8.40E-02	2.33E-01	
265	488439	4923684	7.44E-04	1.62E-01	
266	488415	4923679	<d.l	6.46E-02	
267	488397	4923666	3.62E-03	1.42E-01	
268	488376	4923657	<d.l	4.83E-02	
269	488355	4923649	<d.l	1.08E-01	
270	488337	4923642	<d.l	1.03E-01	
271	488315	4923625	<d.l	4.87E-02	
272	488309	4923649	5.18E-04	2.44E-01	
273	488327	4923665	8.04E-04	5.54E-01	
274	488350	4923682	<d.l	9.83E-02	
275	488370	4923698	<d.l	3.53E-01	
276	488395	4923714	2.16E-03	1.34E-01	
277	488421	4923724	<d.l	4.82E-02	
278	488423	4923747	<d.l	2.27E-01	
279	488394	4923737	1.01E+00	1.27E+00	
280	488367	4923731	<d.l	2.10E-02	
281	488345	4923719	<d.l	5.69E-01	
282	488321	4923719	3.94E-02	2.01E-01	
283	488308	4923741	7.20E-04	2.01E-01	
284	488327	4923751	5.63E-04	1.19E-01	
285	488359	4923755	<d.l	4.37E-02	
286	488382	4923762	<d.l	6.13E-02	
287	488412	4923771	<d.l	3.64E-01	
288	488269	4923768	2.09E+00	5.98E+00	
289	488295	4923780	1.84E-03	3.13E-01	
290	488320	4923788	1.04E-01	7.58E-01	
291	488346	4923789	1.22E-02	2.53E+00	
292	488369	4923793	6.04E-03	1.11E+00	
293	488395	4923794	1.26E+01	1.36E+01	
294	488416	4923795	2.27E-03	1.84E-02	
295	488436	4923782	4.99E-03	1.98E-01	
296	488450	4923761	4.63E-03	2.85E-01	
297	488460	4923738	<d.l	2.13E-01	
298	488457	4923712	<d.l	3.99E-01	
299	488463	4923688	<d.l	4.01E-01	
300	488475	4923665	<d.l	4.49E-01	
301	488486	4923642	<d.l	6.16E-01	
302	488512	4923665	<d.l	8.25E-02	

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
303	488502	4923692	<d.l	8.31E-01	
304	488492	4923718	9.70E-04	1.99E-01	
305	488486	4923742	1.99E+00	1.19E+00	
306	488476	4923766	1.06E-02	5.07E-02	
307	488467	4923791	1.89E-03	2.54E-01	
308	488344	4923813	9.12E-04	5.49E-01	
309	488321	4923810	<d.l	1.06E-01	
310	488292	4923808	7.38E-03	8.70E-01	
311	488264	4923805	<d.l	9.74E-02	
312	488230	4923800	<d.l	3.09E-03	
313	488222	4923835	<d.l	1.27E+00	
314	488248	4923836	<d.l	3.12E-01	
315	488278	4923834	8.80E-01	1.27E+00	
316	488301	4923831	<d.l	1.19E-01	
317	488734	4923522	<d.l	1.56E-02	7.63E-05
318	488704	4923544	4.39E-03	1.18E-01	<d.l
319	488656	4923558	<d.l	3.10E-02	<d.l
320	488607	4923562	9.05E-03	<d.l	3.69E-05
321	488565	4923557	2.11E-03	1.22E-01	<d.l
322	488523	4923542	2.42E-03	9.92E-02	<d.l
323	488476	4923525	2.32E-03	1.36E-01	<d.l
324	488447	4923496	<d.l	4.64E-01	<d.l
325	488493	4923408	<d.l	9.74E-01	<d.l
326	488472	4923452	3.33E-03	1.46E-01	6.23E-05
327	488498	4923483	<d.l	3.07E-01	1.94E-05
328	488541	4923509	3.92E-02	1.43E-01	<d.l
329	488582	4923516	6.03E-02	2.71E-01	1.68E-05
330	488628	4923528	<d.l	8.22E-02	<d.l
331	488676	4923525	<d.l	1.99E-01	<d.l
332	488713	4923511	<d.l	1.24E-02	2.12E-04
333	488714	4923475	7.93E-03	2.44E+00	<d.l
334	488572	4923486	8.61E-03	3.57E-01	<d.l
335	488658	4923490	2.50E-03	2.29E-01	<d.l
336	488614	4923490	1.06E-02	1.18E-01	<d.l
337	488552	4923483	6.89E-03	3.72E-01	<d.l
338	488514	4923439	5.46E-03	1.47E+00	2.74E-05
339	488554	4923410	1.01E-02	4.64E-01	<d.l
340	488561	4923452	2.28E-03	2.71E-01	5.77E-05
341	488610	4923440	6.85E-03	3.67E-01	<d.l

POINT	UTM LONGITUDE (WGS84 32N)	UTM LATITUDE (WGS84 32N)	CH ₄ moli/m ² giorno	CO ₂ moli/m ² giorno	H ₂ S moli/m ² giorno
342	488574	4923416	<d.l	4.02E-01	<d.l
343	488636	4923408	<d.l	1.14E-02	1.20E-04

Appendice 4: Considerazioni sull'influenza dei dati meteo

Come è noto i fenomeni di degassamento dalla superficie di copertura della discarica sono influenzati in varia misura dalla variabilità delle condizioni meteorologiche. Tra tutti i parametri meteo, pressione atmosferica, temperatura e precipitazioni/umidità del suolo, sono quelli che rivestono un ruolo preponderante nell'interazione con sistemi come quello considerato (Pinoult e Baubron, 1996). Come premesso nell'introduzione (paragrafo 2), le leggi fisiche che stanno alla base del trasporto di materia, mostrano chiaramente che le variazioni di pressione atmosferica, temperatura del suolo e dell'aria, velocità del vento e umidità del suolo possono determinare importanti variazioni di flusso. Se il flusso è di tipo advettivo, ritenendo valida la legge di Darcy, una variazione di pressione atmosferica determina un cambiamento del gradiente di pressione. Di conseguenza sarebbe lecito attendersi un aumento di flusso quando la pressione atmosferica diminuisce. L'umidità del suolo modifica la permeabilità/porosità del terreno, per cui è ragionevole attendersi variazioni di flusso indotte non solo dalle precipitazioni che producono comunque un certo carico idraulico, ma anche da variazioni di temperatura e/o umidità atmosferica che provocano processi di condensazione/evaporazione. Infine anche elevate velocità del vento possono influenzare le misure di flusso per effetto venturi (Raco et al., 2005). In Figura A2 è mostrato un diagramma che riporta l'andamento di pressione atmosferica, pioggia cumulata e flussi di CO₂ misurati in continuo, su postazione fissa, con il metodo della camera d'accumulo, presso un impianto di smaltimento (Scozzari, 2008). Il diagramma mostra la correlazione tra parametri meteorologici e flussi. Come è possibile notare, la correlazione tra i parametri è piuttosto complessa, ad esempio vi sono fasi di sostanziale stabilità dei flussi a fronte di oscillazioni piuttosto ampie della pressione atmosferica, viceversa si osservano periodi in cui alle variazioni di pressione corrispondono fluttuazioni molto marcate del flusso emesso. In ogni caso, sebbene non completamente univoca, è visibile una certa correlazione negativa tra i due parametri, sia sul breve che sul lungo periodo. Se però si presta attenzione all'andamento delle precipitazioni, si può notare come, in conseguenza di ogni evento piovoso (di norma accompagnato da abbassamento della pressione), sia presente un pressoché istantaneo aumento del flusso. Si fa presente che tale correlazione positiva è solo apparente, in realtà il punto di misura è l'unica area al riparo dalla pioggia, di conseguenza l'incremento di flusso registrato è un effetto indiretto dovuto all'azione inibente dell'acqua agente sull'intero impianto tranne che sulla stazione di misura.

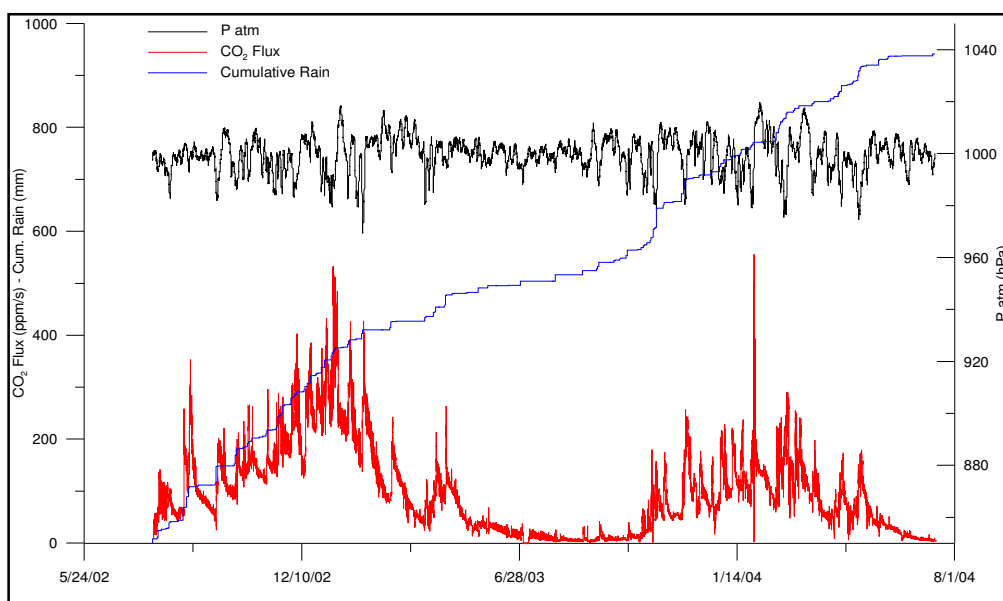


Figura A2. Andamento nel tempo della pressione atmosferica (hPa), delle precipitazioni cumulate (mm) e dei flussi di CO₂ (ppm/s), registrati da una stazione automatica.

La forma sostanzialmente impulsiva (di tipo esponenziale) degli incrementi registrati sul breve periodo, ha permesso di correlare tali fluttuazioni molto più con l'evento piovoso che non con il concomitante abbassamento della pressione atmosferica, verso il quale, invece, è stata rilevata una correlazione di tipo lineare che diviene pressoché trascurabile rispetto all'interazione provocata dall'evento piovoso.

Per meglio evidenziare quanto sopra descritto, si riportano di seguito (Figure A3 e A4) i diagrammi relativi al monitoraggio in continuo dei parametri meteo e dei flussi di CO₂ eseguito, in assenza di pioggia, in un impianto della Provincia di Pisa. Tale monitoraggio si riferisce ad un periodo di circa 2 settimane. Come è possibile notare nel diagramma Flusso CO₂ vs. P atm (Figura A3), cambiamenti della pressione di circa 20 hPa possono non provocare effetti rilevanti sui flussi di CO₂, diversamente, sembra molto più evidente la correlazione positiva tra temperatura dell'aria e flussi. I picchi più elevati di CO₂ sono probabilmente legati a malfunzionamenti dell'impianto di captazione piuttosto che a variazioni delle condizioni meteo.

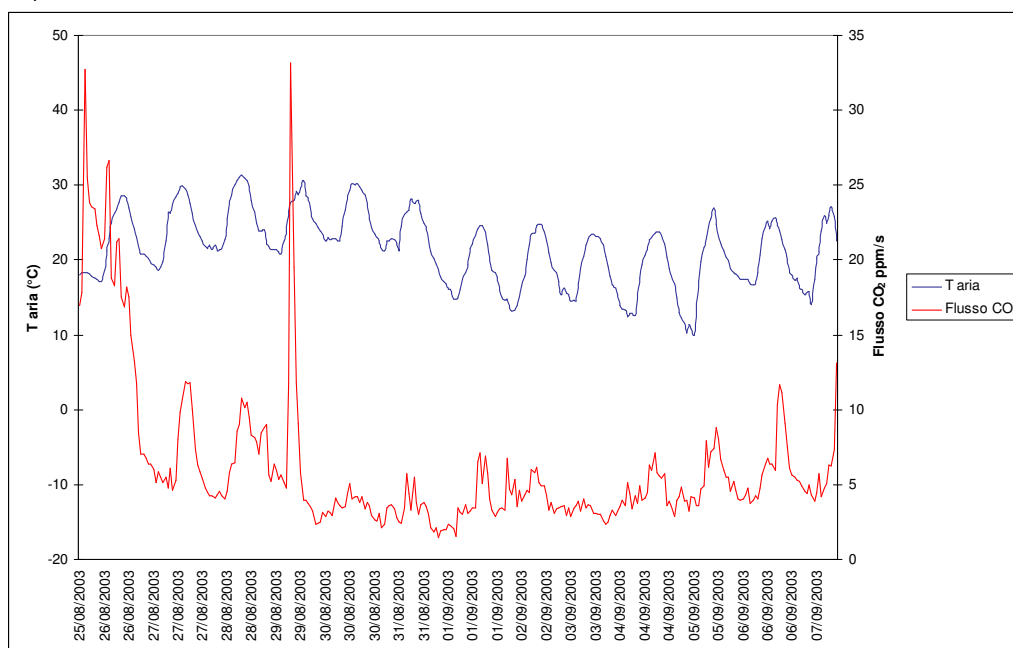


Figura A3. Andamento nel tempo della temperatura dell'aria e del flusso di CO₂.

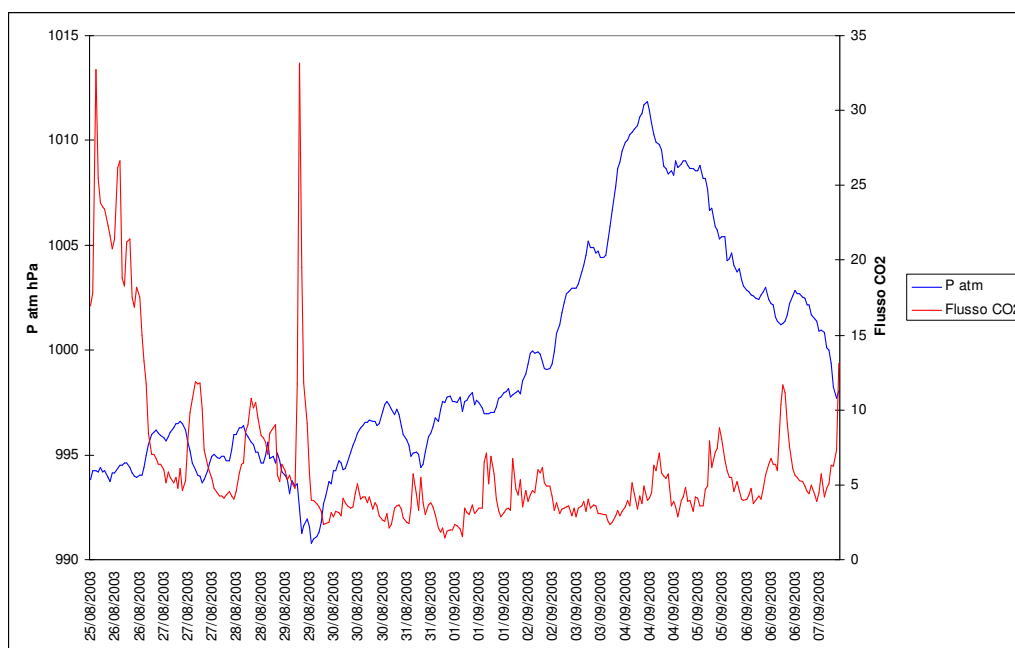


Figura A4. Andamento nel tempo della pressione atmosferica e del flusso di CO₂.

Bibliografia

Capaccioni B., Didero M., Lucci P., Pirillo M., Scartoni P., Tatano F. (2005) Camera di accumulo portatile per il monitoraggio di emissioni di biogas da discarica: risultati sperimentali ed elaborazioni preliminari a scala provinciale, RS Rifiuti Solidi, Vol. XIX, n. 2, 96-110.

Clark I. (1979). Practical Geostatistics. Department of Mineral Resources Engineering, Royal School of Mines, Imperial College of Science and Technology, London, 129p.

Chiodini G., Frondini F., Raco B. (1996). Diffuse emission of CO₂ from the Fossa crater, Vulcano Island (Italy). Bull. Volcanol., 58, 41-50.

Chiodini G., Cioni R., Guidi M., Marini L., Raco B. (1998). Soil CO₂ flux measurements in volcanic and geothermal areas. Applied Geochemistry, 13, 543-552.

Cioni R., Guidi M., Raco B., Guercio M., Corsi R. (2002) CO₂ flux from soil: a methodology to estimate the diffuse biogas, Proc. of the 7th Int. Symp. on Environmental Issue and Waste Management in Energy and Mineral Production, SWEMP pp163-174.

Cioni R., Guidi M., Raco B., Giamberini S., and Daddi P. (2003) Measurement of biogas emissions from air-soil interface in the MSW landfill of Legoli (Pisa, Italy), Proc. of the Ninth Int. Waste Management and Landfill Symposium. SARDINIA 2003

Cossu R., Muntoni A., Chiarantini L., Massacci G., Serra P., Scolletta A., Sterzi G. (1997). Biogas emissions measurements using static and dynamic flux chambers and infrared method, Proceedings Sardinia 97, sixth International Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari 13-17 October, CISA

Frondini F., Chiodini G., Caliro S., Cardellini C., Granieri D., Ventura G. (2004). Diffuse CO₂ degassing at Vesuvio, Italy, Bulletin of Volcanology, 642-651, Vol.66.

Gallego E., Roca F.J., Perales J.F., Sanchez G., Esplugas P. (2012). Characterization and determination of the odorous charge in the indoor air of waste treatment facility through the evaluation of volatile organic compounds (VOCs) using TD-GC-MS. Waste Management. 32, 2469-2481.

Giovenali E., Coppo L., Virgili G., Continanza D., Minardi I., Raco B. (2013). The Flux-meter: implementation of a portable integrated instrumentation for the measurement of CO₂ and CH₄ diffuse flux from landfill soil cover. Proceedings Sardinia 2013, *Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium*, S. Margherita di Pula, Cagliari, October 2013.

Hinkle M. (1994). Environmental conditions affecting concentrations of He, CO₂, O₂ and N₂ in soil gases. Applied Geochemistry, 9, 53 – 63.

Hinkle M., Ryder J.L., (1987). Meteorological variables and concentrations of helium, carbon dioxide, and oxygen in soil gases collected regularly at a single site for more than a year. U.S.Geol. Surv.. Open-File report. 87-449.

Hinkle M., Ryder J.L., (1988). Effect of meteorological changes on concentration of helium, carbon dioxide and oxygen, in soil gases. Soc. Mining Eng., SME Ann. Mtg. Phenix, Arizona Preprint number 88-9.

Kanemasu E.T. Power W.L., Sij J.W. (1974). Field chamber measurements of CO₂ flux from soil surface. Soil Science, 118,4, 233-237

King C.Y., Minissale A. (1994). Seasonal variability of soil gas radon concentration in central

California. Radiat. Meas., 23, 683-692.

Kising A.P., Socolow R.H. (1994). Human impact on the nitrogen cycle. Physics Today, 47-11, 24-31.

Kucera C., Kirkham D. R., (1971). Soil respiration studies in tall grass Prairie in Missouri. Ecology, 52, 912 – 915.

Parkinson K.J. (1981). An improved method for measuring soil respiration in the field. J. Appl. Ecology, 18, 221-228.

Pinoul J.L., Baubron J.C. (1996). Signal processing of soil gas radon, atmospheric pressure, moisture, and soil temperature data: a new approach for radon concentration modeling. J. Geophys. Res., 101, 3157-3171.

Raco B., Battaglini R., Lelli M., (2010) Gas emission into the atmosphere from controlled landfills: an example from Legoli landfill (Tuscany, Italy). Environ. Sci. Pollut. Res. (2010) 17:1197–1206. DOI 10.1007/s11356-010-0294-2

Tonani F., Miele G. (1991). Methods for measuring flow of carbon dioxide through soils in volcanic setting. Napoli '91. International Conference on Active Volcanoes and Risk Mitigation. Napoli, 27 August-1 September. (abstract).

Thorstenson D.C., Polloch D.W., (1989). Gas transport in unsaturated porous media: adequacy of Fick's law. Reviews of Geophysics, 27, n. 1, 61 – 78.

Trégourès A. et al., (1999). Comparison of seven methods for measuring methane flux at a municipal solid waste landfill site. Waste Management Research, 17, 453 – 458.

Virgili G., Continanza D., Coppo L. (2008) Il FLUX-meter: implementazione di una strumentazione integrata portatile per la misura dei flussi di CO₂ e CH₄ diffusi dal suolo, Giornale di Geologia Applicata, 9 (1), 73-84.

Werner C., Cardellini C. (2006). Comparison of carbon dioxide emissions with fluid upflow, chemistry, and geologic structures at the Rotorua geothermal system, New Zealand. Geothermics vol.35 221-238.

Witkamp M., (1969). Cycles of temperature and carbon dioxide evolution from litter and soil. Ecology, 50, 922 – 924.

www.westsystems.com. West Systems Carbon dioxide flux meter handbook, release 3.0 (2001).