



**Consorzio Industriale Provinciale  
Nord-Est Sardegna - Gallura**

**Provincia Olbia - Tempio  
Regione Sardegna**

**Discarica rifiuti non pericolosi  
Località "Spiritu Santu"**

**Vecchio Corpo Discarica**

**Campagna di monitoraggio strumentale  
delle emissioni diffuse di biogas**

**Relazione conclusiva  
R-01-VD  
Maggio 2025**

## INDICE

|          |                                                                                           |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>PREMESSE .....</b>                                                                     | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>DESCRIZIONE ATTIVITÀ.....</b>                                                          | <b>5</b>  |
| 2.1      | GLI IMPATTI DELLE EMISSIONI DIFFUSE DI BIOGAS .....                                       | 5         |
| 2.2      | VALUTAZIONE DELLE EMISSIONI DIFFUSE DI BIOGAS .....                                       | 8         |
| <b>3</b> | <b>CARATTERISTICHE SALIENTI DELLA DISCARICA.....</b>                                      | <b>13</b> |
| 3.1      | LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA .....                                                           | 13        |
| <b>4</b> | <b>CONTENUTI DELLA RELAZIONE.....</b>                                                     | <b>18</b> |
| <b>5</b> | <b>ASPETTI NORMATIVI E PROCEDURE DI RIFERIMENTO .....</b>                                 | <b>21</b> |
| 5.1      | DISCIPLINARE DISCARICHE (DECRETO LEGISLATIVO 36/2003).....                                | 21        |
| 5.2      | D.Lgs 121/2020.....                                                                       | 22        |
| 5.3      | IPPC (DECRETO LEGISLATIVO 372/1999).....                                                  | 22        |
| 5.4      | NORME TECNICHE SUL MONITORAGGIO DELLE EMISSIONI DI BIOGAS .....                           | 23        |
| 5.5      | LINEE GUIDA REGIONE LOMBARDIA.....                                                        | 25        |
| 5.6      | LINEE GUIDA RECONNET .....                                                                | 26        |
| <b>6</b> | <b>DESCRIZIONE DELLE INDAGINI IN CAMPO.....</b>                                           | <b>28</b> |
| 6.1      | METODOLOGIA DI INDAGINE .....                                                             | 28        |
| 6.2      | OSSERVAZIONE DELL'IMPIANTO .....                                                          | 29        |
| 6.3      | CAPTAZIONE DEL BIOGAS .....                                                               | 33        |
| 6.4      | CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA.....                                                          | 36        |
| 6.5      | ZONE ZED-A: AREA CAPPING DEFINITIVO .....                                                 | 39        |
| 6.6      | ZONE ZED-B: AREA ATTIVA – NON OGGETTO DI SMALTIMENTI DURANTE LA GIORNATA DEI RILIEVI..... | 40        |
| 6.7      | ZONE ZED-C: AREA ATTIVA – OGGETTO DI SMALTIMENTI DURANTE LA GIORNATA DEI RILIEVI .....    | 41        |
| 6.8      | DEFINIZIONE DEL NUMERO DEI PUNTI DI MONITORAGGIO .....                                    | 41        |
| 6.9      | DISPOSIZIONE E CARATTERISTICHE DEI PUNTI DI MONITORAGGIO .....                            | 42        |
| 6.10     | CONDIZIONI AMBIENTALI AL MOMENTO DELL'INDAGINE .....                                      | 46        |
| 6.11     | DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....                                         | 50        |
| 6.12     | CAMERA DI MONITORAGGIO DEL FLUSSO.....                                                    | 50        |
| 6.13     | ANALIZZATORE FID (RIVELATORE A IONIZZAZIONE DI FIAMMA) .....                              | 52        |
| 6.14     | ANALIZZATORE IR DI METANO ED ANIDRIDE CARBONICA.....                                      | 55        |
| 6.15     | SVOLGIMENTO DELL'INDAGINE .....                                                           | 55        |
| <b>7</b> | <b>RISULTATI DELL'INDAGINE IN CAMPO .....</b>                                             | <b>57</b> |
| 7.1      | SVILUPPO DEI DATI RACCOLTI IN CAMPO .....                                                 | 57        |
| 7.2      | CORREZIONE DEI DATI.....                                                                  | 58        |
| 7.3      | RISULTATI DELLE ELABORAZIONI .....                                                        | 60        |
| <b>8</b> | <b>SINTESI DELLE VALUTAZIONI .....</b>                                                    | <b>65</b> |
| 8.1      | EMISSIONI DIFFUSE .....                                                                   | 65        |
| 8.2      | RIFERIMENTO IPPC .....                                                                    | 68        |
| 8.3      | EMISSIONI GHG .....                                                                       | 70        |
| 8.4      | CONCLUSIONI .....                                                                         | 71        |
| <b>9</b> | <b>CALCOLO DI PRODUTTIVITÀ BIOGAS.....</b>                                                | <b>74</b> |
| 9.1      | CARATTERIZZAZIONE DEL FENOMENO PRODUTTIVO DEL BIOGAS .....                                | 74        |
| 9.1.1    | <i>Fase di degradazione aerobica .....</i>                                                | <i>75</i> |
| 9.1.2    | <i>Fase di degradazione facoltativa anaerobica. ....</i>                                  | <i>76</i> |
| 9.1.3    | <i>Fase Metanigena.....</i>                                                               | <i>76</i> |
| 9.2      | CARATTERISTICHE QUALITATIVE DEL BIOGAS.....                                               | 77        |
| 9.3      | VALUTAZIONI SULLA PRODUZIONE QUANTITATIVA DEL BIOGAS .....                                | 80        |
| 9.3.1    | <i>Modellistica disponibile .....</i>                                                     | <i>80</i> |
| 9.3.2    | <i>Modello di calcolo BIO .....</i>                                                       | <i>81</i> |
| 9.3.3    | <i>Valutazioni probabilistiche.....</i>                                                   | <i>83</i> |
| 9.4      | CARATTERIZZAZIONE E CONFERIMENTO DEI RIFIUTI SMALTITI .....                               | 84        |
| 9.5      | PRODUZIONE SPECIFICA .....                                                                | 93        |

|           |                                                        |            |
|-----------|--------------------------------------------------------|------------|
| 9.6       | SVILUPPO DELLA CINETICA DI DECOMPOSIZIONE .....        | 94         |
| 9.7       | EFFICIENZA D'IMPIANTO.....                             | 98         |
| 9.7.1     | CAPTAZIONE EFFETTIVA .....                             | 99         |
| 9.7.2     | CALCOLO EFFICIENZA DI CAPTAZIONE.....                  | 104        |
| <b>10</b> | <b>BILANCIO DI MASSA COMPLESSIVO DEL BIOGAS .....</b>  | <b>107</b> |
| <b>11</b> | <b>CALCOLO EMISSIONI ESPRESSE IN T/A (EPRTR) .....</b> | <b>109</b> |
| <b>12</b> | <b>VERIFICA CONFORMITA' D.LGS 121/20 .....</b>         | <b>112</b> |
| <b>13</b> | <b>INDAGINI TERMOMETRICHE E COMMENTI .....</b>         | <b>113</b> |
| 13.1      | PRINCIPI DELLA TERMOGRAFIA.....                        | 113        |
| 13.2      | CARATTERISTICHE SITO-SPECIFICHE.....                   | 115        |
| 13.3      | CONDIZIONI AMBIENTALI DEI RILIEVI .....                | 117        |
| 13.4      | STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....                        | 119        |
| 13.5      | PUNTO P1 .....                                         | 120        |
| 13.6      | PUNTO P2 .....                                         | 123        |
| 13.7      | PUNTO P3 .....                                         | 127        |
| 13.8      | PUNTO P4 .....                                         | 131        |
| 13.9      | PUNTO P5 .....                                         | 135        |
| 13.10     | PUNTO P6 .....                                         | 137        |
| 13.11     | PUNTO P7 .....                                         | 140        |
| 13.12     | PUNTO P8 .....                                         | 142        |
| 13.13     | CONCLUSIONI INDAGINI TERMOGRAFICHE.....                | 145        |
| <b>14</b> | <b>EVENTUALI SUGGERIMENTI.....</b>                     | <b>146</b> |
| <b>15</b> | <b>CONCLUSIONI.....</b>                                | <b>147</b> |

**Allegati:**

|                 |                                                       |
|-----------------|-------------------------------------------------------|
| Tavola D-01-VD: | planimetria generale                                  |
| Tavola D-02-VD: | planimetria zone omogenee ZED                         |
| Tavola D-03-VD: | distribuzione punti indagine                          |
| Tavola D-04-VD: | sovrapposizione punti indagine a zone omogenee        |
| Tavola S--R-VD  | Schema planimetrico isopotenziale emissioni reali     |
| Tavola S--P-VD  | Schema planimetrico isopotenziale emissioni ponderate |

## **1       PREMESSE**

La scrivente Bio-Clima Service S.r.l. ha ricevuto incarico dal C.I.P.N.E.S. “Gallura” (Consorzio Industriale Provinciale Nord Est Sardegna – in seguito CIPNES) per lo svolgimento di una campagna di monitoraggio strumentale del biogas prodotto ed emesso dalla superficie della discarica per rifiuti non pericolosi sita in località Spiritu Santu a servizio del suddetto CIPNES.

L’incarico è stato conferito in data ..... protocollo n° 779/2025 e CIG B681152E91

Le attività richieste, ed oggetto delle indagini descritte nella presente relazione, sono definite nel Capitolato Tecnico redatto dal CIPNES

La proposta è stata elaborata in riferimento al Capitolato Tecnico del Consorzio CIPNES in relazione alla richiesta di esecuzione di 2 campagne di monitoraggio strumentale delle emissioni prodotte dalla discarica consortile di Olbia in conformità al punto 5.4 (all.2 D.Lga 36/20) e PMC Det 352/20 della Provincia di Sassari.

In base alle informazioni fornite dal Committente CIPNES l’area da sottoporre ad indagine sarà costituita da:

- **Vecchio Corpo discarica:**  
di circa 120.000 m<sup>2</sup> (dato da capitolato).
- **Nuovo modulo discarica:**  
di circa 15.000 m<sup>2</sup> (dato da capitolato).

La presente relazione tecnica ha lo scopo di sviluppare i risultati emersi dalle indagini e relativi al solo Vecchio corpo di discarica.

Per il Nuovo modulo si procede con specifica relazione.

L’indagine sui due siti è stata svolta contestualmente, in data 28/04/2025.

Si precisa che le indagini affidate sono state condotte con la collaborazione della Società EMENDO s.r.l. che vanta una esperienza sul settore specifico della gestione dei gas di discarica di oltre 47 anni.

In particolare, per quanto riguarda le indagini sulle emissioni diffuse di gas di discarica la Soc. EMENDO ha realizzato 260 indagini su 59 impianti di discarica; inoltre, la EMENDO utilizza in esclusiva il modello di calcolo per la produzione del biogas denominato BIO-7 ampiamente validato.

## **2 DESCRIZIONE ATTIVITÀ**

Il fenomeno di produzione del biogas, dovuto alla fermentazione della frazione organica residuale dei rifiuti smaltiti in discarica, causa una leggera sovrappressione, ne consegue che una volta saturati gli interstizi alveolari il gas tende a fuoriuscire; pertanto, l'emissione di biogas dalla superficie esposta corrisponde normalmente alla produzione specifica della discarica.

La logica dell'indagine considera il fatto che l'unica interfaccia di emissione verso l'esterno della discarica è quella superiore, quindi accessibile, poiché le rimanenti superfici (inferiore e laterali) sono confinate da strati impermeabili naturali ed artificiali.

### **2.1 Gli impatti delle emissioni diffuse di biogas**

Le emissioni diffuse di biogas da discariche per rifiuti causano due principali tipi di impatto sull'ambiente circostante:

- a) Le emissioni diffuse in atmosfera sono costituite per la maggior parte da gas ad effetto serra (metano ed anidride carbonica) e pertanto la loro dispersione contribuisce al peggioramento della condizione di surriscaldamento del nostro pianeta;

- b) Le emissioni di biogas (metano ed anidride carbonica) possono trascinare limitate concentrazioni di altri gas (idrogeno solforato, mercaptani ed altri) fastidiosi specialmente per gli odori;

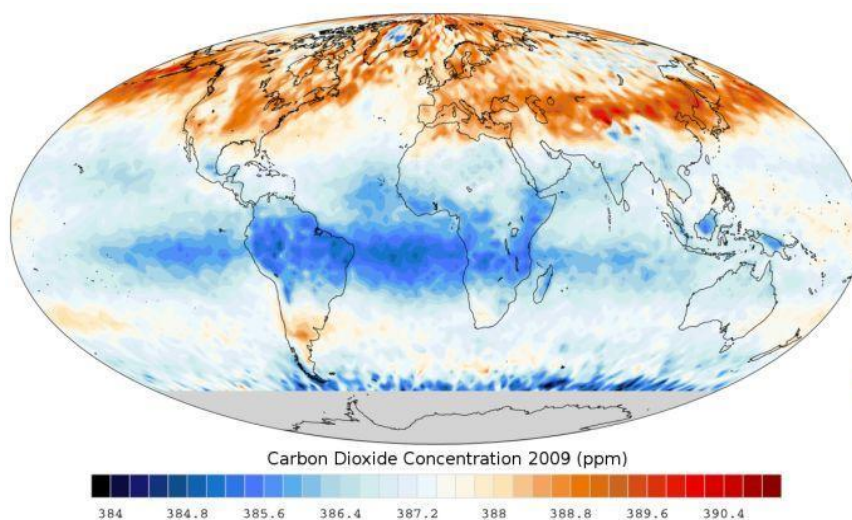
Seguono le caratteristiche salienti dei due gas che compongono il biogas prodotto dalla discarica in riferimento al loro potenziale di surriscaldamento del globo.

### **Anidride carbonica**

L'anidride carbonica è forse il più importante dei gas serra ed è responsabile per circa il 60% dell'innalzamento termico dell'effetto serra.

E' presente sulla terra da oltre 4 miliardi di anni in proporzioni anche maggiori del presente, con la rivoluzione industriale però la sua concentrazione è cresciuta di circa il 30%, soprattutto nell'emisfero Nord.

Da uno studio della NASA (AIRS 2006-2009) si apprende una valutazione media (in incremento storico) della concentrazione di CO<sub>2</sub> pari a circa 388 ppm (Europa meridionale).

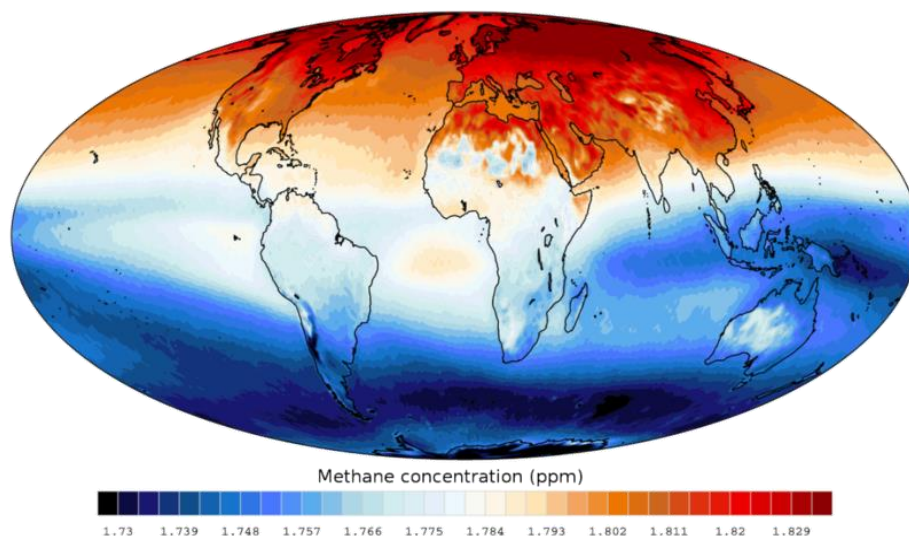


***Concentrazione CO<sub>2</sub> in atmosfera – NASA (AIRS 2006-2009)***

## Metano

Anche se meno presente della  $\text{CO}_2$ , il metano produce 21 volte il calore di quest'ultima ed è responsabile per il 20% dell'innalzamento dell'effetto serra. Il metano è prodotto dai batteri responsabili della decomposizione della materia organica, dalle discariche e dalla normale attività biologica di molti animali, come i milioni di bovini presenti sulla terra. Si emette metano anche durante la produzione e il trasporto di carbone e gas naturale.

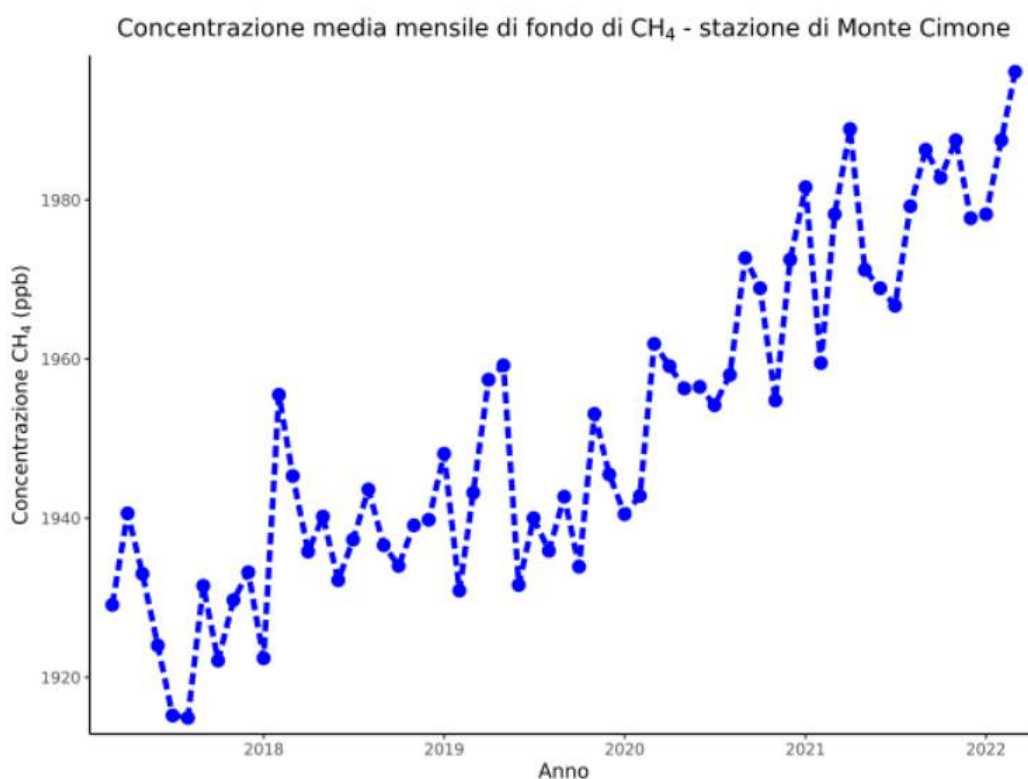
Il metano è presente nell'atmosfera terrestre: da uno studio della NASA (AIRS 2006-2009) si apprende una valutazione media (in incremento storico) della concentrazione di metano pari a circa 1,8 ppm.



**Concentrazione  $\text{CH}_4$  in atmosfera – NASA (AIRS 2006-2009)**

Il bollettino WMO (World Meteorological Organization) precisa che la crescita del livello medio di  $\text{CH}_4$  nel mondo è associata ad un aumento delle emissioni alle latitudini tropicali e medie dell'emisfero Nord.

Nel grafico seguente tratto dal recente rapporto NOAA AM – Italia si evidenzia il trend di concentrazione di metano in atmosfera in Italia (Monte Cimone – MO).



*Concentrazione CH<sub>4</sub> in atmosfera in Italia*

## 2.2 Valutazione delle emissioni diffuse di biogas

E' importante **valutare le emissioni diffuse** in modo da organizzare una ottimale azione di captazione delle stesse riducendo quindi gli impatti descritti.

La valutazione dell'emissione diffuse dovrebbe essere in grado di:

- Definire i quantitativi dei gas emessi;
- Valutare la localizzazione differita delle emissioni.

Per la valutazione delle emissioni diffuse possono essere utilizzate tre diverse procedure indicate dalla Normativa Europea: Misura, Calcolo, Stima.

### **Valutazione per misura**

Un'emissione viene definita come **misurata** quando l'informazione deriva da misure reali fatte su campioni attraverso metodi standardizzati o ufficialmente accettati. La misura può essere:

- **continua**, quando si ha un monitoraggio in continuo dell'emissione mediante dotazioni fisse;
- **discontinua**, quando la misura avviene ad intervalli periodici regolari, fornendo medie rappresentative dell'emissione sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo;
- **saltuaria**, quando la misura avviene "una tantum", fornendo dati non rappresentativi; essa può essere utile per la verifica delle stime.

Per le emissioni convogliate di biogas l'utilizzo di una misura continua dovrebbe essere coincidente con le dotazioni di processo dell'impianto di captazione e di recupero energetico, in particolare i sistemi di analisi e della misura dei flussi trattati dovrebbero poter fornire indicazioni analitiche precise.

Per le emissioni diffuse le misurazioni sono più complicate. La misurazione di tipo continuo è molto difficile data l'estensione delle superfici interessate, per la disomogeneità delle emissioni e la metodologia di indagine. E' invece più probabile una misurazione di tipo discontinua o saltuaria.

Il D.Lgs. 36/03 (Disciplinare discariche) prevede all'allegato 2, punto 5.4 (piano di sorveglianza e controllo) un monitoraggio delle emissioni diffuse. Ne consegue che una misura discontinua del biogas emesso è già prevista nella Normativa che regola la gestione della discarica. Lo stesso PMC della discarica in oggetto (Det. 352/2020 Provincia di Sassari) prescrive tali attività.

Le misure delle emissioni diffuse di biogas da una discarica devono essere regolamentate da un preciso protocollo ed essere eseguite da tecnici esperti del settore delle discariche, così come viene definito dalle linee guida dell'APAT.

Il personale incaricato deve infatti ben conoscere come il biogas viene prodotto, dove può essere più facilmente esalato al fine da impostare una rete di punti di acquisizione sufficientemente rappresentativa della realtà. Devono inoltre essere note le condizioni al contorno che influiscono sul fenomeno di emissione per evitare che queste non causino alterazioni tali da rendere poco precisa l'azione di misura. Ne consegue che il servizio di misura delle emissioni diffuse non può essere considerato come una comune analisi di laboratorio ma deve essere principalmente un'indagine conoscitiva sul comportamento della superficie della discarica.

### **Valutazione per calcolo**

Laddove non si voglia procedere alla misura diretta delle emissioni per motivi economici o per indisponibilità delle competenze adeguate è possibile ricorrere alla procedura di calcolo.

Un'emissione si intende calcolata quando l'informazione quantitativa è ottenuta utilizzando metodi matematici e fattori di emissione accettati a livello nazionale o internazionale e rappresentativi delle varie conoscenze.

È importante nel calcolo tenere conto delle variabilità nei processi produttivi. Per quanto riguarda il biogas esistono decine di modelli di calcolo che si basano su approcci chimici, biologici ed ambientali. Purtroppo, i risultati di tali modelli evidenziano variabilità troppo ampie che difficilmente si riscontrano con l'effettiva realtà. È quindi raccomandabile l'utilizzo di sistemi di calcolo che, pur partendo da basi scientifiche, possano consentire correzioni basate sulle decine variabili che influiscono sul fenomeno di produzione del biogas. Si ritiene indispensabile

l'utilizzo di modelli che possano garantire un'esperienza applicativa di qualche decennio validata da numerose verifiche.

Nella presente relazione tale calcolo viene sviluppato nei capitoli successivi con l'utilizzo del modello di Calcolo BIO-7 ampiamente validato e riconosciuto.

### **Valutazione per stima**

Un'ulteriore ipotesi di valutazione risulta essere quella per **stima**.

Un'emissione si intende stimata quando l'informazione quantitativa deriva da stime non standardizzate basate sulle migliori assunzioni o ipotesi di esperti.

La procedura di stima fornisce generalmente dati di emissione molto meno accurati dei precedenti metodi di misura e calcolo, per cui non dovrebbe essere mai utilizzata.

### **Valutazioni miste**

Infine, è giusto far notare che, se la valutazione dell'emissione di biogas (metano ed anidride carbonica) è la somma delle emissioni convogliate e di quelle diffuse è possibile procedere alla definizione del risultato finale utilizzando più procedure.

Ad esempio, è possibile misurare in continuo le emissioni convogliate e sommare a queste ultime le misure periodiche delle emissioni diffuse. Oppure è possibile procedere al calcolo della produzione totale di biogas e valutare, per deduzione, delle emissioni localizzate misurate le emissioni diffuse.

Tale approccio sarà quello di fatto applicato per le indagini oggetto della presente relazione:

- Acquisizione dei dati medi di captazione del biogas (emissioni convogliate);
- Indagine strumentale emissioni diffuse dalla copertura della discarica;
- Rilievi termografici per valutazione anomalie termiche;
- Calcolo produzione teorica del biogas prodotto;

- Bilancio analitico dei flussi (prodotti, convogliati, diffusi) e valutazione dei diversi parametri ambientali.

### **3 CARATTERISTICHE SALIENTI DELLA DISCARICA**

Nel presente capitolo verranno valutate sinteticamente le caratteristiche dell'impianto.

#### **3.1 Localizzazione geografica**

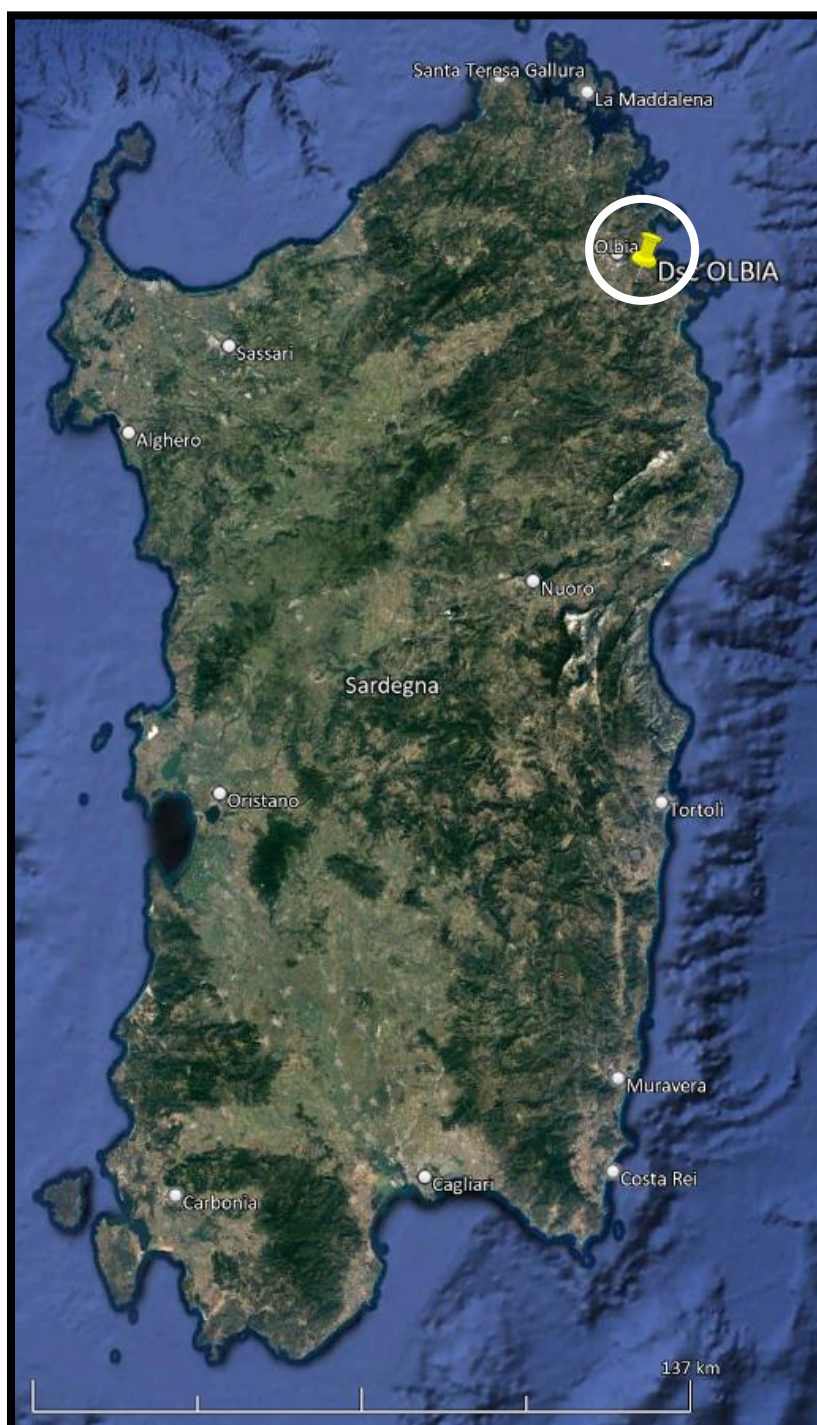
La zona interessata dalla discarica è ubicata in località "Spiritu Santu" nel Comune di Olbia in Provincia Olbia-Tempio.

L'ingresso della discarica avviene dalla strada SP 87 che collega la SS 125 nei pressi di Murta Maria ed il Centro abitato di Trudda

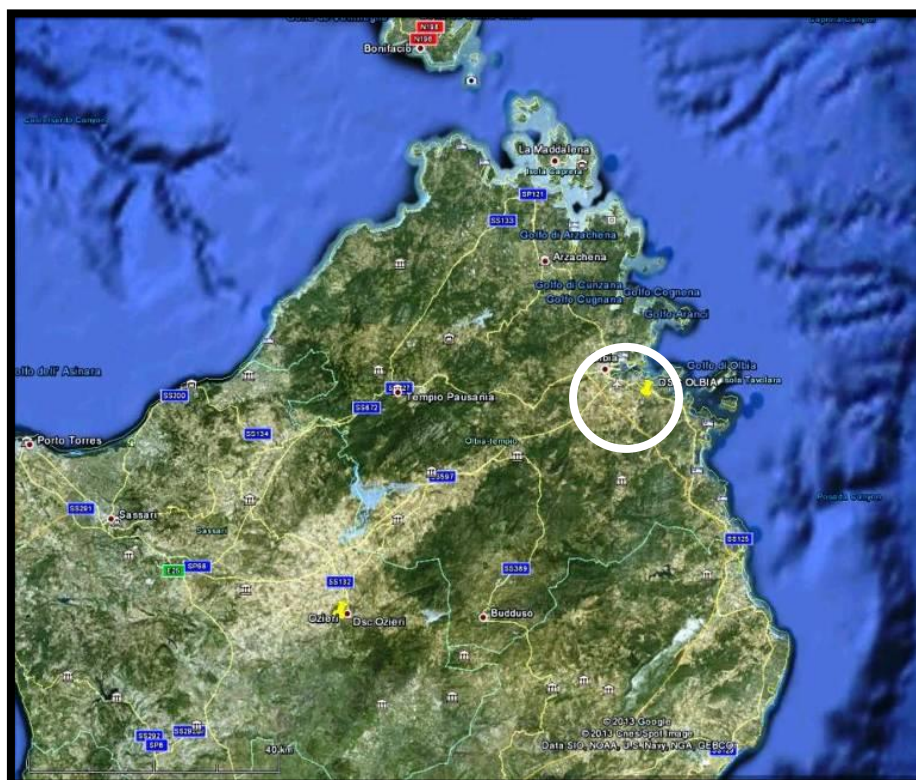
Le coordinate geografiche del punto d'ingresso alla discarica sono le seguenti:

- latitudine Nord:      40°    52'    43"
- longitudine Est:      09°    34'    00"

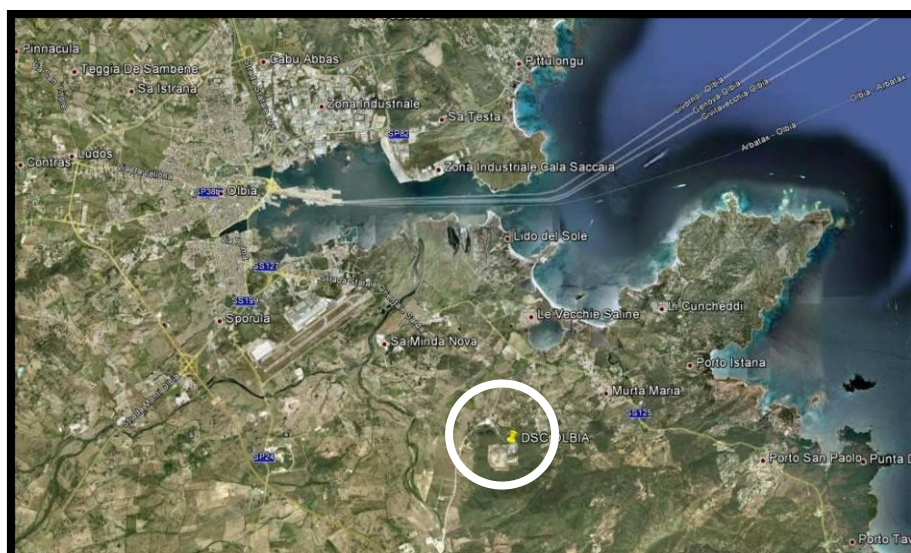
Si riportano di seguito alcune immagini satellitari tratte dal sito web: Google Earth



***Immagine satellitare Google Earth® – quota 350 km  
Inquadramento Regionale***



***Immagine satellitare Google Earth® – quota 171 km  
Inquadramento Provinciale***



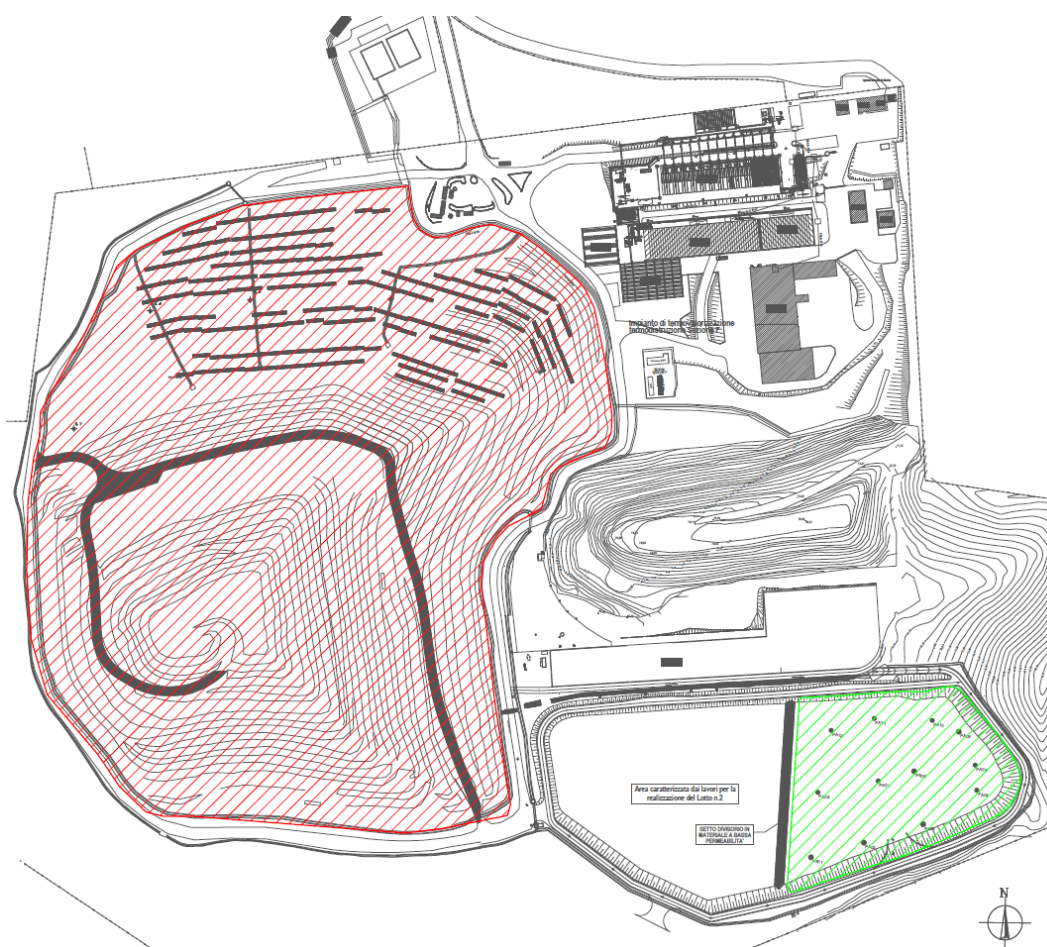
***Immagine satellitare Google Earth® – quota 17 km  
Inquadramento Comunale***



***Immagine satellitare Google Earth® – quota 1500 m  
Inquadramento impiantistico  
Data 05/07/2023***

L'immagine più recente reperibile dal sito web Google Earth risale all'inizio del luglio 2023 ed è quindi non perfettamente aggiornata con lo stato di fatto attuale, almeno per le condizioni morfologiche delle aree di conferimento.

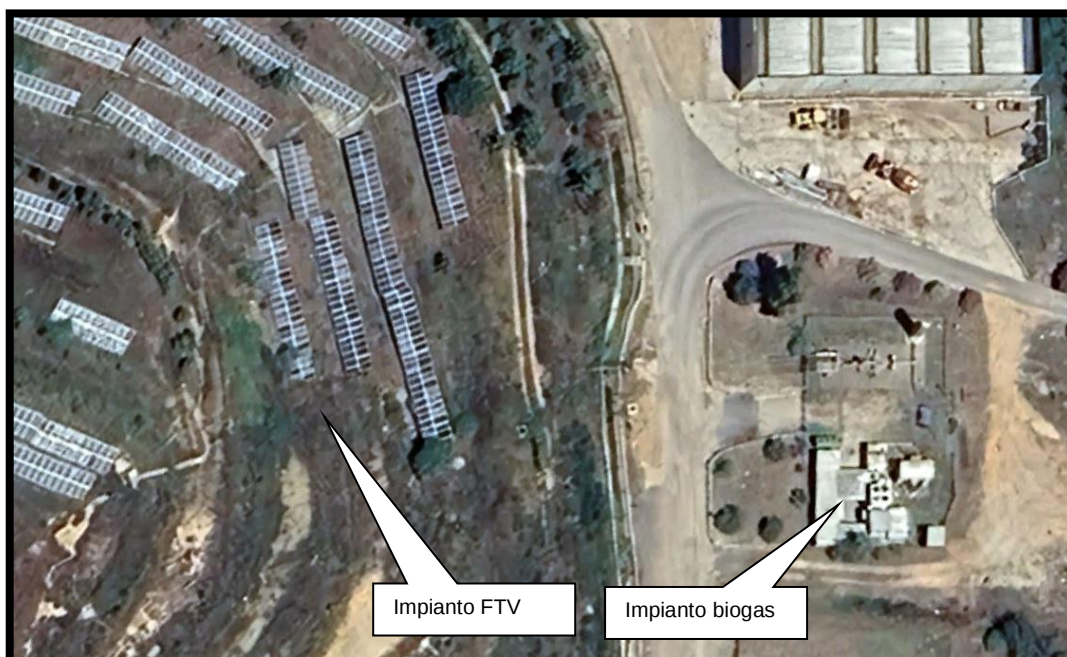
Nella foto si osserva inoltre la ripartizione dell'impianto nei due moduli: ad ovest il vecchio modulo della discarica e a sud-est, il 1° lotto nuovo Modulo di Discarica.



- Area da indagare vecchia discarica: 120.000 m<sup>2</sup>
- Area da indagare nuova discarica: 14.800 m<sup>2</sup>

### ***Planimetria complessiva dei siti di indagine***

Dal seguente dettaglio dell'immagine satellitare si evidenzia la presenza dell'impianto di captazione e recupero energetico del biogas e dell'impianto fotovoltaico (FTV) disposto sulla sponda nord del vecchio modulo della discarica.



***Immagine satellitare Google Earth® – quota 200 m  
Inquadramento impiantistico  
Data 05/07/2023***

#### **4 CONTENUTI DELLA RELAZIONE**

Lo svolgimento delle indagini è stato condotto in ottemperanza alle indicazioni del Capitolato Tecnico emesso dal Committente CIPNES.

Si riporta di seguito l'estratto del Capitolo "Premesse" del Capitolato.

Il punto 5.4 dell'Allegato 2 - "Piani di gestione operativa, di ripristino ambientale, di gestione post-operativa, di sorveglianza e controllo, finanziario" - al D.Lgs.36/2003 stabilisce che, per le discariche dove sono smaltiti rifiuti biodegradabili e rifiuti contenenti sostanze che possono sviluppare gas o vapori, deve essere previsto un monitoraggio delle emissioni gassose, convogliate e diffuse, in grado di individuare anche eventuali fughe di gas esterne al corpo della discarica stessa.

Lo stesso D.Lgs.36/2003, oltre che stabilire i parametri minimi da investigare sul gas da discarica e le relative periodicità, dispone altresì che detto biogas venga caratterizzato quantitativamente.

Al fine di adempiere a quanto previsto dal già citato punto 5.4 dell'Allegato 2 al D. Lgs.36/2003, recepito nel Piano di Monitoraggio e Controllo vigente del complesso impiantistico consortile (rif. didascalia tabella 2.2-6 dell'elaborato AIA.PMC.05 approvato con Det. 352/2020 della Provincia di Sassari), oltre che allo scopo di avere a disposizione un congruo set di dati fondamentali per la corretta compilazione della dichiarazione E – PRTR prevista dalla vigente normativa nazionale in materia ambientale, si rende necessario procedere con l'affidamento di indagini ed analisi specialistiche sulle emissioni diffuse originate dal suddetto corpo discarica consortile.

Nel successivo capitolo "Descrizione di massima del servizio richiesto" viene ulteriormente specificato:

Con lo scopo di adempiere a quanto indicato dall'allegato 2 (punto 5.4) al D. Lgs. 36/2003, recepito nel Piano di Monitoraggio e Controllo vigente del complesso impiantistico consortile (rif. didascalia tabella 2.2-6 dell'elaborato AIA.PMC.05 approvato con Det. 352/2020 della Provincia di Sassari), ed ai fini della redazione della dichiarazione E-PRTR prevista dalla vigente normativa nazionale in materia ambientale, lo studio in questione (che il CIPNES riproporrà con una frequenza minima triennale) dovrà prevedere n. 2 campagne di monitoraggio specialistico per la rilevazione (applicando una maglia di monitoraggio rappresentativa) delle caratteristiche qualitative e quantitative delle emissioni dal corpo della discarica consortile esistente.

Tali misure, in termini di qualità e quantità, dovranno portare alla costruzione di un bilancio di massa complessivo del biogas prodotto dai rifiuti, dando di conseguenza un giudizio sulla resa di captazione e sui tempi di avanzamento della fase di stabilizzazione dei rifiuti.

Il Capitolato richiede inoltre la predisposizione aggiornata della prospezione produttiva del biogas con valutazione dei conferimenti a partire dal 1991 e comprendendo gli stessi fino alla fine del 2025 (con stima del 2° e 3° quadrimestre 2025).

Viene inoltre richiesta l'esecuzione di riprese termometriche del corpo di scarica.

Come evidente il Capitolato richiede diverse e distinte valutazioni, tutte finalizzate al raggiungimento dello scopo. Un elenco dettagliato delle sezioni di indagini, e successive elaborazioni di calcolo, viene proposto sempre dallo stesso Capitolato:

- riferimenti normativi e procedure tecniche utilizzate;
- descrizione dettagliata delle indagini effettuate in campo (strumentazione utilizzata, condizioni al contorno durante l'esecuzione dei monitoraggi, ecc.);
- risultanze delle indagini (sviluppo dei dati raccolti in campo e relativa discussione);
- calcolo di produttività del biogas;
- considerazioni sull'efficienza del sistema di captazione e di recupero energetico e/o termodistruzione del biogas;
- bilancio di massa complessivo del biogas;
- calcolo delle emissioni espresse in t/a (come previsto dalla dichiarazione E-PRTR), condividendo l'algoritmo di stima utilizzato;
- commenti riprese termometriche;
- eventuali suggerimenti atti a minimizzare i potenziali impatti rilevati.

Tale elenco verrà rispettato nello sviluppo delle diverse sezioni e nella cronologia di rappresentazione delle risultanze emerse.

## 5 ASPETTI NORMATIVI E PROCEDURE DI RIFERIMENTO

Il Capitolato Tecnico emesso dal Committente CIPNES non fornisce indicazioni circa le procedure tecniche di riferimento poiché non esistono espliciti riferimenti normativi in tal senso.

Esistono però chiari e dettagliati protocolli d'indagine sviluppati da importanti Agenzie Internazionali (EA Inglese e EPA Statunitense) specificatamente elaborati per l'indagine sulle emissioni di biogas da discariche. Tali protocolli sono stati recepiti da numerose Agenzie Regionali (ARPA) e considerati come riferimento dalla RECONNET (Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati) con titolo: DETERMINAZIONE E GESTIONE DEI LIVELLI DI GUARDIA PER IL MONITORAGGIO DELLE DISCARICHE.

Maggiori dettagli vengono proposti di seguito secondo la gerarchia normativa.

### 5.1 Disciplinare discariche (Decreto Legislativo 36/2003)

Nell'allegato 2 del D.Lgs 36/03 relativo ai Piani di Sorveglianza e Controllo (PSC), al punto 5.4 viene chiaramente definito che *“deve essere previsto un **monitoraggio delle emissioni gassose, convogliate e diffuse, della discarica stessa, in grado di individuare anche eventuali fughe di gas esterno al corpo della stessa discarica**”*.

E' necessario che il monitoraggio del biogas, oltre che sulle emissioni convogliate presso impianti di captazione debba essere esteso alle emissioni diffuse dalla copertura della discarica verso l'atmosfera e dalle superfici di interfaccia con il sottosuolo.

Il Decreto stabilisce inoltre che è necessario provvedere alla caratterizzazione quantitativa del gas di discarica. Viene quindi richiesto il monitoraggio del flusso del biogas inteso come la quantità di gas caratterizzato da concentrazioni definite. Tale riferimento è esplicitamente espresso nel Capitolato Tecnico CIPNES.

## **5.2 D.Lgs 121/2020**

Il Decreto legislativo 121 del 2020 aggiorna il Disciplinare Discariche 36/03.

Le indicazioni relative al PSC precedentemente citate vengono confermate.

Per quanto riguarda il biogas si evidenzia solo il punto 2.5 “Controllo dei gas” che integra quanto già prescritto dal D.L. 36 con una valutazione relativa alle emissioni residuali per le quali è ammesso un trattamento di bio-ossidazione in situ, alternativo alla combustione (in torcia o recupero energetico), nel caso il flusso prodotto fosse inferiore a  $0,001 \text{ Nm}^3/\text{m}^2/\text{h}$  di metano.

Volendo applicare tale riferimento alla nuova discarica di Olbia, caratterizzata da una superficie esposta di circa  $15.000 \text{ m}^2$  (dato indicato nel Capitolato) si evidenzia un limite per tale trattamento alternativo pari a circa  $15 \text{ Nm}^3/\text{h}$  di metano, pari a  $30 \text{ Nm}^3/\text{h}$  di biogas LFG50 (metano al 50%).

Ulteriore vincolo imposto dal D.Lgs 121/20 è l'obbligo al recupero energetico del biogas qualora il flusso di produzione di questo superi i  $100 \text{ Nm}^3/\text{h}$  per un periodo di almeno 5 anni.

## **5.3 IPPC (Decreto Legislativo 372/1999)**

Tra le categorie identificate dall'allegato 1 del D.Lgs 372/99 compaiono chiaramente al punto 5.4 le *“Discariche che ricevono più di 10 tonnellate al giorno o con una capacità totale di oltre 25.000 tonnellate, ad esclusione delle discariche per rifiuti inerti”*.

È quindi evidente che la discarica in oggetto, come quasi tutte le discariche per rifiuti non pericolosi, rientri nella categoria di interesse della IPPC.

La direttiva comunitaria 96/61/CE, ed il decreto attuativo 372/99, impone alle discariche rientranti nelle categorie riportate in allegato 1, di rispettare i valori limiti d'emissione fissati, in accordo all'autorità competente, in base alle migliori tecnologie adottate.

Ai sensi del D.P.R. n. 157/2011, entro il 30 aprile di ogni anno, le aziende titolari di A.I.A. devono verificare l'obbligo di compilare e trasmettere, tramite il sito internet [www.eprtr.it](http://www.eprtr.it), le dichiarazioni annuali E-PRTR.

Il D.Lgs. 46/2014 ha successivamente introdotto, all'art. 30, specifiche sanzioni per il mancato o tardivo invio delle suddette dichiarazioni.

Per quanto concerne le emissioni in aria, causate dalla produzione di biogas, gli inquinanti che le discariche devono dichiarare sono metano e biossido di carbonio. I valori soglia relativi alla dichiarazione di questi componenti tipici del biogas sono rispettivamente a **100 t/anno per il metano e 100.000 t/anno per l'anidride carbonica**.

Il dato suddetto è normalmente utilizzato ai fini dell'aggiornamento del registro integrato delle emissioni e dei trasferimenti di sostanze inquinanti "EPRTTR" (European Pollution Release and Transfer Register) che fa parte del Registro Europeo "Registro E-PRTR" che tiene conto di tutte le dichiarazioni provenienti dai complessi impiantistici ubicati sul territorio dell'Unione Europea ai sensi del Regolamento CE 166/2006 modificato dal Regolamento CE 596/2009 (ex dichiarazione INES).

In pratica il superamento delle soglie PRTR precedentemente riportate obbliga il gestore dell'impianto ad effettuare la semplice dichiarazione delle emissioni stesse.

#### **5.4 Norme tecniche sul monitoraggio delle emissioni di biogas**

Nel febbraio 2016 è stata pubblicata una linea guida dalla RECONNET (Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati) con titolo: DETERMINAZIONE E GESTIONE DEI LIVELLI DI GUARDIA PER IL MONITORAGGIO DELLE DISCARICHE.

La RECONNET riunisce diversi membri autorevoli, tra i quali numerosi istituti Universitari (tra i quali l'Università di Cagliari), Enti locali (Province), Agenzie Regionali per l'Ambiente (Veneto, Lombardia, Emilia-Romagna, Abruzzo, Umbria, Sicilia) ed altri Enti (CNR, ISPRA, ENEL, ecc.).

Per quanto riguarda le emissioni diffuse del biogas dal corpo della discarica la linea guida RECONNET (Capitolo 3.6.1 – pag. 48) richiama espressamente la Norma Inglese EA: *“Guidance on monitoring landfill gas surface emissions, LFTGN07 v2, 2010”* ribadendo esplicitamente i criteri di indagine (definizione del numero dei punti, tipo di campionamento, strumentazione da utilizzare) e le soglie di guardia.

Quindi l'unica Normativa tecnica di riferimento è quella emessa dall'Agenzia per l'Ambiente Inglese EA (Environment Agency). Tale procedura, emanata nel marzo 2003, aggiornata nel settembre 2004 e nuovamente aggiornata nella edizione 2010 con la sigla LFTGN07-V2-2010 ha il vantaggio di essere molto precisa nei propri dettagli sull'acquisizione dei rilievi (metodologia e strumentazione) e sull'elaborazione dei dati.



***Cover della norma di riferimento e del suo recente aggiornamento***

L'indagine sul campo è stata quindi svolta seguendo le specifiche della Norma tecnica dell'Agenzia Inglese precedentemente descritta.

Ulteriore vantaggio riferito all'utilizzo della "Guidance for Monitoring Landfill Gas Surface Emissions" è l'identificazione di alcuni limiti di riferimento per le emissioni in atmosfera di metano attraverso la superficie delle discariche, i quali sono di seguito esposti:

- discariche dotate di capping definitivo =  $1 \times 10^{-3} \text{ mg. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
- discariche dotate di capping provvisorio =  $1 \times 10^{-1} \text{ mg. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

A livello nazionale sono comunque da tempo applicate in diverse Regioni alcune procedure di monitoraggio in linea con la Norma Inglese ad indicazione della sua validità.

## **5.5 Linee Guida Regione Lombardia**

In data 7/10/2014, con DGR n° X/2461, sono state pubblicate sul BUR della Regione Lombardia le **Linee Guida per la progettazione e gestione sostenibile delle discariche**.

Tali Linee Guida sono poi state annullate dal TAR Lombardia con sentenza n° 522 del 17/03/2016.

Le indicazioni della Regione Lombardia contenevano due elementi innovativi circa il controllo delle emissioni del biogas in atmosfera tali da rendere tale riferimento l'unico disponibile sul territorio Nazionale.

Il primo elemento era relativo alla possibilità di utilizzare un sistema differente rispetto alla combustione del biogas (in recupero energetico oppure in torcia) consistente nella "bio-ossidazione".

Tale sistema era ammesso dalle Linee Guida fino ad un limite pari a **0,001 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/h**.

Lo stesso limite è stato ripreso ed adottato dal recente D.Lgs 121/20 già citato.

La seconda novità era il limite ammesso come emissione “finale” (a copertura definitiva realizzata e periodo di post-chiusura passato) di biogas in atmosfera pari a **0,5 NI CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/h**.

Questo limite viene indicato nell’Allegato B relativo alla “Qualità Finale della Discarica QFD” al termine del periodo di post-chiusura.

Pur non essendo più vigente si ritiene che il citato riferimento proposto possa essere comunque utile ad un riscontro sulle prestazioni emissive osservate sulla discarica in oggetto in quanto l’unico riferimento “scientifico” (in quanto non più Normativo) riferibile ad emissioni “accettabili”.

## **5.6 Linee guida RECONNET**

Come premesso l’adeguatezza della Norma LFTGN-07, precedentemente citata, è stata riconosciuta una linea guida dalla RECONNET (Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati) con titolo: DETERMINAZIONE E GESTIONE DEI LIVELLI DI GUARDIA PER IL MONITORAGGIO DELLE DISCARICHE.

Le citate soglie di riferimento sono state quindi riportate ed assunte quali “livelli di guardia” per il monitoraggio delle emissioni dalle discariche.

Al capitolo 3 della guida, relativo alla “Matrice Aria”, vengono esplicitamente definiti tali livelli di guardia.

Si riporta di seguito l’estratto dal documento e la successiva tabella che evidenzia alcuni range emissivi ritenuti adeguati (da UK-EA ed US-EPA).

### 3. Matrice Aria: Definizione dei livelli di guardia e monitoraggio delle emissioni in atmosfera

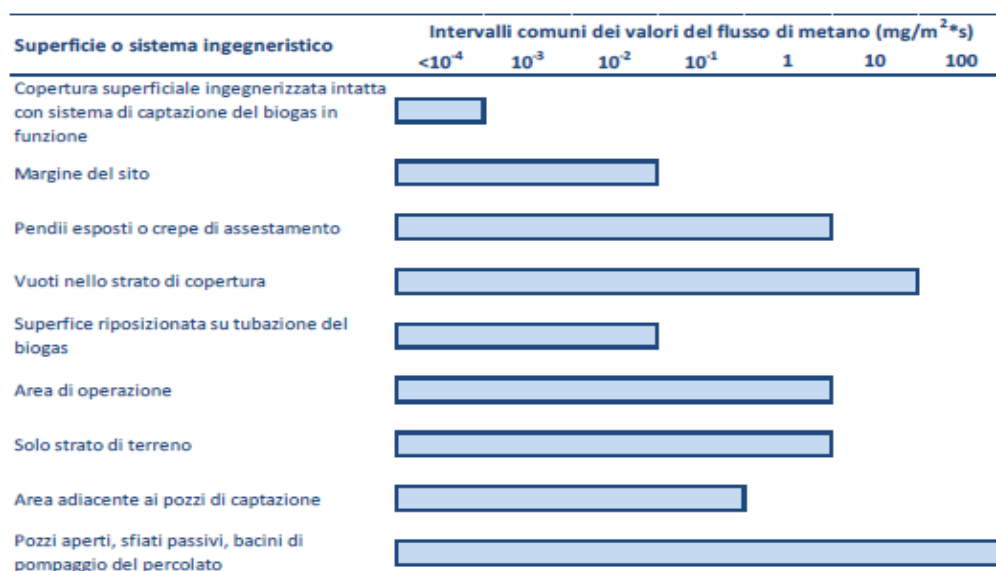
Infine il controllo completo per la misura delle emissioni diffuse di biogas dal corpo della discarica mediante la tecnica del flux box è utile per determinare l'effettiva quantità annua di biogas disperso in atmosfera.

In proposito si riportano in figura 3.2 gli intervalli tipici dei valori del flusso di metano dalla superficie e/o dai sistemi ingegneristici di discarica.

Sia l'UK EA [5], che l'USEPA [2], propongono come limite di flusso specifico (per unità di superficie) di biogas dalla superficie della discarica i seguenti dati:

- per lotti chiusi (capping permanente)  $1 \cdot 10^{-3} \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,
- per lotti ancora in coltivazione (capping temporaneo)  $1 \cdot 10^{-1} \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ .

Il superamento di detti valori di flusso darà origine ad interventi per la riduzione delle emissioni diffuse di biogas dalla superficie della discarica.



*Figura 3.2 - Emissioni di biogas da diverse superfici o sistemi ingegneristici di discarica [5].*

- [5] U.K. Environment Agency, Guidance on the management of landfill gas, LFTGN 03, September 2004
- [2] U.S.EPA, Guidance for evaluating landfill gas emissions from closed or abandoned facilities, EPA-600/R-05/123a, September 2005

## 6 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI IN CAMPO

Le indagini strumentali sul campo sono state di due tipi e svolte in due fasi distinte: indagini emissioni diffuse e indagini termografiche.

Di seguito si riportano le informazioni relative alle indagini sulle emissioni diffuse mentre nel successivo capitolo dedicato alla termografia si forniranno le relative informazioni specifiche.

### 6.1 Metodologia di indagine

La metodologia proposta, come definita dall'Agenzia per l'Ambiente Inglese EA (Environment Agency) prevede di svolgere una serie di misure di flusso sulla superficie esposta della discarica utilizzando delle specifiche camere di cattura, definite "flux box".

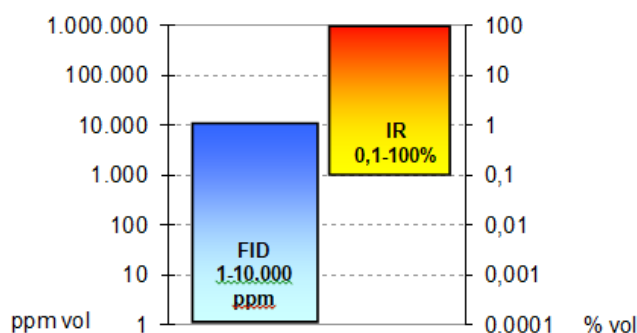
Il campionamento prevede l'analisi della presenza di metano in bassissime concentrazioni variabili tra 0 e 10.000 ppmv nell'unità di tempo necessaria alla saturazione parziale o completa della flux-box. Data la necessaria precisione è stato pertanto utilizzato uno specifico **analizzatore FID** (Flame Ionization Detector) **Gastec** come specificatamente indicato dalla Norma e di seguito descritto.

Per la valutazione della presenza di metano in concentrazioni variabili tra lo 0,1% ed il 100% (1.000 / 1.000.000 ppm) in volume è stato invece utilizzato un **analizzatore a raggi infrarossi** (GA-2000 Plus Geotechnical Instruments);

Nella pratica sono state quindi utilizzate differenti tecniche d'indagine al fine di rilevare le concentrazioni dei gas in esalazione in modo da potere coprire ben 6 ordini esponenziali. Nel grafico seguente si evidenziano i range operativi degli strumenti utilizzati e la loro sovrapposizione.

L'uso dell'analizzatore a raggi infrarossi è quindi previsto esclusivamente nel caso del superamento del range operativo del FID.

Range operativi strumentazione utilizzata  
misura volumetrica metano



Si specifica che la Norma EA prevede lo specifico ed **unico riferimento alla emissione di metano e non a quello dell'anidride carbonica.**

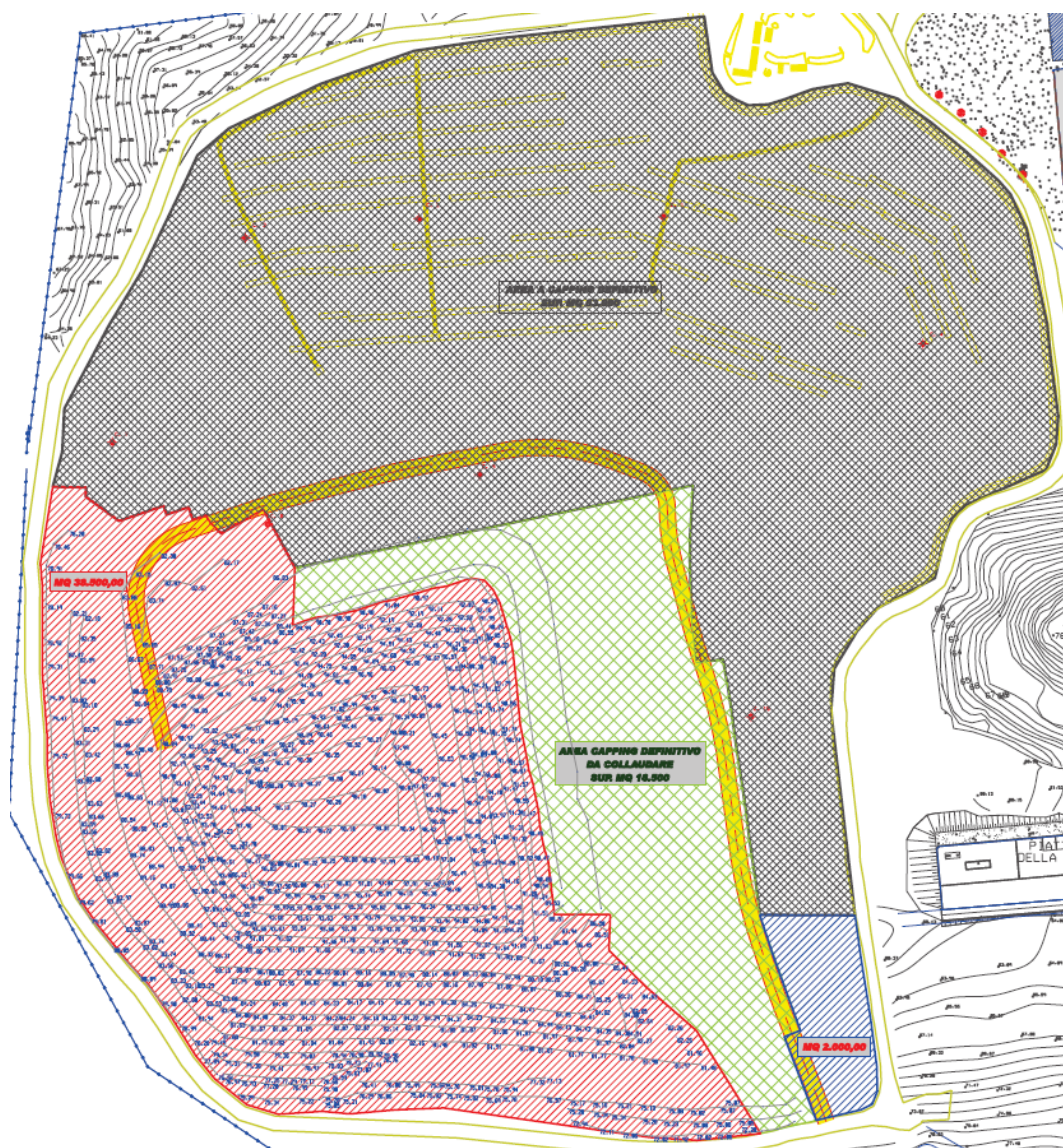
Tale logica viene confermata dalla Normativa IPPC precedentemente richiamata dove la soglia per l'anidride carbonica viene indicata come superiore 1000 volte rispetto a quella del metano (100 t / 100.000 t). Tale rapporto evidenzia quanto poco utile sia un'analisi "diretta" del biossido di carbonio.

## 6.2 Osservazione dell'impianto

La prima fase di indagine riguarda generalmente l'osservazione dell'impianto di smaltimento dei rifiuti nelle sue condizioni di fatto e di progetto valutando con attenzione la morfologia del sito, lo stato delle superfici, la viabilità ed il reinserimento ambientale.

La base delle osservazioni è normalmente riferita ad una planimetria fornita dal Committente dalla quale è evidenziabile il perimetro dell'impianto e le infrastrutture dello stesso.

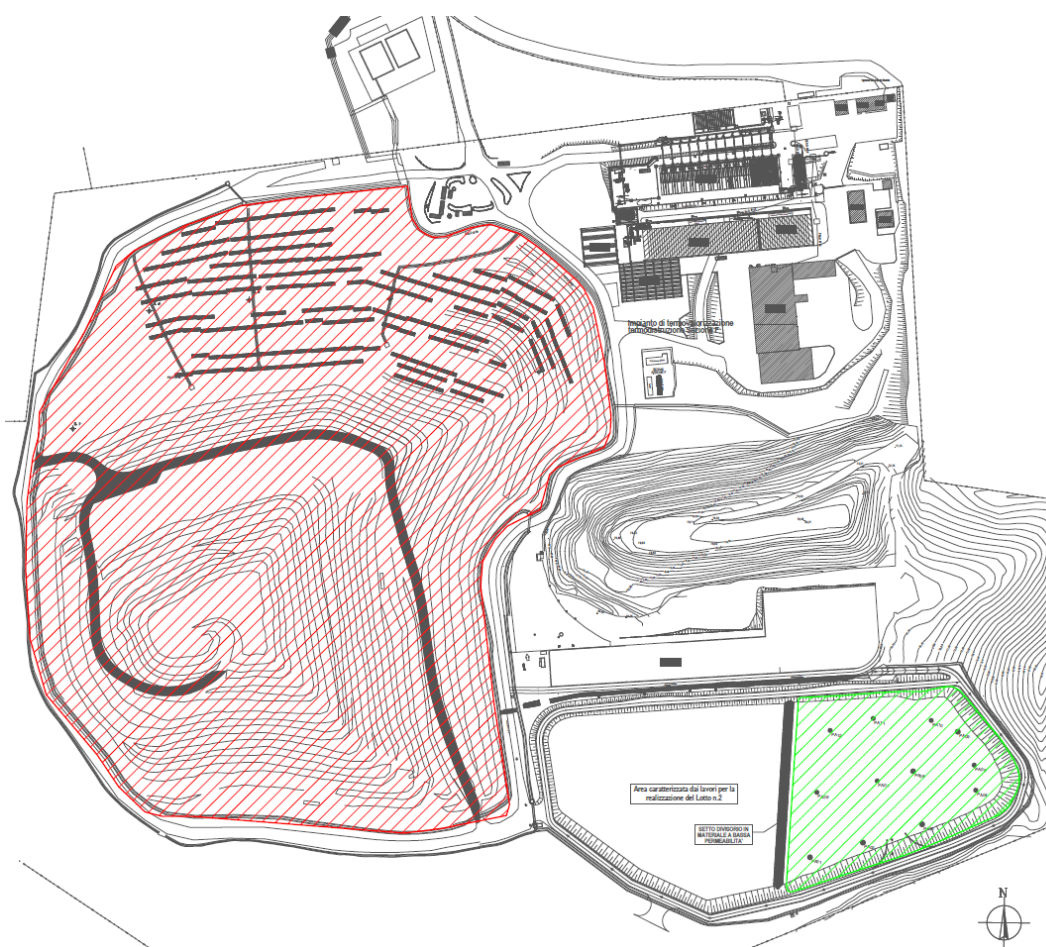
Si riportano di seguito gli estratti delle planimetrie analizzate nell'ambito dell'indagine. La base fornita da CIPNES è relativa ad un rilievo topografico acquisito nel mese di marzo 2025, circa 2 mesi prima delle indagini.



***Planimetria complessiva delle aree – rilievo CIPNES marzo 2025***

Per elaborare nel dettaglio l'indagine dal rilievo sono state estrapolate le curve di livello delle zone dell'indagine sovrapponendole a quelle della parte più vecchia della discarica (a nord) oggi occupata parzialmente dall'impianto FTV.

Da tale esercizio sono state desunte le seguenti rappresentazioni che comprendono anche parte degli impianti localizzati ad est della discarica ed il nuovo lotto di smaltimento, non oggetto della presente indagine.

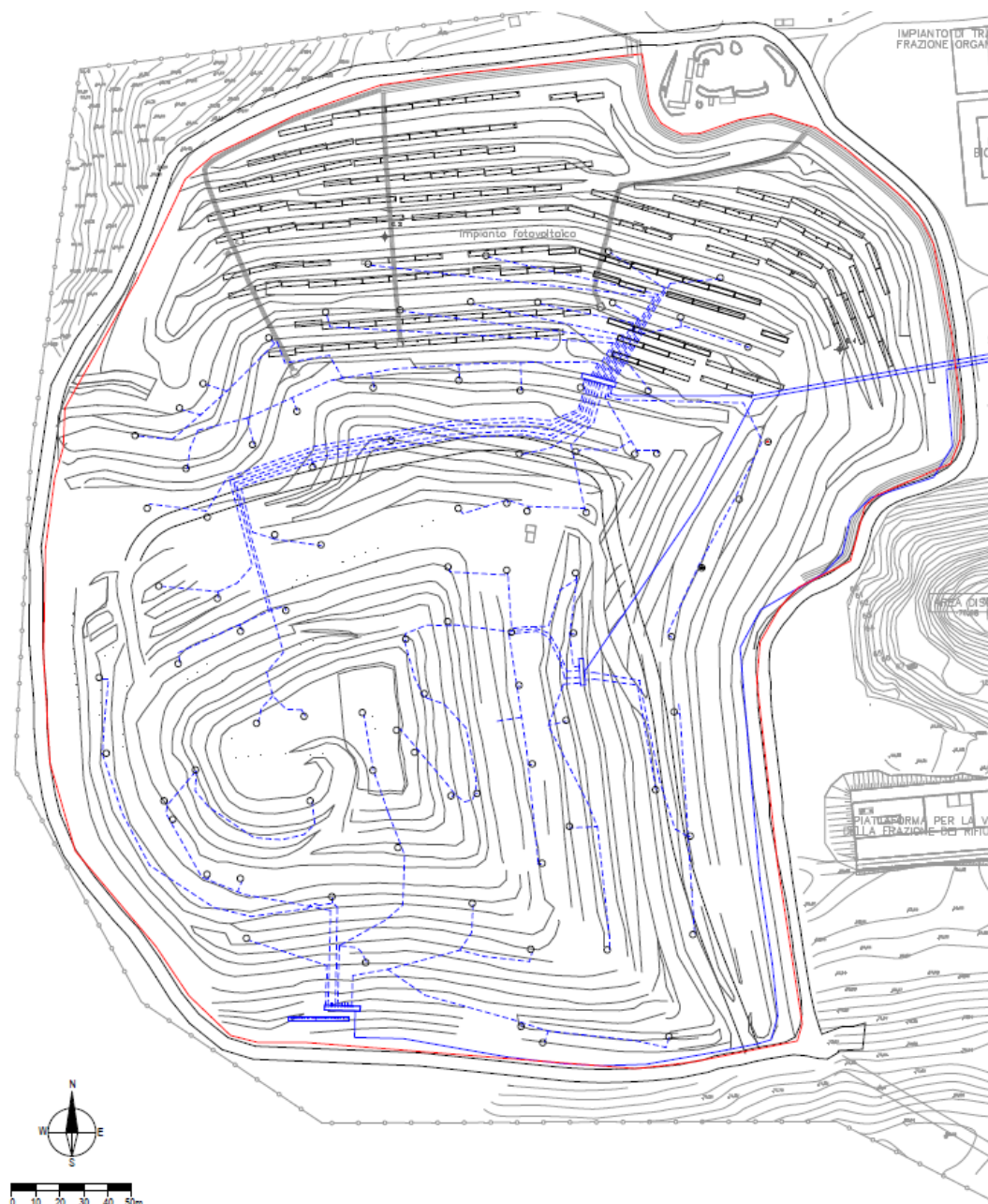


***Estratto topografico delle aree osservate***

Al rilievo topografico più recente, che copre solo le parti più recentemente utilizzate della discarica, è stato sovrapposto un layer che riporta la topografia anche dei lotti più vecchi, non modificati dai conferimenti se non nelle valutazioni altimetriche a causa degli assestamenti.

Tale ultimo esercizio ha la funzione di disporre di una più precisa planimetria “base” sulla quale elaborare e sviluppare l’indagine sul campo.

Si riporta di seguito l’estratto della tavola elaborata ed allegata alla presente relazione tecnica (tavola D-01-VD). Sulla tavola è stato inoltre sovrapposta la disposizione della rete di captazione (pozzi) e di trasporto del biogas captato.



**Base topografica dell'indagine**  
**(tavola D-01-VD allegata)**

Nella planimetria fornita dal Committente la superficie della discarica viene suddivisa in porzioni con diverse tipologie di copertura e di utilizzo. Vengono definite n° 3 aree per le quali vengono indicate le seguenti informazioni:

| Descrizione                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------|
| Area capping definitivo.                                                 |
| Area attiva – Non oggetto di smaltimenti durante la giornata dei rilievi |
| Area attiva – Oggetto di smaltimenti durante la giornata dei rilievi     |

La somma delle superfici, pari a 120.000 m<sup>2</sup>, risulta essere conforme a quella indicata del Capitolato Tecnico CIPNES.

La metodologia dell'indagine oggetto della presente relazione prevede la valutazione delle emissioni sulle superfici distinte tra coperte in modo provvisorio ed in modo definitivo in quanto la Norma di riferimento precedentemente citata fornisce diversi e specifici termini di riferimento.

Le aree dotate di copertura "provvisoria" (definizione della Normativa di riferimento) sono state assimilate alle aree definite attive con l'esclusione delle superfici oggetto di smaltimento nella giornata dei rilievi.

Nel capitolo successivo si riportano maggiori precisazioni sulle osservazioni svolte circa la caratterizzazione delle zone ad emissione omogenea.

### **6.3 Captazione del biogas**

La captazione del biogas sulla discarica osservata è consentita dalla presenza di numerosi pozzi distribuiti omogeneamente sulle superfici della discarica e collegati a 3 stazioni di regolazione a loro volta connesse ad una centrale di Estrazione localizzata sul lato est dell'impianto. Presso la Centrale è presente, ed attivo, un sistema di estrazione forzata del biogas che consente un recupero energetico mediante trasformazione in un gruppo elettrogeno endotermico a ciclo otto.

È inoltre disponibile un sistema di combustione di emergenza (torcia) per il trattamento del biogas captato nei periodi di mancanza di disponibilità dell'impianto di recupero energetico.

Si precisa che detto impianto di estrazione e recupero del biogas è utilizzato anche per il trattamento del biogas captato dalla nuova discarica.

La valutazione dell'azione di captazione contestuale alle indagini delle emissioni diffuse è determinante in quanto l'impianto di estrazione rappresenta il flusso "complementare" alle diffusioni del biogas in atmosfera.

In pratica il gas prodotto dalla discarica dovrebbe essere in parte captato dal sistema di estrazione forzata ed in parte emesso dalla superficie.

La valutazione della concentrazione di metano è indice del fattore di diluizione del biogas con aria atmosferica. Si considera che il metano prodotto dalla discarica abbia una concentrazione standard di metano pari al 60% (acronimo internazionale: LFG60) ed assenza di aria.

Una concentrazione di metano inferiore e la presenza di ossigeno nel biogas è indice di un limitato fattore di diluizione, tipico ed inevitabile in una azione di captazione forzata; tale diluizione deve essere necessariamente considerata nella ipotesi di un confronto diretto dei flussi, specialmente in un bilancio complessivo come quello riportato nella sezione conclusiva della presente relazione.

In una sezione del seguente studio viene inoltre proposta una elaborazione del modello di calcolo produttivo del biogas, in questo caso si è assunto come miscela di riferimento una concentrazione tipica di metano del 50% (LFG50).

In conclusione, si assume un riferimento fisso di concentrazione pari al 50% di metano (acronimo internazionale LFG50) e ad esso verranno riferiti tutti i flussi di seguito osservati.

Il Gestore (CIPNES) ha comunicato Il flusso di biogas captato (dalle due discariche) nel corso delle indagini (28/04/2025):

- Totale biogas estratto in data 28/04/2025: 12.395 m<sup>3</sup>;
- Concentrazione media di metano in data 28/04/2025: 35,80%;
- Totale metano estratto in data 28/04/2025: 4.437 m<sup>3</sup>;

Da tali dati sono state desunte, per calcolo, le seguenti informazioni:

- Portata oraria biogas "tal-quale": 516,46 m<sup>3</sup>/h
- Equivalenza a biogas LFG50 (metano 50%): 8.874 m<sup>3</sup>;
- Equivalenza portata oraria LFG50 (metano 50%): 369,75 m<sup>3</sup>/h;



***Impianto captazione e recupero energetico del biogas***

Si è inoltre osservata la presenza di un impianto fotovoltaico (FTV) pensile sulla scarpata nord della discarica.

Tale dotazione essendo pensile non si ritiene possa influire sulle emissioni diffuse in quanto anche i basamenti in calcestruzzo appoggiati sulla copertura possono essere assimilati alla stratigrafia definitiva del capping.



***Impianto FTV sulla sponda nord della discarica (foto CIPNES)***

#### **6.4 Caratterizzazione dell'area**

Dal punto di vista planimetrico la superficie della discarica soggetta ad indagine viene normalmente suddivisa in zone a caratteristiche omogenee per le quali la diffusione di gas può essere ritenuta comparabile.

Tale zonizzazione è tipica di questo tipo di indagine e le diverse superfici vengono contraddistinte in ZED (Zone ad Emissione Diffusa).

Il Committente ha fornito alcune precise indicazioni sulle differenti condizioni di copertura e di uso delle superfici osservate come evidenziato nel precedente schema planimetrico di suddivisione delle aree. In particolare, è stata fornita indicazione sulle aree formalmente dotate di copertura (capping) definitiva.

Nella valutazione dell'indagine, ed a seguito del sopralluogo svolto sull'impianto, sono state definite le seguenti tipologie di copertura ZED (Zone ad Emissione Diffusa).

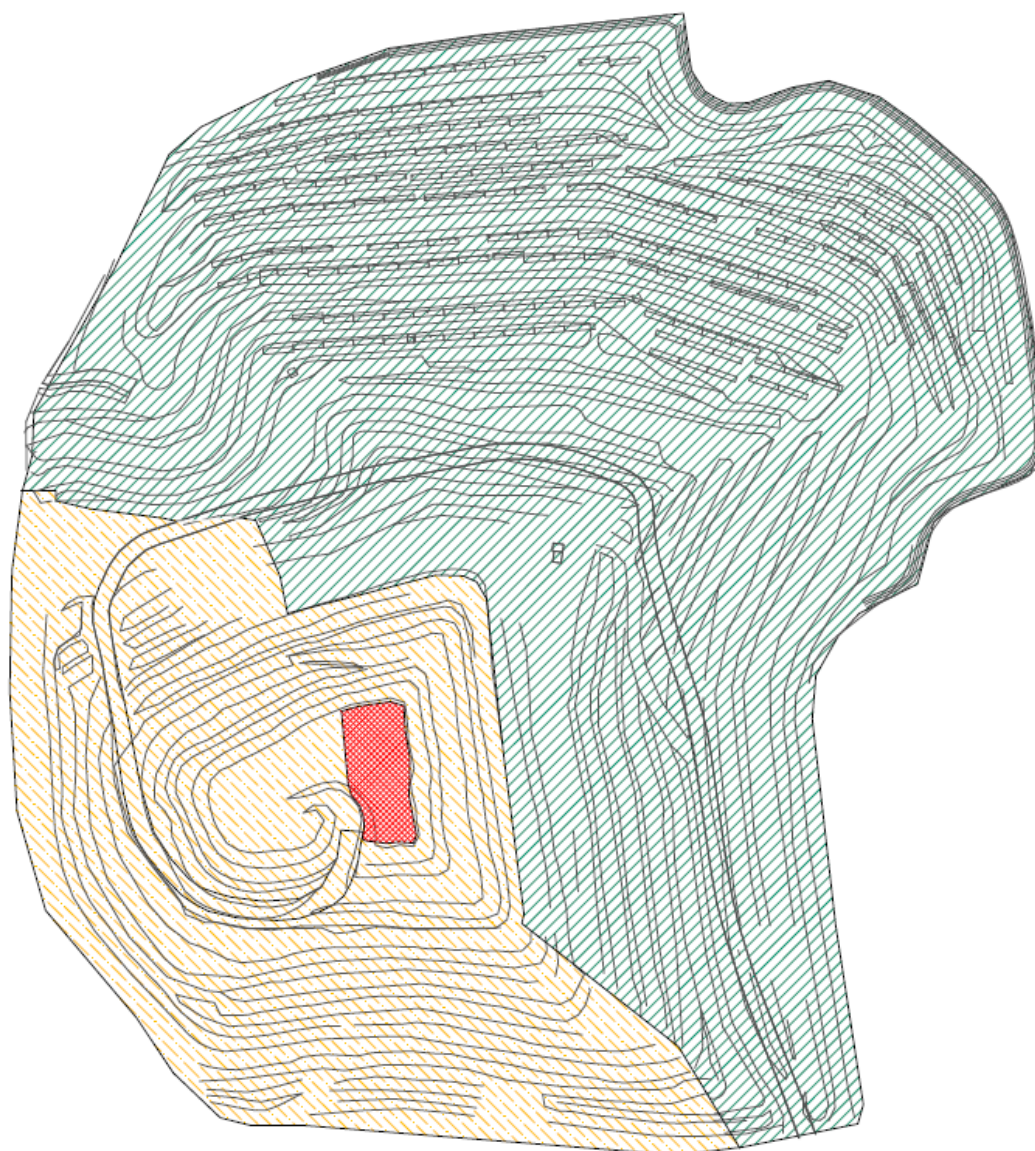
| Area ZED | Descrizione                                                              |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|
| Area A   | Area capping definitivo.                                                 |
| Area B   | Area attiva – Non oggetto di smaltimenti durante la giornata dei rilievi |
| Area C   | Area attiva – Oggetto di smaltimenti durante la giornata dei rilievi     |

La superficie complessiva dell'area indagata è stata di 120.000 m<sup>2</sup>; come da indicazioni del Committente.

Ogni zona ZED è da considerarsi ad emissione assimilabile in quanto caratterizzata dalla stessa morfologia, dalla stessa tipologia di copertura, dallo stesso utilizzo o dalla stessa natura di rifiuti.

Le zone contraddistinte sono descritte di seguito.

Di seguito si propone un estratto grafico della suddivisione delle aree ZED ripreso dalla tavola D-02-VD allegata alla presente relazione.



|        |                                                                                     |                                                            |                        |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------|
| ZED-A  |  | area capping definitivo                                    | 81.500 m <sup>2</sup>  |
| ZED-B  |  | area attiva - non oggetto di smaltimento durante i rilievi | 37.500 m <sup>2</sup>  |
| ZED-C  |  | area attiva - oggetto di smaltimento durante i rilievi     | 1.000 m <sup>2</sup>   |
| TOTALE |                                                                                     |                                                            | 120.000 m <sup>2</sup> |

***Suddivisione delle zone ZED***  
***(estratto tavola D-02-VD)***

## **6.5 Zone ZED-A: Area capping definitivo**

Queste superfici risultano estendersi per 81.500 m<sup>2</sup>, circa due terzi del totale osservato).

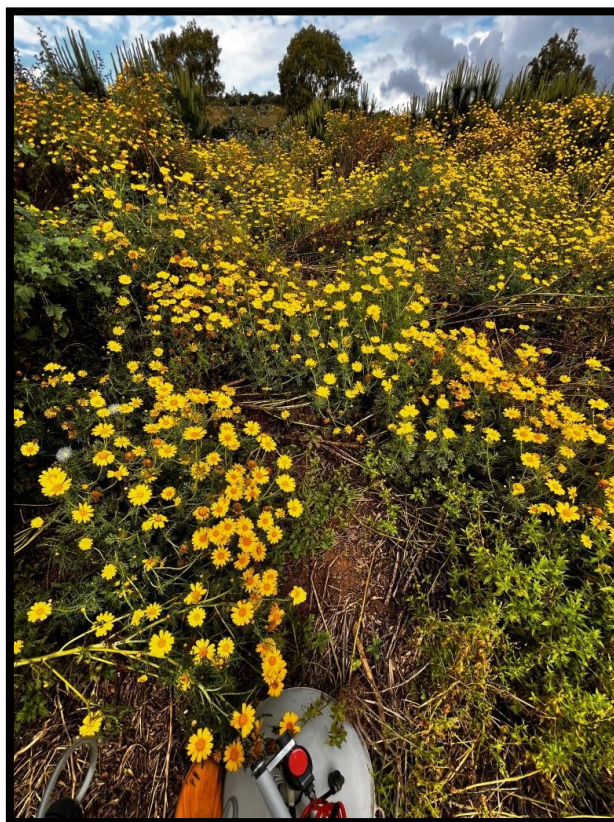
Le coperture definitive sono state realizzate in più e differenti tempi; alcune, come quelle sul lato nord, dove è presente un impianto fotovoltaico (FTV), sono molto vecchie, mentre altre sono più recenti.

Le zone ZED-A sono caratterizzate da una serie di scarpate con alternanza di piani orizzontali ed inclinati.

Su indicazione del Committente tale area risulta essere dotata di una copertura definitiva come definito dal D.Lgs. 36 del 2003 ed aggiornato dal D.Lgs 121/20.

Si precisa che su alcune aree delle zona ZED-A, in particolare sulle scarpate nord, la vegetazione spontanea era molto alta, quasi ad altezza d'uomo. Questa situazione, oltre a rendere difficoltoso il raggiungimento dei punti, rendeva impossibile una interfaccia adeguata della flux-box utilizzata.

Per tale oggettiva situazione si è deciso di sospendere il rilievo su tre punti ritenuti inaccessibili di seguito specificato.



***Vegetazione spontanea causa di inaccessibilità  
in alcune aree della discarica***

#### **6.6 Zone ZED-B: Area attiva – Non oggetto di smaltimenti durante la giornata dei rilievi**

Queste superfici non sono state dotate di copertura definitiva e pertanto potranno essere oggetto di smaltimenti, sempre nel rispetto delle autorizzazioni concesse.

Queste aree sono in ogni caso dotate di una di copertura provvisoria e non erano oggetto di smaltimento durante la giornata delle indagini (28/05/2025).

Queste superfici sono distribuite sulle scarpate ovest e sud dell'intera discarica.

La superficie ZED-B è di circa 37.500 m<sup>2</sup> e corrisponde a circa un terzo dell'intera discarica.

### **6.7 Zone ZED-C: Area attiva – Oggetto di smaltimenti durante la giornata dei rilievi**

Queste superfici, localizzate sulla parte alta della discarica, sono sempre parte della zona attiva (non dotata di copertura definitiva) e sono differenziate dalla precedente zona ZED-B dal fatto che nella giornata dei rilievi (28/05/2025) erano oggetto di smaltimento con mezzi d'opera in azione.

La superficie osservata è molto limitata, nell'ordine di circa 1.000 m<sup>2</sup> e corrisponde a meno dell'1% dell'intera discarica.

### **6.8 Definizione del numero dei punti di monitoraggio**

La norma tecnica dell'Agenzia Inglese per l'Ambiente (EA – Enviromental Agency): "Guidance for Monitoring Landfill Gas Surface Emissions", fornisce indicazioni precise su come definire il numero di punti di monitoraggio identificativi di una zona omogenea di emissione.

Tale metodologia è stata elaborata sulla base di uno studio sull'applicazione delle Flux-box di Kienbusch del 1986.

Lo studio propone la seguente formula:

$$n_{fb} = 6 + 0,15\sqrt{S}$$

dove:

$n_{fb}$       numero dei punti di monitoraggio (flux-box)

$S$           superficie della zona da monitorare

**L'applicazione della formula di Kienbusch alla superficie di 120.000 m<sup>2</sup> considerata fornisce un numero indicativo di 57,96 (58) rilievi.**

## 6.9 Disposizione e caratteristiche dei punti di monitoraggio

Si riportano di seguito le logiche alla base delle scelte applicate:

- La superficie media di riferimento per ogni punto di monitoraggio è stata calcolata dividendo la superficie osservata (120.000 m<sup>2</sup>) per il numero di punti determinati (58): il risultato determinato è stato di 2.069 m<sup>2</sup> per singola zona di riferimento;
- La superficie media di riferimento è stata incrementata del “fattore di sovrapposizione” dei raggi di influenza pari alla costante di 1,209. Il raggio di costruzione della superficie media di riferimento del punto di monitoraggio dovrebbe essere di circa 28 m (28,21 m per l'esattezza);
- Al fine di fornire un risultato più specifico si è ritenuto **di intensificare i punti di indagine** oltre il numero minimo richiesto dalla Norma di riferimento Inglese.

Tale applicazione del criterio di monitoraggio ha incrementato i punti di osservazione fino a **62 elementi**.

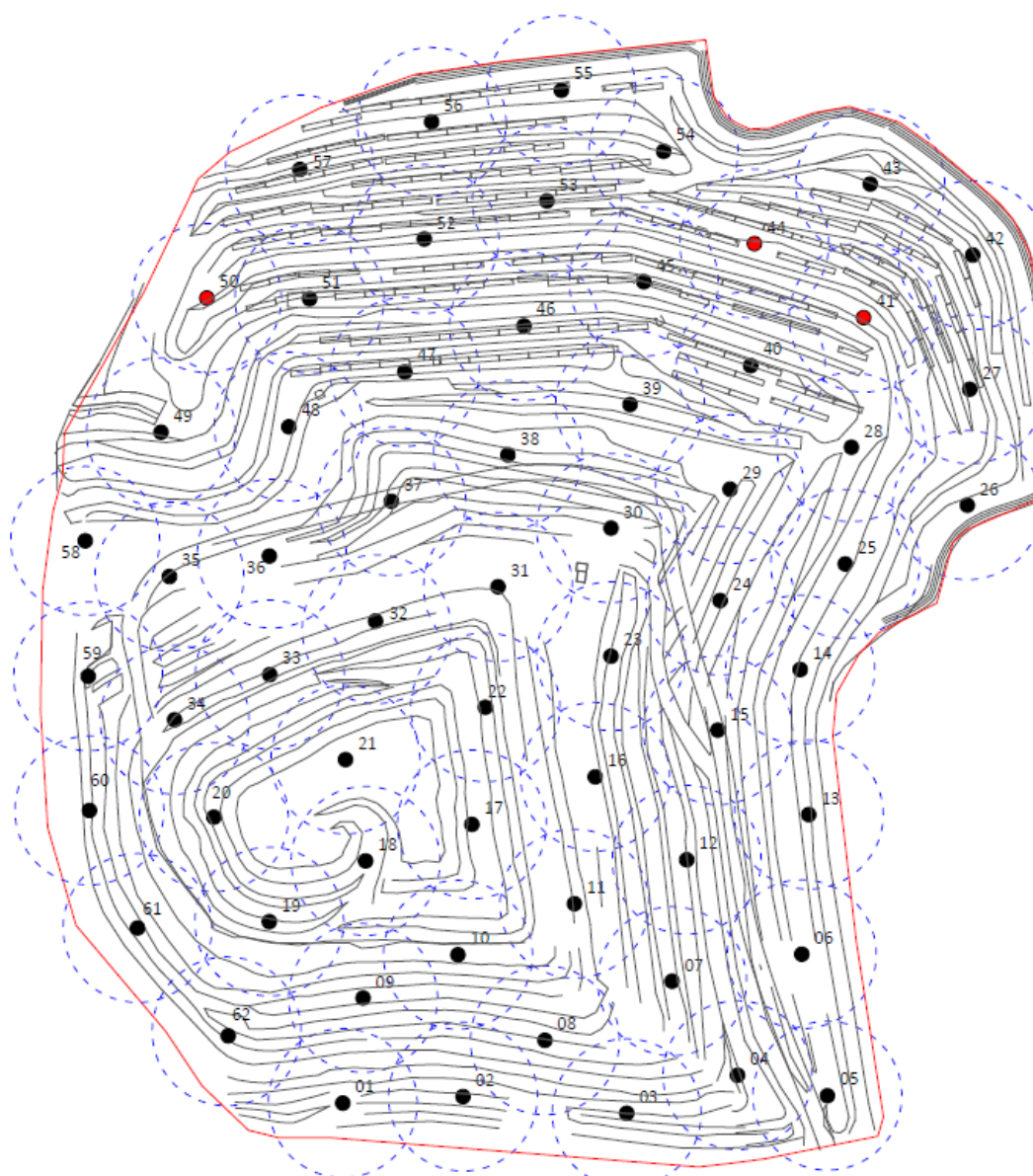
Come premesso è stato impossibile accedere a tre punti di indagine (n° 41, 44 e 50), ne consegue che **il numero finale dei rilievi è stato di 59**, comunque superiore a quello minimo prescritto.

Nella tavola allegata D-03-VD (di seguito riprodotta) si riporta la disposizione dei punti di rilievo. I punti rossi sono quelli non raggiungibili, come evidente localizzati nella parte più bassa della scarpata nord.

La disposizione dei punti di monitoraggio consente un'ampia e completa “copertura” delle zone osservate.

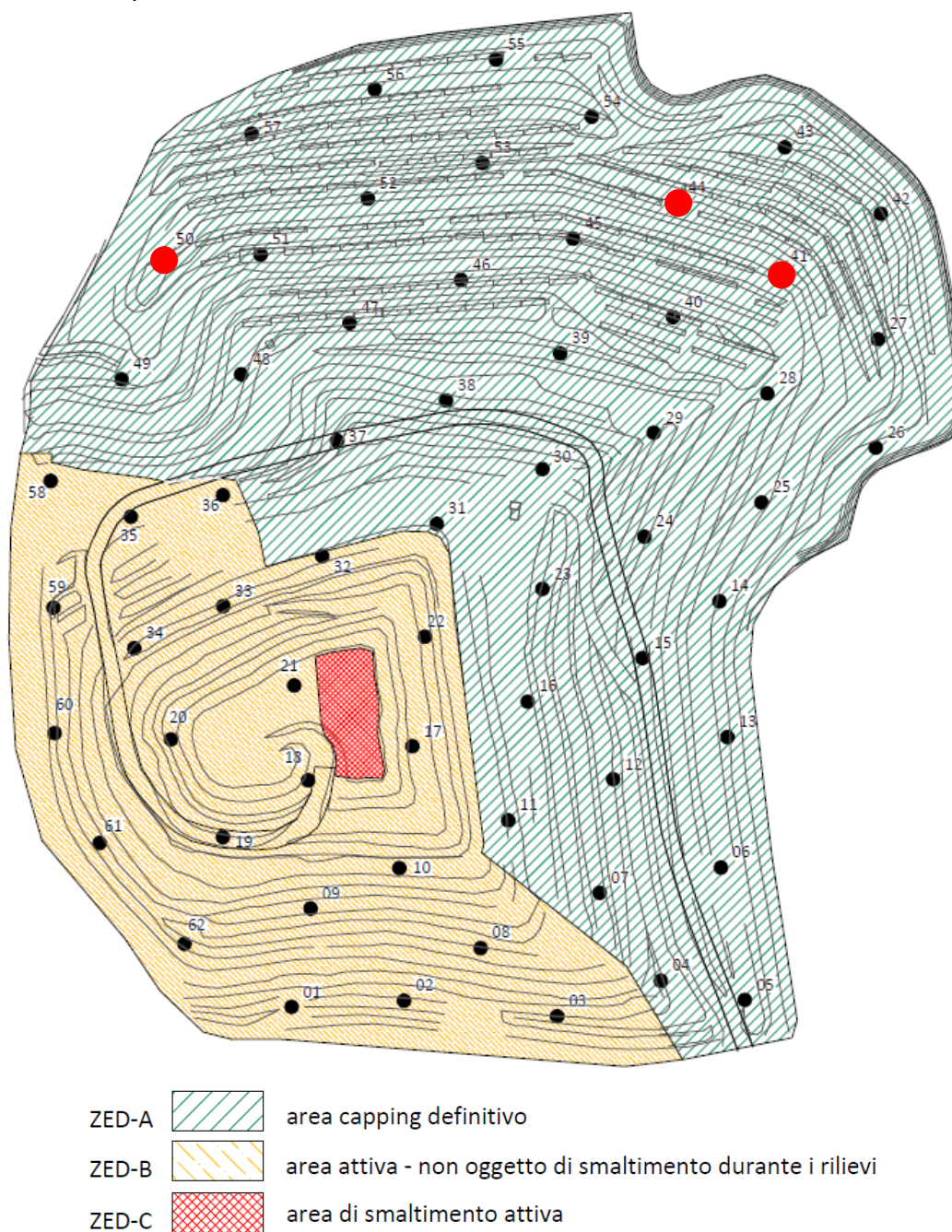
La disposizione dei punti di indagine rispetto alle superfici ZED ritenute ad emissione omogenea consentirà di esprimere valutazioni specifiche per ogni zona, si riportano di seguito le zone osservate ed il numero di punti rappresentativi per ogni zona. Si osserva che il numero dei punti di indagine è adeguatamente rappresentativo della proporzione delle superfici considerate.

- Zona ZED-A: 81.500 m<sup>2</sup> (67,92 %)      punti: 37 (62,71 %)
- Zona ZED-B: 37.500 m<sup>2</sup> (31,25 %)      punti: 22 (37,29 %)
- Zona ZED-C: 1.000 m<sup>2</sup> ( 0,83 %)      punti: 0 ( 0,00 %)
- **Totali: 120.000 m<sup>2</sup>      punti 59**



***Distribuzione planimetrica dei 59 punti di indagine  
(estratto tavola D-03-VD)***

Nella figura seguente si riporta invece la sovrapposizione dei punti di indagine alle zone ZED precedentemente descritte.



***Distribuzione planimetrica dei punti di indagine rispetto alle zone ZED  
(estratto tavola D-04-VD)***

I punti di monitoraggio delle emissioni diffuse identificati sono stati georeferenziati sul campo mediante la dotazione GPS installata nel rilevatore FID disponibile con una precisione di circa 3 m (1 decimo di secondo sulla coordinata sessagesimale di latitudine e longitudine). Le coordinate geografiche dei punti sono state memorizzate nella strumentazione in modo tale da rendere ripetibile l'indagine.

Le coordinate geografiche di ogni punto (latitudine e longitudine) sono inoltre riportate sulle schede di rilievo allegate alla presente relazione (schede FB).

Nella figura seguente, tratta dall'immagine satellitare, si evidenzia la posizione dei 62 punti di rilievo.



***Georeferenziazione dei punti di indagine***

## **6.10 Condizioni ambientali al momento dell'indagine**

La definizione delle condizioni ambientali nel momento dei rilievi è di importanza basilare per una valutazione critica della significatività dell'indagine.

In particolare, le condizioni barometriche al contorno possono incrementare o diminuire la capacità di emissione.

Le discariche possono essere considerate come corpi solidi dotati di interstizi alveolari (vuoti) in comunicazione indiretta con l'atmosfera. Le variazioni di pressione atmosferica possono quindi ostacolare o favorire le emissioni di gas.

Nei momenti di transizione verso una "alta pressione" la resistenza alla diffusione dei gas aumenta e di conseguenza le emissioni sono minori mentre nel caso contrario, di transizione verso una bassa pressione, le migrazioni di gas sono favorite.

La temperatura influisce sia sulle condizioni di fermentazione delle sostanze organiche (almeno a livelli corticali), inoltre condizioni di gelo causano la dilatazione dei volumi di acqua contenuti nei terreni di copertura "compattando" gli alveoli superficiali e riducendo le possibilità di emissione.

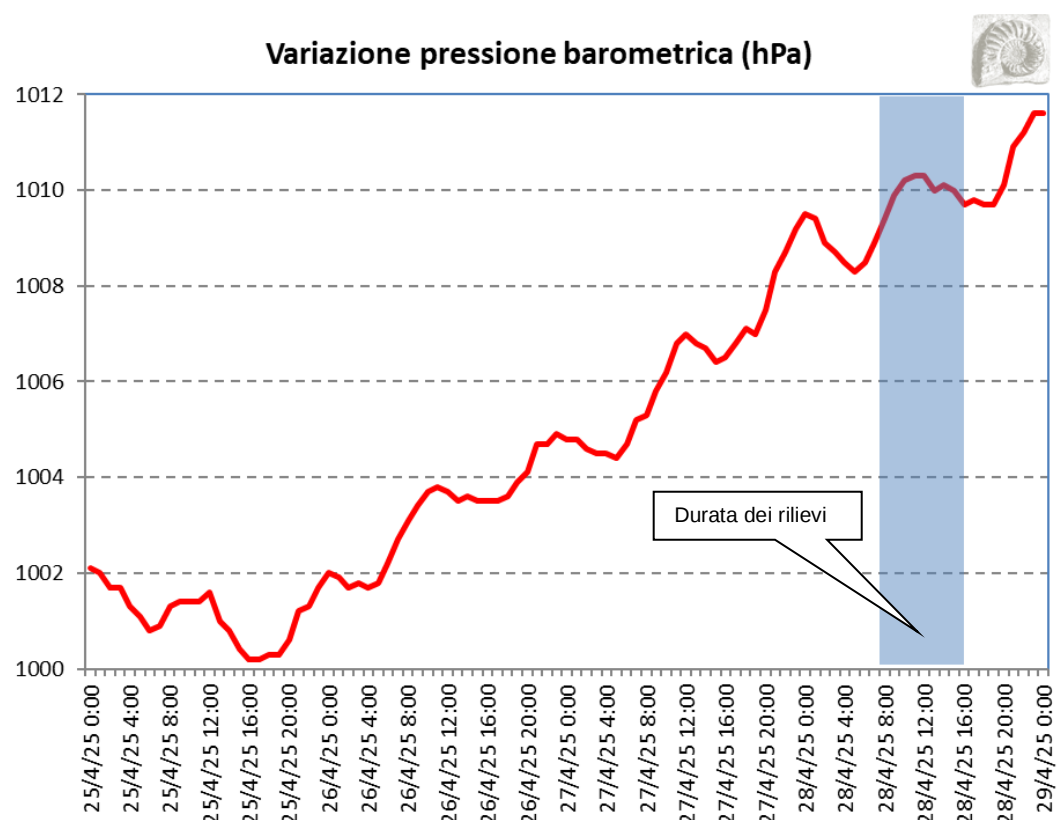
Il vento infine causa fenomeni di alterazione della pressione superficiale nel caso di particolari morfologie per l'applicazione della Legge di Bernoulli.

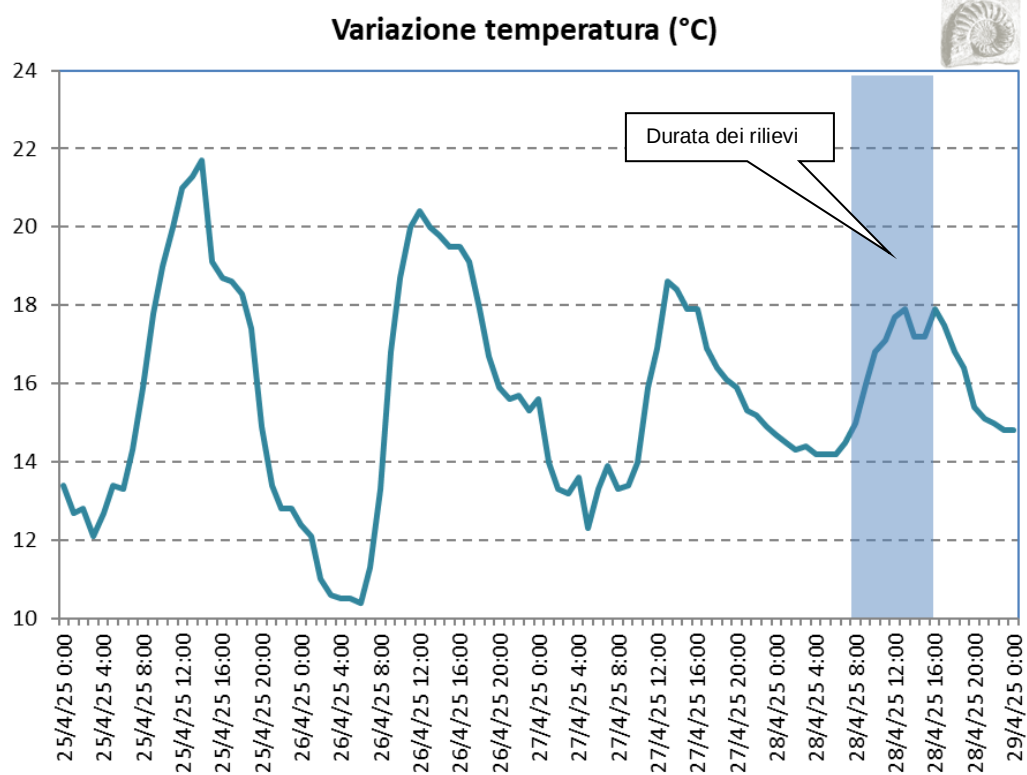
Le indagini sono state svolte valutando attentamente le condizioni ambientali presenti al momento del rilievo (28/04/2025) e nelle ore precedenti ad esso, per tale motivo si è provveduto all'acquisizione di alcuni dati meteoclimatici incidenti al momento del rilievo.

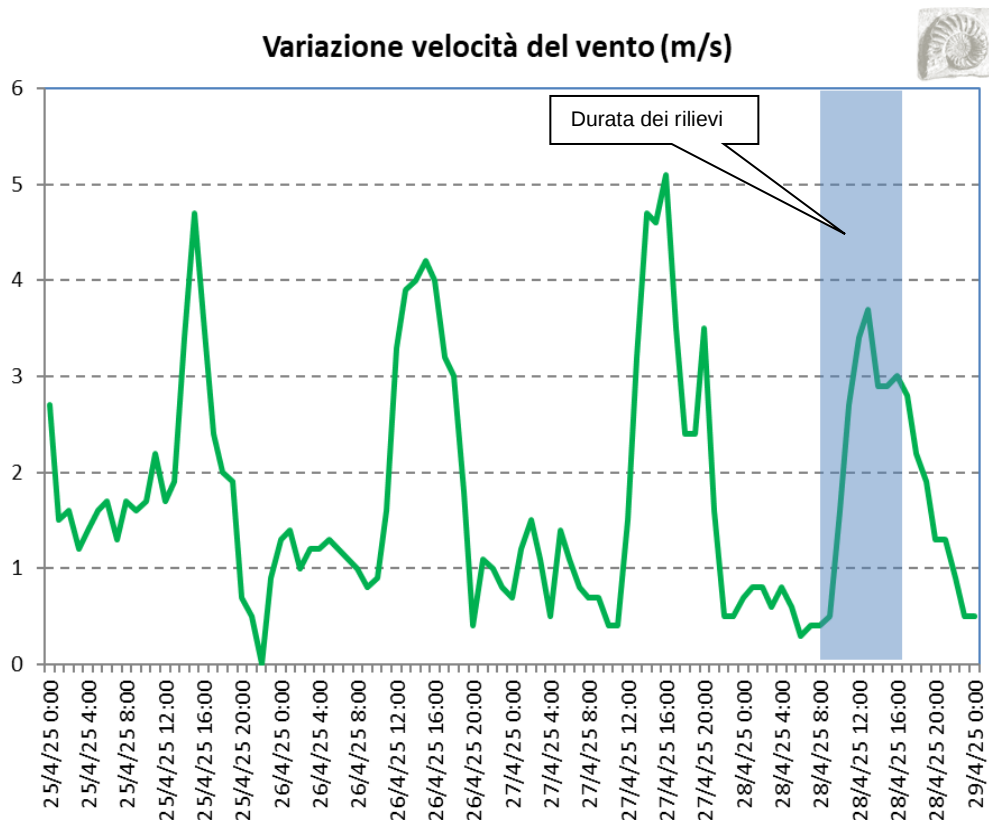
Per la valutazione delle variazioni barometriche intercorse prima e durante lo svolgimento dell'indagine è stato possibile utilizzare i dati della Centrale meteo della discarica forniti dal Gestore CIPNES.

Al momento dei rilievi le condizioni meteo erano di cielo sereno e venti consistenti.

Si riportano di seguito i grafici della pressione, temperatura e velocità del vento riferiti al periodo 16-17-18 novembre 2022.







L'osservazione evidenzia una situazione di netto incremento barometrico: nelle 72 ore di osservazione; la pressione è salita da circa 1000 (ore 16:00 del 25/04/2025) a 1011 hPa (ore 10:00 del 28/04/2025) con una variazione positiva 11 hPa in 67 ore.

La pressione osservata durante i rilievi è inoltre più alta rispetto alla pressione standard riferibile ad una quota sul livello del mare di circa 65 m; considerando una riduzione di 0,125 hPa/m ne consegue una pressione "standard" di 1004,85 hPa.

Le variazioni di temperatura indicano un range tra 14 e 18 °C nel corso dei rilievi.

La temperatura più bassa è stata di circa 15 °C. Tale riferimento sarà utile per il riscontro delle indagini termografiche.

La velocità del vento è stata modesta e variabile nel periodo precedente alle indagini (<1 m/s) per poi salire durante la mattinata con raffiche più forti prossime a 3-4 m/s.

La situazione meteo descritta (bassa pressione in deciso incremento) si ritiene possa avere parzialmente influito sul risultato delle indagini **riducendo il fenomeno di emissione diffusa di biogas**.

#### **6.11 Descrizione della strumentazione utilizzata**

I rilievi oggetto dell'indagine riguardavano l'emissione di un gas e pertanto sono orientati alla valutazione del flusso di migrazione dello stesso.

Ne consegue che le indagini riguardano la misura del volume di gas emesso (metano) nell'unità di tempo.

Occorre pertanto definire:

- La superficie limitata di osservazione;
- Il volume confinato riferito alla superficie entro il quale il gas si diffonde;
- La concentrazione variabile del gas all'interno del volume confinato;
- Il tempo di diffusione del gas all'interno del volume confinato.

#### **6.12 Camera di monitoraggio del flusso**

Le due condizioni "geometriche" di superficie limitata e di volume confinato sono fornite dall'utilizzo di una camera di campionamento del flusso, più semplicemente nota come **"flux-box"** entro la quale avviene il monitoraggio.

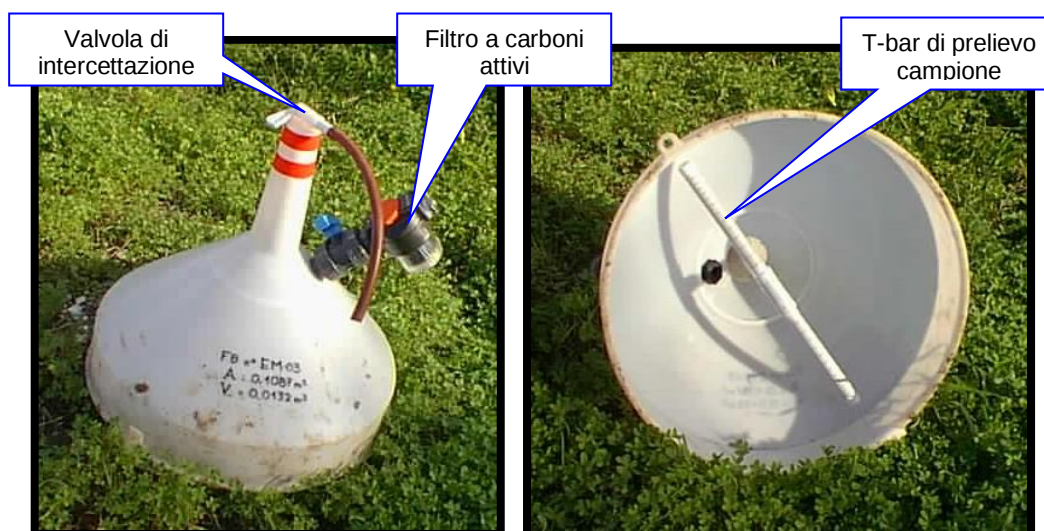
La flux-box non ha caratteristiche predefinite ma esistono alcune particolarità, definite specificatamente dalla Norma EA di riferimento che ne definiscono la forma e tipologia:

- La superficie di contatto ( $S_{fb}$ ) deve essere ampia rispetto al Volume ( $V_{fb}$ ) al fine da velocizzare il fenomeno di diffusione del gas;
- La circonferenza della camera deve essere facilmente sigillabile al terreno per evitare infiltrazioni di aria o diffusioni all'esterno del volume confinato;

- La camera deve evitare surriscaldamenti del contenuto della stessa al fine di evitare variazioni di volume; pertanto, è preferibile utilizzare materiali plastici di colore chiaro;
- La camera deve contenere una presa di analisi raccordata ad una sonda orizzontale (T-bar) al fine di distribuire il flusso di gas campionato dagli strumenti;
- La camera deve essere dotata di una valvola di compensazione raccordata ad un filtro a carboni attivi per evitare:
  - Condizioni di suzione a causa della pompa dell'analizzatore;
  - Immissioni di gas "inquinanti" l'analisi.
- La camera deve essere dotata di una presa di raccordo alla strumentazione di analisi.

La Flux box ha le seguenti dimensioni:

- Sigla convenzionale: **FB-EM05**
- Superficie di contatto:  $0,11040 \text{ m}^2$
- Volume confinato:  $0,01104 \text{ m}^3$



***Esempio di Flux-box***

### 6.13 Analizzatore FID (rivelatore a ionizzazione di fiamma)

Per l'analisi del metano è necessario disporre di un analizzatore molto preciso in grado di rilevare porzioni volumetriche molto basse, nell'ordine di 1 milionesimo (ppmv). Per tale motivo per l'indagine svolta è stato utilizzato principalmente un analizzatore FID portatile modello **CROWCON MK5**.

La Norma EA di riferimento e le Linee guida RECONNET indicano chiaramente che lo strumento più indicato è certamente il FID, anche se le soglie riportate per il rilievo di metano evidenziano una risoluzione (controllo top-soil) di 100 ppmv, forse troppo elevata per consentire il rilievo dei flussi coincidenti con i livelli di guardia poi richiesti.

Si riporta di seguito la tabella 3.3 tratta dalle linee guida RECONNET.

| Parametro                        | Strumentazione       | Punto di controllo | On-Site                          | Off-site             |
|----------------------------------|----------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------|
| CH <sub>4</sub>                  | Gas Analyser/<br>FID | Piezometro         | 1 %<br>(10000 ppmv)              | <1 %<br>(10000 ppmv) |
|                                  | Gas Analyser/<br>FID | Top soil/sonda     | 0,1%<br>(100 ppmv)               | <0,1%<br>(100 ppmv)  |
| CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub> |                      |                    | 1,375-1,800                      |                      |
| O <sub>2</sub>                   | Gas Analyser/<br>FID | Piezometro         |                                  | 18%                  |
| "marker"                         | PID                  | Top soil/sonda     | Limiti Guardia<br>(v. par. 3.6.) |                      |

*Figura 3.3 - Proposta di limiti di guardia nei pozzi di monitoraggio da rilevare con strumentazione portatile*

In generale il rivelatore a Ionizzazione di fiamma (FID) è uno dei rivelatori più diffusi e di uso più comune nell'analisi dei gas idrocarburi, tra cui appunto il metano.

Lo strumento è dotato di un bruciatore nel quale il campione viene miscelato con aria e idrogeno e poi bruciato con una fiamma preventivamente accesa elettricamente. La maggior parte dei composti organici quando viene pirolizzata

alla temperatura di una fiamma idrogeno /aria, genera ioni ed elettroni che possono condurre elettricità attraverso una fiamma.

Tra l'ugello del bruciatore e l'elettrodo collettore posto appena sopra la fiamma viene applicata una differenza di potenziale di alcune centinaia di volt e la corrente generata viene inviata ad un amplificatore.

Il flusso di gas campionato per mezzo di una piccola pompa elettrica viene inviato direttamente al detector e lo strumento esprime i valori dei VOC totali (composti organici volatili totali) come ppm di metano.

Il tempo di risposta dello strumento è pressoché immediata: dell'ordine di 2 secondi e torna a zero molto velocemente permettendo così di accelerare al massimo il tempo utile di analisi.



***Analizzatore FID Crowcon MK5***

Lo strumento utilizzato per l'indagine oggetto della presente relazione, è un FID a sicurezza intrinseca idoneo quindi ad operare in ambienti a rischio di esplosione quali possono essere le discariche.

Lo strumento è dotato di struttura compatta, robusta e molto leggera (3,8 kg), ideale quindi per le analisi 'on site'. Inoltre, ha una autonomia di 22 ore per set di batterie e per carica di idrogeno.

### **Specifiche Tecniche:**

- Range: 0-1.000ppm, 0-10.000ppm;
- Risoluzione max 0,1% del fondo scala
- Sensibilità: 0,1 ppm di VOC come metano
- Accuratezza: 10% del livello di lettura
- Flusso: 850 ml/min (controllato automaticamente)
- Response Time: 2 sec.
- Carrier gas: Idrogeno a purezza commerciale,  
con bombole ricaricabili (autonomia 45 ore)
- Autonomia batterie: più di 45 ore con 6 C batterie alcaline
- Output elettrico: fibre ottiche infrarosse RS232
- Intrinsic Safety classifications: BASEEFA to EEx ib IIC T4, EEx d IIC T4,  
EN 50014, EN 50018, EN 50020.
- Compatibilità elettromagnetica: EN 50082-1 e EN 50081-1
- Condizioni operative: Temperatura 5-55° C  
Umidità relativa 5-95%
- Peso: 3,8 kg
- Certificazione EMC: EN50270 – EN50271:2002

Lo strumento CROWCON MK5 utilizzato nei rilievi era dotato del numero di serie GT-248. Al momento della analisi era coperto da certificato di calibrazione

rilasciato dalla ION Science numero 3160-0073 usando gas certificato a 100,7 – 1.000 e 10.000 ppm di metano in aria.

#### **6.14 Analizzatore IR di metano ed anidride carbonica**

Nel caso si fossero riscontrate concentrazioni di metano superiori al fondo scala del FID (10.000 ppm = 1%) era disponibile uno strumento in grado di valutare tali elevate concentrazioni tipiche di una discarica per rifiuti urbani.

Lo strumento disponibile era un analizzatore portatile **MRU** modello Optima 7.

Lo strumento non è stato usato in quanto le concentrazioni rilevate sui punti ad emissione diffusa (ZED) sono state tutte al di sotto del limite di rilevabilità massima del FID.

#### **6.15 Svolgimento dell'indagine**

L'indagine di valutazione delle emissioni di gas è stata svolta con le metodologie di seguito descritte.

I punti ZED definiti sono stati georeferenziati mediante il GPS portatile. Come premesso si è cercato di far coincidere i punti di indagine con le posizioni indagate nel corso delle precedenti indagini (2013 e 2022) al fine di disporre di un riscontro storico per tale motivo le vecchie posizioni sono state identificate anche se poste a quote differenti (riempimento con rifiuti della discarica).

L'azione successiva è stata il posizionamento della flux-box in modo tale da sigillarne provvisoriamente la superficie di contatto mediante una leggera pressione evitando comunque di alterare lo stato di diffusione tipico.

Successivamente è stata connessa la presa di campionamento allo strumento FID precedentemente descritto ed aperta la valvola di compensazione dotata di filtro a carboni attivi.

Immediatamente dopo il posizionamento è stato attivato il cronometro eseguendo la prima lettura al tempo 0. Successivamente ad intervalli di 10 secondi sono state svolte le successive letture.

I rilievi sono stati consecutivi fino a che non si riscontravano valori stabili, senza cioè ulteriori incrementi dei dati di analisi.

I dati rilevati presso ogni singolo punto di rilievo sono stati riportati su di una specifica scheda allegata alla presente relazione.

## 7 RISULTATI DELL'INDAGINE IN CAMPO

### 7.1 Sviluppo dei dati raccolti in campo

I dati raccolti sul campo e riportati sulle schede di rilievo sono stati successivamente elaborati al fine di determinare il flusso di emissione di ogni punto di monitoraggio utile.

Il flusso è stato calcolato utilizzando la seguente equazione:

$$Q = V_{fb} / S_{fb} \cdot (dc/dt)$$

Dove:  $Q$  = flusso di emissione ( $mg \cdot m^{-2} s^{-1}$ )

$V_{fb}$  = volume confinato della flux-box ( $m^3$ )

$S_{fb}$  = superficie di contatto della flux-box ( $m^2$ )

$(dc/dt)$  = rateo di variazione della concentrazione del metano ( $mg \cdot m^{-3} s^{-1}$ )

Le prime due variabili sono determinate chiaramente dalla geometria della camera di campionamento (flux-box) e sono da considerarsi come costanti.

Il rateo di variazione della concentrazione di metano ( $dc/dt$ ) può essere determinato graficamente riportando i dati su di un grafico dove le ascisse rappresentino il tempo (in secondi) e le ordinate rappresentino la concentrazione di massa ( $mg \cdot m^{-3}$ ).

Un secondo procedimento di calcolo prevede l'applicazione della seguente equazione:

$$dc/dt = \frac{n \sum t \times c - (\sum t)(\sum c)}{n \sum t^2 - (\sum t)^2}$$

Dove:  $n$  = numero delle misurazioni

$t$  = tempi individuali delle misurazioni

$c$  = concentrazioni individuali

Nelle tabelle di calcolo allegate alla presente relazione i due procedimenti di calcolo vengono sviluppati entrambi con il seguente ordine:

- Sviluppo matematico
- Verifica grafica

Determinato e verificato il rateo di variazione ed essendo note le caratteristiche della flux-box è stato possibile calcolare il flusso di esalazione del gas metano nel punto di monitoraggio prescelto.

Nelle tabelle di calcolo contraddistinte dal nome dei punti di monitoraggio (da 01 a 62) vengono quindi riportati i risultati delle elaborazioni oltre che tutte le informazioni e le coordinate geografiche del punto.

## **7.2 Correzione dei dati**

I dati di rilievo delle concentrazioni evidenziano un comportamento tipico con un innalzamento dei valori seguito da una stabilizzazione degli stessi oppure da un calo. Normalmente il rilievo viene interrotto quando l'operatore ritiene che tale condizione venga raggiunta.

La motivazione di tale "stabilizzazione" può coincidere con l'instaurarsi di una saturazione del volume confinato; i cali, più rari, possono essere invece causati da fenomeni di riflusso di gas nel terreno oppure possono essere causati da fenomeni di ossidazione del metano all'interno della camera.

Nello sviluppo del calcolo del flusso di emissioni l'inserimento di tali dati "di coda" può però variare il rateo di variazione del rapporto concentrazione / tempo e quindi modificare il risultato di un rilievo.

Per eliminare tale "difetto di calcolo", ed uniformare i risultati dei rilievi, la Norma Inglese di riferimento propone una correzione mediante variazione dei rilievi mediante l'eliminazione forzata degli ultimi dati fino a che il coefficiente di correlazione della curva non superi il valore di 0,8 ( $r^2 > 0,8$ ).

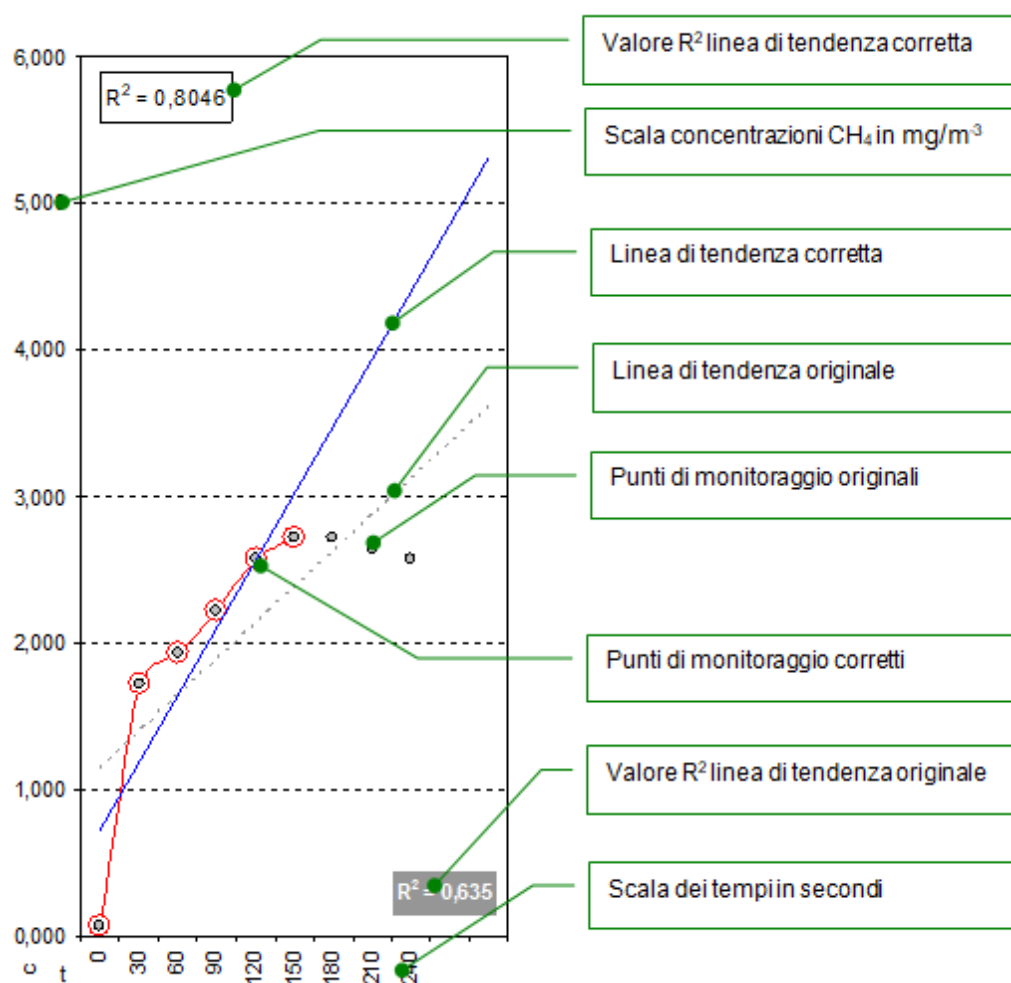
Nelle tabelle di rilievo il coefficiente di correlazione della curva viene calcolato con una complessa formula e verificato graficamente mediante una opzione del foglio elettronico (Excel ® Microsoft).

Per completezza i dati e le elaborazioni raccolti sul campo (senza variazione) sono riportati in tabella nella colonna “unità in volume”. Tali dati volumetrici sono trasformati in concentrazione ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3-1}$ ) e riportati nella colonna “unità di massa”. L’elaborazione dei dati di massa viene riportata nel grafico con il simbolo rotondo pieno più piccolo e la linea di tendenza di tale curva viene rappresentata come tratteggiata, il coefficiente di correlazione ( $r^2$ ) di tale linea di tendenza viene indicato in basso a destra del grafico.

Qualora il coefficiente di correlazione fosse stato inferiore al limite di 0,8 si è provveduto a cancellare gli ultimi rilievi di stabilizzazione fino a che la condizione minima non fosse raggiunta. I dati di massa vengono riportati nella colonna “rilievi utili” della tabella e rappresentati graficamente con un cerchio vuoto più grosso. La linea di tendenza di questa nuova curva è continua ed il valore di  $r^2$  è riportato in alto a sinistra rispetto al grafico.

Solo nel caso di rilievi di modeste concentrazioni (inferiori a 10 ppmv) tale correzione è stata omessa in quanto troppo incidente sulla considerazione finale di flusso, tra l’altro già molto limitata.

Si riporta di seguito un esempio di un grafico di elaborazione dei dati.



Nelle singole tabelle di rappresentazione i calcoli di sviluppo del dato di emissione diffusa sono riportati in basso a sinistra con l'indicazione del valore di emissione del metano esposto in  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

### 7.3 Risultati delle elaborazioni

I risultati delle 62 elaborazioni hanno evidenziato concentrazioni di metano variabili tra 0 e 2.870 ppm (punto ZED-22) e valori di flusso compresi tra 0 e  $1,81 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Nel corso delle elaborazioni è stata osservata la presenza di alcuni dati di picco dove le concentrazioni di metano rilevate sono risultate più elevate rispetto alla media delle altre osservazioni.

Tali punti con emissione “anomala” tendono, se inseriti in una valutazione complessiva, a deformare il risultato generale fornendo dati medi non in linea con l’effettiva situazione.

Si ritiene quindi che tali dati debbano essere considerati come “eccezionali” e non considerabili in una valutazione “complessiva” delle emissioni.

La stessa Normativa di riferimento EA ribadisce svariate volte che è necessario identificare e considerare separatamente le “*features*” (aree caratteristiche) dove le concentrazioni di metano sono nettamente superiori alla media delle zone limitrofe. Per tali aree la Norma prevede di considerare i flussi come riferiti alle più specifiche superfici e non mediati per le più ampie superfici delle zone omogenee (aree ZED).

Per tali “*features*” viene richiesta una attività “correttiva” specifica e localizzata. È infatti importante l’immediata segnalazione di tali “anomalie” al gestore della discarica, il quale potrà intervenire al fine di ridurre tale fenomeno con mirate azioni integrative o correttive.

L’unica interpretazione “critica” posta alla metodologia della Norma EA è legata alla “soggettività” della scelta delle aree caratteristiche (*features*) da considerare in modo differente (definendone l’estensione delle superfici) rispetto alle zone omogenee (Aree ZED). Si ritiene infatti che l’esecutore di queste indagini **debba agire nel modo più oggettivo possibile** limitando al massimo i criteri soggettivi di valutazione.

Per apportare una valutazione adeguata ai valori suddetti si intende applicare una logica scientifica basata sulla **valutazione dei percentili**. Tale metodologia

operativa è stata inoltre applicata anche nelle precedenti indagini e consente quindi una continuità di valutazione.

La alternativa al criterio del 90° percentile è quella, indicata dalla Norma EA, di identificare le “aree caratteristiche” (*features*) e di eseguire le misurazioni strumentali. Queste specifiche aree di riferimento dovrebbero essere ovviamente molto limitate (non superiori a pochi metri quadrati).

Successivamente le emissioni calcolate nei punti delle “*features*” dovrebbero essere escluse dalle considerazioni generali per le zone omogenee (ZED) ma moltiplicate per le sole aree di riferimento definite.

La stessa normativa EA propone di considerare tali emissioni come “zone ad emissione localizzata – ZEL” e non ad emissione diffusa (ZED). Per tali zone viene richiesta una attività “correttiva” specifica e localizzata.

E’ infatti importante la segnalazione di tali “anomalie” al gestore della discarica il quale potrà intervenire al fine di ridurre tale fenomeno con azioni integrative o correttive della captazione forzata del biogas.

**Nella valutazione dei dati si è quindi proceduto a elaborare una seconda valutazione media escludendo i valori anomali.**

Nella valutazione dei dati si è quindi proceduto ad eseguire una analisi statistica dei valori applicando il criterio percentile **considerando “anomali” i valori superiori al 90° percentile**. In pratica sono stati posti sotto osservazione i rilievi i cui valori di emissione superassero la media del 90% dell’insieme dei valori.

La media matematica dei 62 rilievi evidenzia un valore di emissione di metano pari a **0,119 mg.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>** (428 mg.m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>)

La valutazione del 90° percentile indica come valori anomali i valori eccedenti al dato di emissione di **0,2468 mg.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>** (888,49 mg.m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>).

Dalla analisi dei dati risultano eccedenti a tale valore 7 rilievi sui 62 svolti, si riportano di seguito i rilievi di metano eccedenti al 90<sup>mo</sup> percentile:

- Punto ZED 09: 1,040 mg.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> ZED-B
- Punto ZED 10: 0,311 mg.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> ZED-B
- Punto ZED 17: 0,997 mg.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> ZED-B
- Punto ZED 19: 0,261 mg.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> ZED-C
- Punto ZED 22: 1,810 mg.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> ZED-C
- Punto ZED 34: 0,256 mg.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> ZED-C

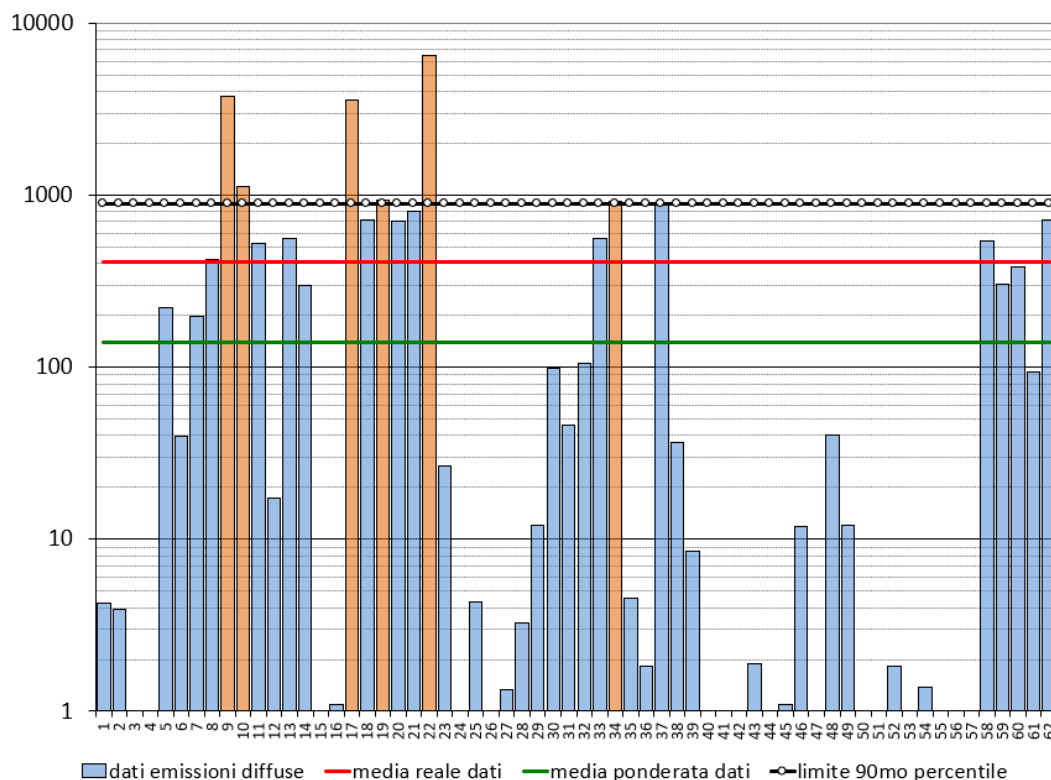
La media delle emissioni di metano, dopo la correzione imposta dei dati, si riduce da **0,119 mg.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>** (428 mg.m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>) a **0,0396 mg.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>** (143 mg.m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>).

In pratica sui sei punti “anomali” (circa il 10% dei punti osservati) è stato riscontrato circa il 67% (due terzi) di tutte le emissioni misurate.

Il punto di maggiore emissione, il ZED 22, rappresenta, da solo, il 26% (un quarto) di tutti i rilievi. Per tale motivo si è ritenuto di escludere tali punti pur mantenendoli evidenti come condizioni di anomalia.

Nel grafico logaritmico di seguito riportato si evidenziano le variazioni dei dati analizzati, la media reale delle emissioni, il limite del 90<sup>mo</sup> percentile e la nuova media “ponderata”.

Discarica di Olbia - Vecchio Corpo Discarica  
Distribuzione logaritmica dei valori di emissione del biogas  
( $\text{mg CH}_4/\text{m}^2/\text{h}$ )



A seguito delle considerazioni relative ai dati anomali si è provveduto ad elaborare una seconda valutazione escludendo i sei rilievi ritenuti “anomali”

Le due definizioni di seguito utilizzate saranno pertanto le seguenti:

- **Emissione di metano reale:** riferita all’osservazione di tutti i 59 punti utili;
- **Emissione di metano ponderata:** riferita all’osservazione dei 59 punti con la sostituzione dei 6 valori anomali con la media ponderata.

## 8 SINTESI DELLE VALUTAZIONI

Sulla base delle metodologie di indagine ed a seguito della elaborazione dei dati raccolti si riportano le seguenti sintesi.

### 8.1 Emissioni diffuse

L'emissione media reale di metano della discarica relativa a tutte le superfici osservate è stata valutata come pari a **0,119 mg·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>**.

Escludendo però le anomalie eccedenti al 90<sup>mo</sup> percentile (vedere precedente capitolo 7.3) il dato medio di emissione si riduce a **0,0396 mg·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>**

Per le discariche **chiuse in modo definitivo** la Norma EA, riconfermata dalla norma RECONNET, propone un riferimento di  $1 \cdot 10^{-3} \cdot \text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; sulla discarica osservata esistono zone dotate di copertura definitiva definite come zone ZED-A e pertanto riferimento è applicabile esclusivamente a tali zone.

Nella tabella seguente si riportano i dati elaborati

| <b>ZED – A</b><br>zone con<br>copertura<br>definitiva | Emissione media<br>CH <sub>4</sub> per m <sup>2</sup> | area                 | emissione<br>CH <sub>4</sub> | emissione<br>annua CH <sub>4</sub> |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------------|
|                                                       | <i>mg·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup></i>               | <i>m<sup>2</sup></i> | <i>mg·s<sup>-1</sup></i>     | <i>t*anno</i>                      |
| Dati reali                                            | $2,29 \cdot 10^{-2}$                                  | 81.500               | 1.864                        | 58,79                              |

Il dato osservato risulta essere superiore al limite proposto delle Norme di riferimento.

Per le zone ZED-A non viene applicata nessuna correzione legata ai valori eccedenti al 90<sup>mo</sup> percentile in quanto non sono stati riscontrati valori anomali su tali aree

Per le discariche **chiuse in modo provvisorio** la norma EA, riconfermata dalla norma RECONNET, propone un riferimento di  $1 \cdot 10^{-1} \cdot \text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Le zone corrispondenti a questo riferimento sono le aree **ZED-B**: con copertura assimilata a copertura provvisoria.

#### Sintesi emissioni reali

| Zone ZED<br>zone con<br>copertura<br>provvisoria | Emissione media<br>CH <sub>4</sub> per m <sup>2</sup> | area                 | emissione<br>CH <sub>4</sub> | emissione<br>annua CH <sub>4</sub> |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------------|
|                                                  | <i>mg*m<sup>-2</sup>*s<sup>-1</sup></i>               | <i>m<sup>2</sup></i> | <i>mg*s<sup>-1</sup></i>     | <i>t*anno</i>                      |
| ZED-B                                            | 2,80 · 10 <sup>-1</sup>                               | 37.500               | 10.503                       | 331,51                             |

La media delle emissioni di metano relativa alle zone con copertura provvisoria risulta essere superiore alla soglia della Norma EA.

Sottraendo i dati anomali alle osservazioni precedenti si riduce la media delle emissioni.

#### Sintesi emissioni ponderate

| Zone ZED<br>zone con<br>copertura<br>provvisoria | Emissione media<br>CH <sub>4</sub> per m <sup>2</sup> | area                 | emissione<br>CH <sub>4</sub> | emissione<br>annua CH <sub>4</sub> |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------------|
|                                                  | <i>mg*m<sup>-2</sup>*s<sup>-1</sup></i>               | <i>m<sup>2</sup></i> | <i>mg*s<sup>-1</sup></i>     | <i>t*anno</i>                      |
| ZED-B                                            | 6,77 · 10 <sup>-2</sup>                               | 37.500               | 2.539                        | 80,06                              |

La media delle emissioni ponderate di metano relativa alle zone con copertura provvisoria risulta essere di **conforme alla soglia proposta dalle Norme di riferimento.**

Un'ulteriore valutazione risulta essere relativa all'espressione del dato di **emissione in volume orario**, essendo tale unità di misura quella utilizzata nella comune gestione e valutazione preliminare della captazione del biogas e dell'eventuale recupero energetico.

Per volume orario si intende un flusso misurabile in  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  di metano.

Dall'elaborazione dei precedenti dati è possibile definire tale dato come corrispondete a:

- Emissione media di metano: **62,10  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$**
- Emissione media ponderata di metano: **22,11  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$**

Imponendo una presenza del metano nella miscela del biogas come pari al 50% (LFG50) e considerando il rimanente è considerabile come anidride carbonica (ed altri gas) è possibile calcolare l'emissione complessiva di biogas:

- Emissione media di biogas: **124,19  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$**
- Emissione media ponderata di biogas: **44,22  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$**

Si precisa che il riferimento a LFG50 risulta essere necessario anche per un raffronto con le prospezioni produttive elaborate nel seguito e rappresentata con questa concentrazione tipica.

Infine, si osserva che la valutazione del flusso emesso di anidride carbonica non risulta essere prevalente negli scopi dell'indagine indicati dalle norme di riferimento. Considerando il rapporto tipico di presenza di  $\text{CO}_2$  nel biogas LFG50 come pari al 35% è possibile calcolare l'emissione di anidride carbonica.

- Emissione media di  $\text{CO}_2$  (calcolata): **43,47  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$**
- Emissione media ponderata di  $\text{CO}_2$  (calcolata): **15,48  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$**

Presumibilmente il rapporto tra  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  emesso dalle superfici della discarica è differente da quello tipico nel biogas poiché a livello corticale avviene un fenomeno di ossidazione che trasforma parte del metano in anidride carbonica e vapore acqueo, ma tale fenomeno viene considerato poco incidente come evidenziato nel

capitolo successivo (soglie IPPC) anche se tende ad aumentare i flussi di CO<sub>2</sub> emessa.

Supponendo che il rapporto tra i due gas (CH<sub>4</sub> / CO<sub>2</sub>) passi da 1,5 a 0,5 si osserva un incremento di circa 3 volte del flusso di anidride carbonica emessa, ne consegue un flusso emissivo

- Emissione media di CO<sub>2</sub> (calcolata rapporto a 0,5): **130,40 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>**
- Emissione media ponderata di CO<sub>2</sub> (calcolata a 0,5): **46,43 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>**

## 8.2 Riferimento IPPC

Come precisato nelle premesse la Norma IPPC definisce una soglia di riferimento oltre la quale considerare gli impianti “oggetto di dichiarazione”.

La soglia non è correlata alla dimensione della discarica ma riferibile a tutte le *“Discariche che ricevono più di 10 tonnellate al giorno o con una capacità totale di oltre 25.000 tonnellate”*.

Ne consegue che tale indice è puramente indicativo in quanto riferibile solo ad un fattore di “significatività” dell’impianto e non alla condizione di effettiva emissione.

Occorre inoltre evidenziare che, per quanto concerne le emissioni in aria causate dalla produzione di biogas, gli inquinanti che devono essere verificati e dichiarati sono solo il metano e biossido di carbonio.

I valori soglia relativi alla dichiarazione di questi componenti tipici del biogas sono rispettivamente a **100 t/anno per il metano e 100.000 t/anno per l’anidride carbonica**.

## Metano

La verifica è stata svolta trasformando il dato di emissione di metano da  $\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$  a t/anno

- Emissione di metano reale: **390,03 t/anno**
- Emissione di metano ponderato: **138,86 t/anno**

Dato di riferimento

- Emissione di metano: **100 t/anno**

Ne risulta quindi che **la situazione osservata risulta essere eccedente al riferimento IPPC** di emissione diffusa per quanto riguarda il quantitativo di metano emesso anche se molto vicina con l'applicazione delle valutazioni ponderate.

## Anidride carbonica

Per quanto riguarda la soglia di riferimento del biossido di carbonio indicata dall'IPPC non si ritiene ci siano problemi in quanto, pur essendo la  $\text{CO}_2$  dotata di massa maggiore del  $\text{CH}_4$ , il riferimento è comunque 1.000 volte superiore a quello del metano.

Sviluppando analiticamente tale concetto e assumendo come riferimento una miscela standard (LFG50) di biogas composta al 50% da metano ed al 35% da anidride carbonica si desume, per calcolo, l'emissione media di anidride carbonica annua:

- Emissione di anidride carbonica reale: **752,80 t/anno**
- Emissione di anidride carbonica (dato ponderato): **268,01 t/anno**

Dato di riferimento

- Emissione di anidride carbonica: **100.000 t/anno**

Tale verifica conferma quindi **l'ampio margine rispetto al limite di riferimento della Norma IPPC.**

Anche volendo imporre un rapporto tipico tra i due gas come modificato dai fenomeni di emissione corticale e pari al fattore ( $\text{CH}_4 / \text{CO}_2$ ) 0,5 si osserva un incremento di circa 3 volte del flusso di anidride carbonica emessa, ne consegue un flusso emissivo aggiornato a:

- Emissione di anidride carbonica reale: **2.258 t/anno**
- Emissione di anidride carbonica (dato ponderato): **804 t/anno**

Dato di riferimento

- Emissione di anidride carbonica: **100.000 t/anno**

Come evidente il flusso di  $\text{CO}_2$ , anche se incrementato, rimane circa il 2,5% della soglia IPPC ad indicazione dello scarso interesse ambientale circa questo tipo di emissione e pertanto confermando la non necessità di rilievi analitici di questo tipo di gas.

### 8.3 Emissioni GHG

Per fornire un ulteriore riferimento di impatto ambientale si è ritenuto utile rappresentare la situazione delle emissioni complessive di gas serra GHG (GreenHouse Gas). I due gas principali componenti il biogas ( $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ) sono infatti compresi tra i sei gas GHG.

Come premesso il metano risulta manifestare un maggiore impatto sull'effetto di riscaldamento globale, per tale motivo il suo GWP (Global Warming Potential) risulta essere 28 volte superiore a quello dell'anidride carbonica utilizzata come "unità di misura".

Ne consegue che l'impatto GHG risulta essere equivalente alle emissioni in peso di anidride carbonica più le emissioni di metano moltiplicate per un fattore GWP di 28.

Riprendendo i dati reali elaborati precedentemente espressi si valutano pertanto:

$$\begin{aligned}\text{impatto annuo GHG} &= \text{t CO}_2 \text{ eq} = (\text{t CO}_2 + (\text{t CH}_4 * 28)) \\ &= 753 + (390 * 28) = \mathbf{11.673 \text{ t CO}_2 \text{ eq}}\end{aligned}$$

Nel caso delle valutazioni ponderate si valutano invece:

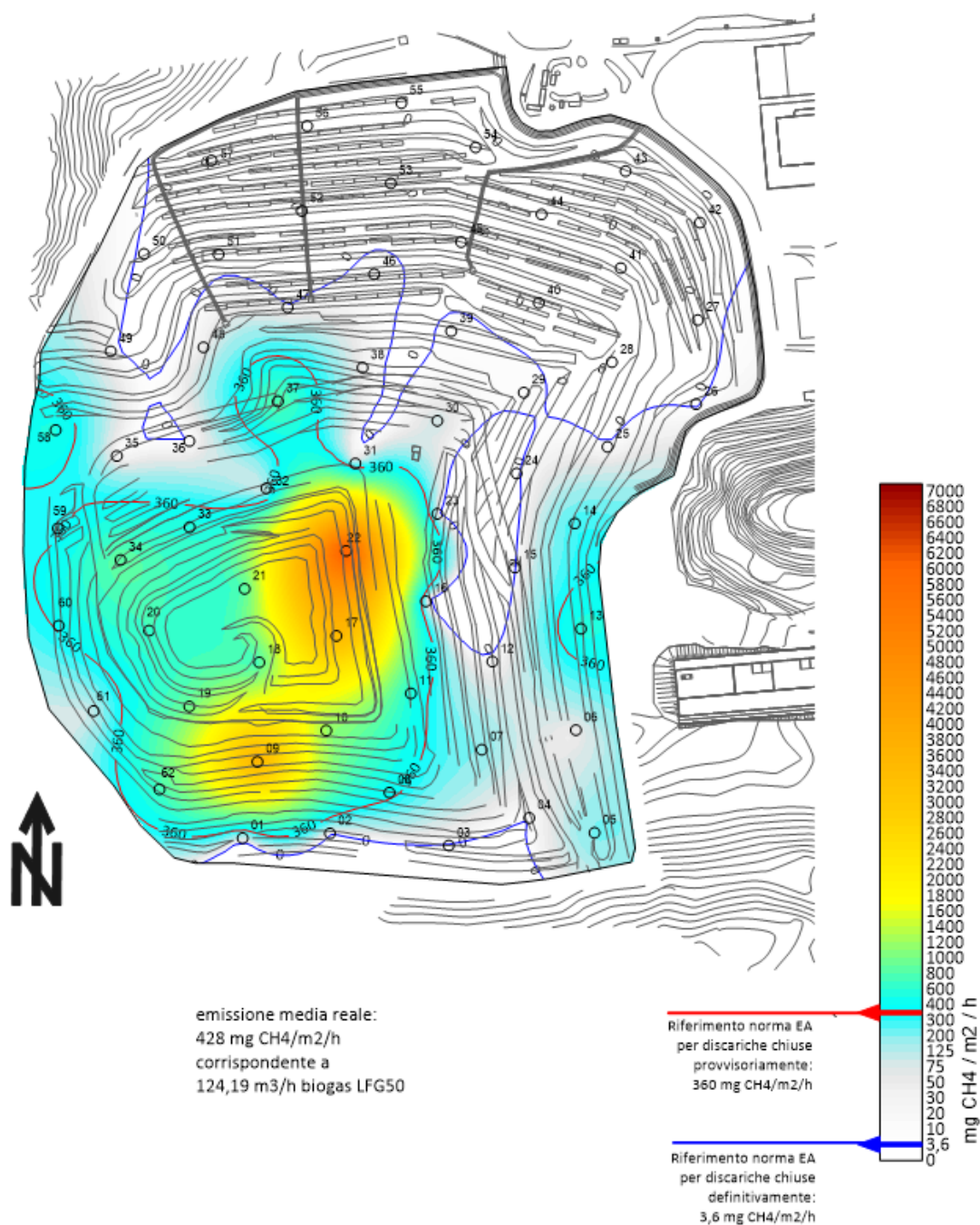
$$= 268 + (139 * 28) = \mathbf{4.160 \text{ t CO}_2 \text{ eq}}$$

#### 8.4 Conclusioni

I risultati delle indagini hanno evidenziato una consistente differenza tra le emissioni delle zone già dotate di una copertura definitiva (ZED-A) rispetto alle zone dotate di copertura provvisoria (ZED-B):

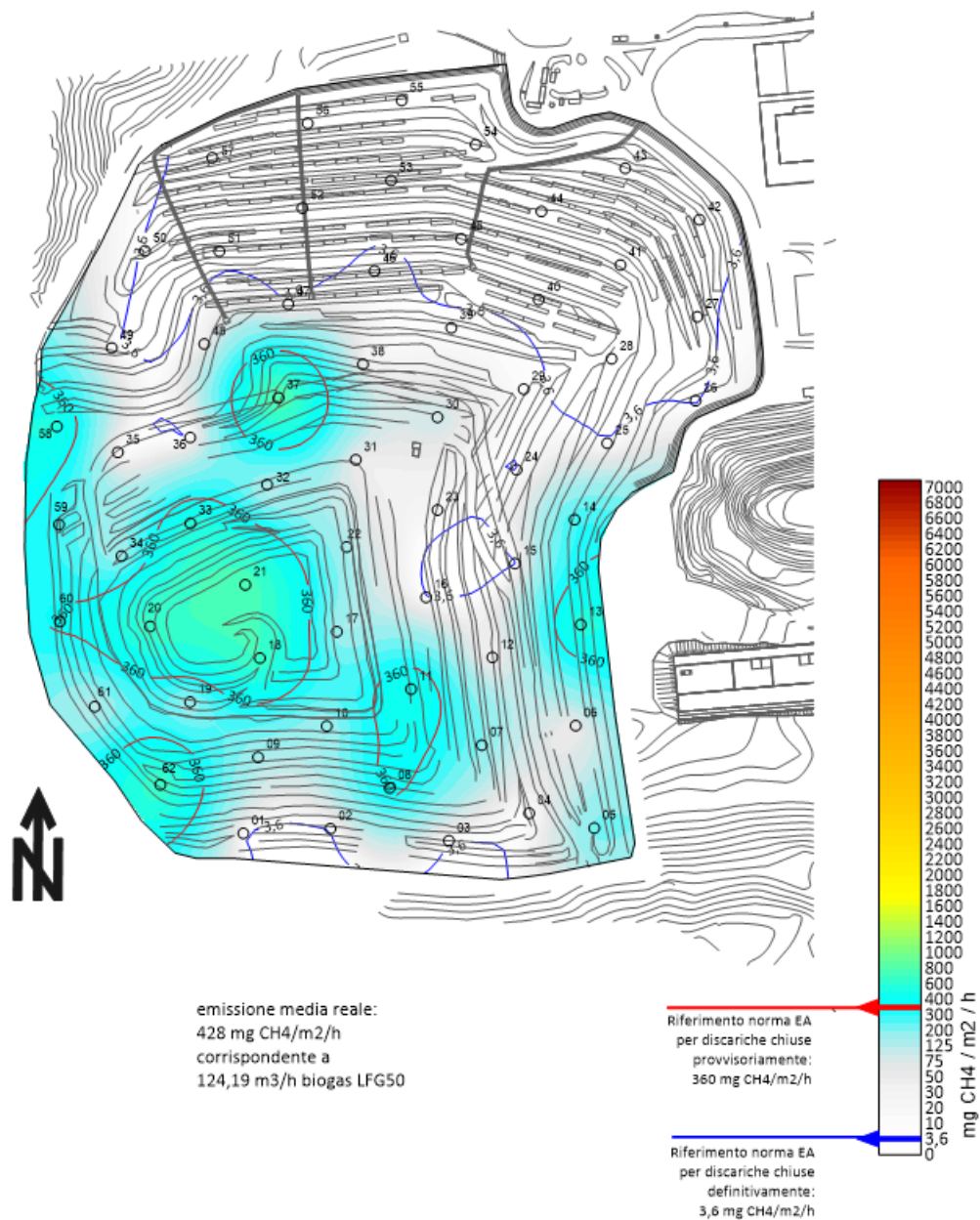
Dalla zona ZED-A (copertura definitiva) sono infatti rilevabili emissioni pari al 15% delle emissioni totali anche se tali zone rappresentano il 68 % delle aree osservate. Le emissioni delle zone con copertura provvisoria (ZED-B) evidenziano invece l'85% delle emissioni anche se rappresentano il 32% delle aree osservate.

Le maggiori emissioni sono state osservate nella parte sommitale della discarica come ben evidenziato nella seguente figura che rappresenta la situazione isopotenziale osservata.



**Emissioni reali (estratto allegato S-VD-R)**

Con l'eliminazione dei 7 punti anomali, che rappresentano circa il 68% delle intere emissioni, la distribuzione delle emissioni risulta molto più omogenea, come evidenziato nella figura seguente.



**Emissioni ponderate (estratto allegato S-VD-P)**

## **9 CALCOLO DI PRODUTTIVITÀ BIOGAS**

L'incarico conferito prevedeva lo sviluppo del calcolo della produttività sviluppato con il modello previsionale BIO-7.

Si precisa che la stessa prospezione era stata elaborata nel corso dell'indagine del 2022 nel corso della quale erano stati inseriti dati "preventivi" di conferimento dei rifiuti successivi in quanto le operazioni di smaltimento erano ancora in corso.

Nella presente relazione sarà possibile aggiornare tale dato di conferimento con il valore consuntivi degli anni 2022, 2023, 2024 ed i previsionali dell'anno 2025 basati sui dati del primo quadrimestre.

Nel seguito verranno riportate alcune informazioni generiche sul fenomeno di produzione del biogas.

### **9.1 Caratterizzazione del fenomeno produttivo del biogas**

I processi di decomposizione biochimica che avvengono all'interno di un ammasso di rifiuti caratterizzato, anche parzialmente, da materie organiche sono chiaramente sintomo delle condizioni degradative raggiunte all'interno dell'ammasso stesso.

Il principio basilare di ogni possibile relazione razionale per la determinazione delle potenzialità per la produzione di biogas da parte di una discarica è fondato sul contenuto originale di materia organica.

In breve, si può affermare che le trasformazioni biochimiche complesse che possono avvenire in una discarica sono schematizzabili in processi distinti, operati da diversi ceppi batterici.

Di seguito si elencano, molto sinteticamente, i processi fermentativi tipici di una discarica per rifiuti solidi urbani.

### **9.1.1 Fase di degradazione aerobica**

La degradazione aerobica avviene non appena il rifiuto è depositato nello scarico controllato e si caratterizza per il fatto che i microrganismi utilizzano l'ossigeno libero prelevato dall'aria inglobata nella discarica durante la deposizione del rifiuto o entrante nella discarica dopo la chiusura di quest'ultima (ad es. per l'aspirazione eccessiva del sistema di captazione biogas).

Nel processo viene altresì trasformato l'ossigeno disciolto nella pioggia che riesce a penetrare attraverso la copertura della discarica: la degradazione aerobica prosegue fino a quando l'ossigeno è disponibile ed è quindi normalmente di breve durata.

Durante le prime fasi il fenomeno è eventualmente favorito dalla presenza nel rifiuto di sostanze facilmente e rapidamente biodegradabili. Contemporaneamente al processo aerobico si verifica la produzione di energia termica (temperature comprese tra i 50 ed i 70° C), di anidride carbonica e di sostanze organiche parzialmente degradate.

Il percolato prodotto durante questa fase decompositiva è leggermente acido (pH compreso tra 6 e 7) e normalmente mantiene un elevato contenuto di COD, anche per la presenza delle sostanze organiche parzialmente degradate. E' comunque da osservare che, di norma, in questa fase decompositiva, viene prodotto un limitato quantitativo di percolato, sia perché il rifiuto non ha saturato la propria capacità di campo sia perché il fenomeno biochimico stesso tende a far assorbire i liquidi presenti. Al limitato quantitativo prodotto, che ovviamente dipende dalla piovosità e dalle caratteristiche costruttive della discarica (tipo di copertura, modalità gestionali), contribuisce comunque l'umidità già presente nei rifiuti all'atto della deposizione.

### **9.1.2 Fase di degradazione facoltativa anaerobica.**

La decomposizione facoltativa anaerobica avviene quando la disponibilità di ossigeno diminuisce e gli organismi aerobici facoltativi iniziano ad utilizzare accettori di elettroni diversi dall'ossigeno, ormai assente, con sviluppo di batteri anaerobici ed emissione di semplici composti, solubili, quali acidi volatili ed ammoniaci. Si evidenzia un elevato carico organico, sintomo della decomposizione di materia putrescibile, con alti valori di BOD e pH compreso nell'intervallo 5÷6 (alto rapporto BOD/COD). Le emissioni gassose sono fondamentalmente riconducibili ad anidride carbonica, con basse quantità di metano ed idrogeno.

La durata di questa fase può variare da mesi ad anni, con transizione alla fase successiva probabile ma non certa.

### **9.1.3 Fase Metanigena**

Quando si attiva la fermentazione metanigena i batteri diventano gradualmente più stabili e capaci di rimuovere i composti organici solubili che sono largamente responsabili della fase 2. Questi batteri, in assenza di ossigeno, convertono gli elementi presenti in metano ed anidride carbonica emessa come gas di scarica. Si è così in presenza di pH basico, con produzione limitata di materia inorganica (sali che precipitano), valori ridotti di COD e basso rapporto BOD/COD. Questa fase rappresenta l'equilibrio tra batteri acetici e metanigeni, con decomposizione continua dei rifiuti.

La produzione di gas può durare diversi anni, con buone quantità e qualità delle emissioni, fino a quando la diminuita pressione interna consente l'ingresso di quantità consistenti di ossigeno dall'atmosfera esterna.

Quanto descritto riassume in termini schematici processi assai complessi, funzioni di diversi e numerosi fattori fisici, ambientali e gestionali, solo in parte descritti, quali:

- composizione dei rifiuti;
- pezzatura dei rifiuti;
- deposizione dei rifiuti;
- grado di saturazione dei rifiuti (umidità);
- temperatura dei rifiuti;
- valori del carico organico ed inorganico (BOD e COD);
- condizioni meteorologiche;
- tipo di raccolta delle emissioni liquide e gassose.

## **9.2 Caratteristiche qualitative del biogas**

Nel paragrafo precedente sono stati brevemente illustrati i fenomeni chimici, fisici e biologici che presiedono alla formazione della miscela di aeriformi comunemente denominata “biogas”. Nel seguito verranno analizzate le caratteristiche dei vari componenti del biogas.

È possibile definire che il gas biologico è composto da due gas prevalenti: il metano ( $\text{CH}_4$ ) e l'anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ).

Combinati con tali gas sono spesso presenti anche l'ossigeno ( $\text{O}_2$ ) e l'azoto ( $\text{N}_2$ ) in quanto presenti sottoforma di aria negli interstizi liberi dei rifiuti al momento della deposizione oppure richiamati dall'atmosfera da azioni dinamiche di aspirazione. Più raramente è presente l'idrogeno ( $\text{H}_2$ ), prodotto in limitate quantità e per brevi periodi, attraverso processi acetogenici.

Nella tabella seguente si ipotizza una composizione media di un biogas captato da un sistema di aspirazione “dinamico” come quello in servizio presso la discarica in oggetto.

Come accennato in precedenza l'azione dinamica implica una limitata presenza di aria miscelata con il biogas.

#### Composizione tipica di un biogas "aspirato"

|                            | Densità<br>(riferita<br>all'aria) | Potere<br>calorifico<br>Inferiore | Incidenza<br>nel biogas<br>(ipotesi) | Densità<br>relativa        | PCI<br>relativo            |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <i>u.m.</i>                |                                   | <i>Kcal/m<sup>3</sup></i>         | <i>%</i>                             |                            | <i>Kcal/m<sup>3</sup></i>  |
| Metano                     | 0,56                              | 8.250                             | 50                                   | 0,280                      | 4.125                      |
| Anidride carb.             | 1,53                              | 0                                 | 35                                   | 0,535                      | 0                          |
| Azoto                      | 0,97                              | 0                                 | 11                                   | 0,106                      | 0                          |
| Ossigeno                   | 1,11                              | 0                                 | 3                                    | 0,033                      | 0                          |
| Altri gas                  | -                                 | 0                                 | 1                                    | 0.001                      | 0                          |
| <b>BIOGAS<br/>ASPIRATO</b> |                                   |                                   | <b>100</b>                           | <b>0,955</b><br>(aria = 1) | <b>4.125</b><br>(4,79 kWh) |

Nell'ipotesi di una valutazione di un biogas esalato spontaneamente dai rifiuti (con pressione positiva verso l'atmosfera) la composizione si modifica in quanto vengono escluse le presenze di ossigeno e limitate al minimo le porzioni di azoto. Si ipotizza di seguito una valutazione qualitativa di un biogas esalato:

### Composizione tipica di un biogas “esalato”

|                            | Densità<br>(riferita<br>all'aria) | Potere<br>calorifico<br>Inferiore | Incidenza<br>nel biogas<br>(ipotesi) | Densità<br>relativa        | PCI<br>relativo               |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| <i>u.m.</i>                |                                   | <i>Kcal/m<sup>3</sup></i>         | <i>%</i>                             |                            | <i>Kcal/m<sup>3</sup></i>     |
| Metano                     | 0,56                              | 8.250                             | 60                                   | 0,336                      | 4.950                         |
| Anidride<br>carbonica      | 1,53                              | 0                                 | 38                                   | 0,581                      | 0                             |
| Azoto                      | 0,97                              | 0                                 | 1                                    | 0,010                      | 0                             |
| Altri gas                  | -                                 | 0                                 | 1                                    | 0.001                      | 0                             |
| <b> BIOGAS<br/>ESALATO</b> |                                   |                                   | <b>100</b>                           | <b>0,928</b><br>(aria = 1) | <b>4.950</b><br>(5,76<br>kWh) |

Come è evidente le caratteristiche fisiche ed energetiche del biogas mutano continuamente, sia in funzione dei fenomeni di fermentazione che in funzione delle azioni di captazione imposte.

Essendo la presente relazione riferita ad un impianto di captazione dinamica dei biogas prodotti si assumerà come riferimento per le valutazioni successive, il contenuto della tabella precedente relativa al “gas aspirato”.

Occorre in ogni caso considerare che le osservazioni svolte sulla rete di captazione della discarica di Olbia hanno evidenziato concentrazioni di metano ed ossigeno molto più vicine ad un gas “esalato” ad indicazione di due possibili fattori:

- elevata qualità della copertura (ermeticità del capping);
- limitata azione dinamica di aspirazione.

Come premesso nel biogas originato da rifiuti organici sono presenti anche altri gas oltre a quelli, definiti macro-componenti, citati precedentemente.

Questi ulteriori gas, in parte xenobiotici, sono ad esempio idrocarburi alogenati o composti aromatici. Tali gas non derivano dalla decomposizione biologica dei rifiuti, ma sono il risultato della loro contaminazione. La presenza di tali sostanze, valutabile in tracce, è di difficile rilevazione e valutazione vista la difficoltà di stima delle quantità di rifiuti originanti immesse in discarica.

### **9.3 Valutazioni sulla produzione quantitativa del biogas**

Il presente capitolo tratta gli aspetti connessi alle valutazioni quantitative della produzione di biogas prevedibili dalla discarica in oggetto.

La prima fase riguarda la caratterizzazione merceologica dei rifiuti smaltiti, propedeutica all'elaborazione del modello previsionale di produzione del biogas per una tonnellata di rifiuto. Sulla base della cronologia e dell'entità degli afflussi, a partire dalla produzione unitaria, sarà determinata la produzione di biogas nel tempo per l'intero impianto.

#### **9.3.1 Modellistica disponibile**

La valutazione della produzione di biogas in uno scarico controllato, come già accennato, richiede la conoscenza di diversi parametri, relativi alle caratteristiche chimico-fisiche dei rifiuti, alle modalità di deposito e copertura degli stessi, alle condizioni climatiche ed idrologiche locali.

L'approccio modellistico consente, mediante un'opportuna taratura degli algoritmi, di simulare i processi di biodegradazione della sostanza organica in ambiente anaerobico.

Il livello di approssimazione delle risposte fornite dai modelli matematici dipende dalla complessità degli stessi, nonché dalla possibilità di ottenerne una buona

validazione sperimentale. I modelli più complessi, ad esempio quelli ecologici, pur consentendo di descrivere il dettaglio le reazioni di biodegradazione e di poter quindi prevedere eventuali fenomeni di instabilità o di inibizione del sistema, presentano il limite della difficoltà di taratura: essa, infatti, richiede un numero elevato di dati, di difficile e problematico reperimento.

Il modello “ideale” dovrebbe fornire la stima relativa alla variazione della produzione di biogas al mutare della composizione dei rifiuti, e quindi del contenuto di carbonio organico, nonché determinare l’influenza, sulla stessa produzione, di fattori fisici quali l’umidità, la temperatura, la densità e la pezzatura dei R.S.U. depositati.

Nella letteratura tecnica sono disponibili diversi modelli, anche assai semplici, che si pongono l’obiettivo di soddisfare le seguenti esigenze:

- stimare, per rifiuti di caratteristiche conosciute, la quantità di biogas massima teorica (in un tempo infinito) che può essere estratta dallo scarico controllato,
- valutare la cinetica del processo di produzione del biogas, e quindi prevederne l’evoluzione temporale della produzione.

I modelli che rispondono alle suddette esigenze possono essere classificati secondo le seguenti principali tipologie:

- modelli empirici;
- modelli stechiometrici;
- modelli biochimici;
- modelli ecologici.

### **9.3.2 Modello di calcolo BIO**

Il modello di calcolo utilizzato per le successive valutazioni della produttività di biogas sulla discarica in oggetto è denominato BIO-7, ed è basato su un metodo misto teorico-pratico.

Detto modello è stato testato nel corso di circa 40 anni di sperimentazioni, elaborazioni e verifiche eseguite su centinaia di discariche, in Italia ed all'Estero. Il modello, nel corso del tempo, ha subito continue evoluzioni ed aggiornamenti al fine di recepire le variazioni verificate in corso d'opera, ad oggi è utilizzata la versione BIO-7 .

BIO-7 utilizza un algoritmo derivato da un modello biochimico, che, ottimizzando sperimentalmente i parametri applicati al modello base, consente di costruire una curva "standard" di produzione unitaria.

I summenzionati parametri "corretti", introdotti nell'elaborazione biochimica, dipendono principalmente dalla caratterizzazione dell'ambiente di decomposizione.

La prima fase della valutazione è orientata alla definizione della produttività specifica media di una singola tonnellata di rifiuto smaltito.

Per ottenere tale dato si valuta merceologicamente la composizione del rifiuto smaltito suddividendolo in due frazioni differenziabili per la cinetica di fermentazione:

- **Frazione velocemente biodegradabile (definita RVP);**
- **Frazione lentamente biodegradabile (definita RLP).**

Ottenuta la valutazione di produttività specifica delle due frazioni RVP e RLP si procede all'applicazione di un coefficiente ( $K_p$ ) che definisce le condizioni tipiche di fermentazione dell'impianto (discarica) osservato.

Di particolare importanza ed influenza è l'umidità interna alla discarica ( $K_{ud}$ ).

Definite le produttività totali di gas per singola frazione di rifiuto si passa alla determinazione della cinetica di decomposizione.

Il modello di calcolo definisce il tempo di semi-trasformazione ( $T_s$ ) della sostanza organica inteso come il tempo necessario al dimezzamento della porzione biogassificabile iniziale. Anche in questo caso il  $T_s$  viene valutato separatamente per le due frazioni RVP e RLP.

Essendo noto il tempo di semi-trasformazione vengono di conseguenza calcolate le massime produzioni annuali ed i coefficienti di regressione ( $K_r$ ) ed infine le produzioni specifiche anno per anno.

Nel modello di calcolo viene considerata la produzione di biogas fino all'anno 2050. L'ultima fase dell'elaborazione consiste nella sovrapposizione degli effetti legati alle quantità di rifiuti smaltiti con la cronologia di deposizione in discarica e conseguentemente con la valutazione della produzione teorica annua.

### **9.3.3 Valutazioni probabilistiche**

Come dichiarato in precedenza, lo studio delle previsioni di produzione è normalmente basato sull'attribuzione di un considerevole numero di variabili, imposte spesso arbitrariamente, che condizionano l'elaborazione finale; di conseguenza l'attendibilità delle previsioni fornite dal modello BIO-7 è funzione dell'affidabilità dei suddetti valori, peraltro non sempre facilmente disponibili e pertanto spesso frutto di valutazioni soggettive basate sull'esperienza del progettista.

Per tali motivazioni è parso opportuno condurre un'analisi basata sull'assunzione di uno spettro di differenti "scenari", in chiave probabilistica.

Detti scenari sono compresi fra due "casi limite":

- **Best Case (BC):**  
**prospezione condizionata dall'applicazione di valori "ottimistici" (nel senso della massima produzione di biogas) a tutte le variabili non certe;**
- **Worst Case (WC):**  
**prospezione condizionata dall'applicazione di valori "pessimistici" (nel senso della minima produzione di biogas) a tutte le variabili non certe.**

#### **9.4 Caratterizzazione e conferimento dei rifiuti smaltiti**

L'elevata entropia dei rifiuti smaltiti in una discarica rende l'insieme indifferenziato non più difficilmente riconducibile alle singole categorie componenti.

Al fine di caratterizzare i rifiuti considerati nel modello previsionale BIO-7, sono state valutate le sole componenti organiche dei rifiuti, suddivise in due categorie principali:

- rifiuti organici velocemente putrescibili (RVP);
- rifiuti organici lentamente putrescibili (RLP);
- una terza categoria, comprendente i rifiuti non putrescibili (RNP), viene così definita come complemento al 100%.

La caratterizzazione qualitativa dei rifiuti, ovvero l'identificazione dell'incidenza delle diverse frazioni merceologiche presenti nel rifiuto, è stata desunta dai dati gentilmente messi a disposizione dal Committente CIPNES e basata sulla osservazione della tipologia dei rifiuti conferiti a discarica nel periodo storico 2013 – 2025 (1° quadrimestre).

Si precisa che il dato 2025 è da intendersi come "preventivo" e basato sulla estrapolazione dei dati consuntivi del primo quadrimestre.

Si osserva inoltre che i dati del 2025 possono essere intesi come "esaurenti" le volumetrie disponibili della Vecchia Discarica.

|                  | R.S.U.<br>R.S.A.                                                                                                                                                                                                     | Rifiuti<br>provenienti<br>prevalente<br>mente da<br>TMB | Fanghi  | Altri R.S. | Totale<br>parziale | Totale<br>progressivo |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------|------------|--------------------|-----------------------|
| 2013             | 2728,12                                                                                                                                                                                                              | 56442,27                                                | 6,36    | 3449,61    | 62626,36           | 62626,36              |
| 2014             | 2681,31                                                                                                                                                                                                              | 47985,40                                                | 0,00    | 10977,15   | 61643,86           | 124270,22             |
| 2015             | 1810,51                                                                                                                                                                                                              | 40986,04                                                | 0,00    | 2979,56    | 45776,11           | 170046,33             |
| 2016             | 7456,38                                                                                                                                                                                                              | 25739,23                                                | 698,11  | 31705,09   | 65598,81           | 235645,14             |
| 2017             | 1739,30                                                                                                                                                                                                              | 29778,44                                                | 1171,81 | 9381,62    | 42071,17           | 277716,31             |
| 2018             | 1108,59                                                                                                                                                                                                              | 37178,39                                                | 717,13  | 8152,76    | 47156,87           | 324873,18             |
| 2019             | 2385,44                                                                                                                                                                                                              | 30308,66                                                | 426,20  | 14592,93   | 47713,23           | 372586,41             |
| 2020             | 1934,46                                                                                                                                                                                                              | 11254,07                                                | 373,55  | 2778,40    | 16340,48           | 388926,89             |
| 2021             | 981,16                                                                                                                                                                                                               | 9931,30                                                 | 221,32  | 4836,81    | 15970,59           | 404897,48             |
| 2022             | 323,99                                                                                                                                                                                                               | 21172,41                                                | 236,88  | 6327,93    | 28061,21           | 432958,69             |
| 2023             | 0                                                                                                                                                                                                                    | 213,43                                                  | 0,00    | 0          | 213,43             | 433172,12             |
| 2024             | 168,73                                                                                                                                                                                                               | 12844,19                                                | 914,92  | 2319,14    | 16246,98           | 449419,10             |
| 2025             | 111,25                                                                                                                                                                                                               | 7635,15                                                 | 768,64  | 1509,33    | 10024,37           | 459443,47             |
| <b>Nota (*)</b>  | Rifiuti prodotti dall'impianto T.M.B. consortile, per i quali sono disponibili le analisi merceologiche trimestrali (detto impianto è interessato anche dall'ingresso di rifiuti non urbani, ma in via minoritaria). |                                                         |         |            |                    |                       |
| <b>Nota (**)</b> | Dati aggiornati al 30.04.2025                                                                                                                                                                                        |                                                         |         |            |                    |                       |
| <b>N.B.</b>      | Non si procede alla stima dei conferimenti previsti fino alla chiusura della discarica. Ciò in quanto l'esaurimento della discarica oggetto di rilievo è ormai imminente                                             |                                                         |         |            |                    |                       |

Come evidente la tabella riporta 4 tipologie di rifiuti:

- Rifiuti solidi urbani (RSU) e rifiuti solidi assimilabili (RSA);
- Rifiuti provenienti prevalentemente da trattamento meccanico/biologico (TMB) degli urbani (EER 19.12.12 e 19.05.03). Questi rifiuti sono prodotti dall'impianto T.M.B. consortile, per i quali sono disponibili le analisi merceologiche trimestrali;
- Fanghi;
- Altri rifiuti non urbani.

Le incidenze delle 4 tipologie dei rifiuti sono le seguenti:

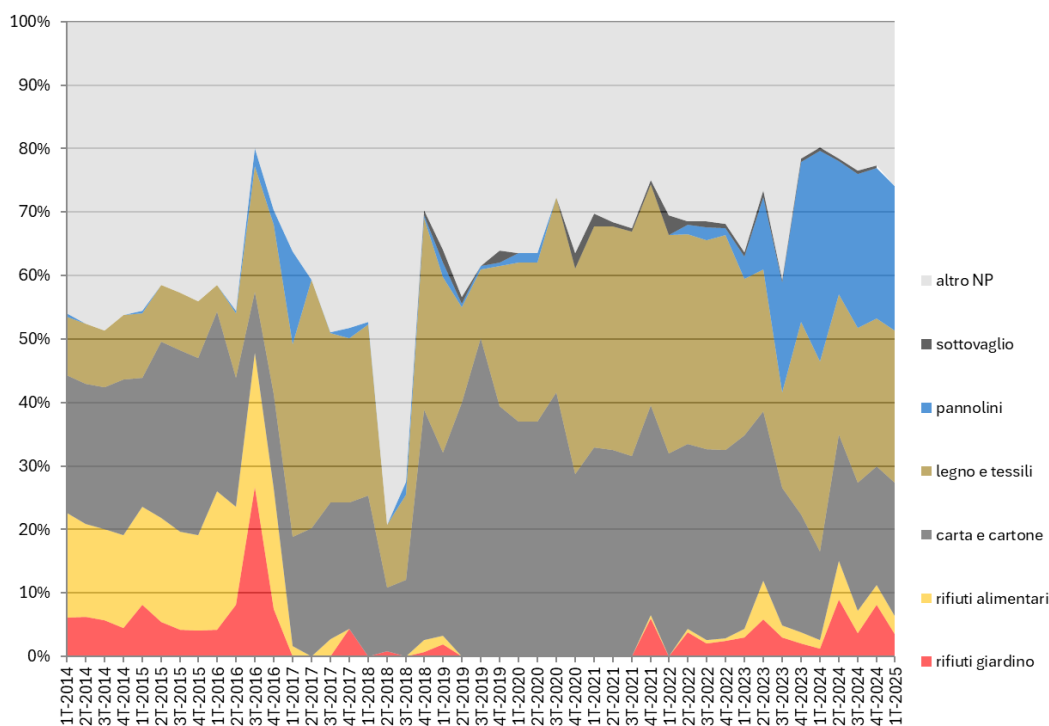
- Rifiuti solidi urbani (RSU) e rifiuti solidi assimilabili (RSA): 5,12%
- Rifiuti TMB: 72,17%
- Fanghi: 1,14%
- Altri rifiuti: 21,57%

Per i rifiuti TMB sono disponibili 45 indagini merceologiche raccolte a cadenza trimestrale dal 2014 al primo trimestre 2025

.

Ogni singola indagine è stata valutata e confrontata al fine di definire una tipologia standard dei rifiuti conferiti. Nel grafico ad aree di seguito riportato viene evidenziata la variazione della composizione merceologica dei rifiuti in riferimento alle categorie di rifiuti putrescibili ed a quelle “non putrescibili” (NP).

Si precisa che nel grafico non compaiono i fanghi in quanto non osservati nelle analisi merceologiche.



### ***Variazione merceologica recente smaltimento rifiuti in discarica***

Come evidente le variazioni sono importanti e sono distinguibili in due fasi cronologiche: una prima fase è compresa tra il 2014 ed il 2016 con una discreta presenza di rifiuti alimentari.

Dal 2017 i rifiuti alimentari si riducono drasticamente a favore di carta, cartone legno e tessuti.

Dal 2023 sono aumentate percentualmente le incidenze dei rifiuti cellulosici assimilabili ai pannolini igienici.

Osservando la media complessiva del periodo si evidenziano dei dati molto differenti delle medie differite dei due sub-periodi 2014-2016 e 2017-2022.

Nella seguente tabella tale osservazione è esplicita.

Si ritiene pertanto sbagliato svolgere la prospezione produttiva utilizzando una media "storica", in tale modo non si apprezzerebbero i miglioramenti delle prestazioni di trattamento ottenuti dal CIPNES.

|                    | MEDIA<br>TOTALE | MEDIA<br>2014-2016 | MEDIA<br>2017-2025 |
|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| rifiuti alimentari | 5,27            | 16,66              | 1,13               |
| rifiuti giardino   | 3,39            | 7,57               | 1,87               |
| carta e cartone    | 26,12           | 22,36              | 27,49              |
| legno e tessuti    | 22,62           | 11,32              | 26,73              |
| pannolini          | 4,87            | 0,54               | 6,45               |
| sottovaglio        | 0,50            | 0,00               | 0,68               |
| altro NP           | 37,23           | 41,55              | 35,65              |

Si è quindi ritenuto adeguato assumere due distinte finestre temporali definite:

- Discarica C: conferimenti 2013-2016;
- Discarica D: conferimenti 2017-2025.

Nella valutazione è stato inserito anche l'anno 2013 anche se non sono disponibili dati merceologici analitici.

Per gli anni precedenti (periodo 1991 – 2002: discarica A) sono stati assunti i valori reperiti da una precedente elaborazione svolta per conto della Società Daneco nel 2002.

Per gli anni successivi (2003 - 2012: discarica B) sono stati considerati i parametri utilizzati nella precedente indagine svolta dalla scrivente società nel 2013 e basati sui dati analitici forniti allora dal CIPNES.

Anche la cronologia dei conferimenti dei rifiuti è stata in parte fornita dal Committente (per le cronologie più recenti) ed in parte recuperata dallo studio Daneco del 2002.

Si riporta di seguito la tabella complessiva dei conferimenti considerati nella presente valutazione.

**Conferimenti Discarica A dei rifiuti per categoria merceologica (t RS)**

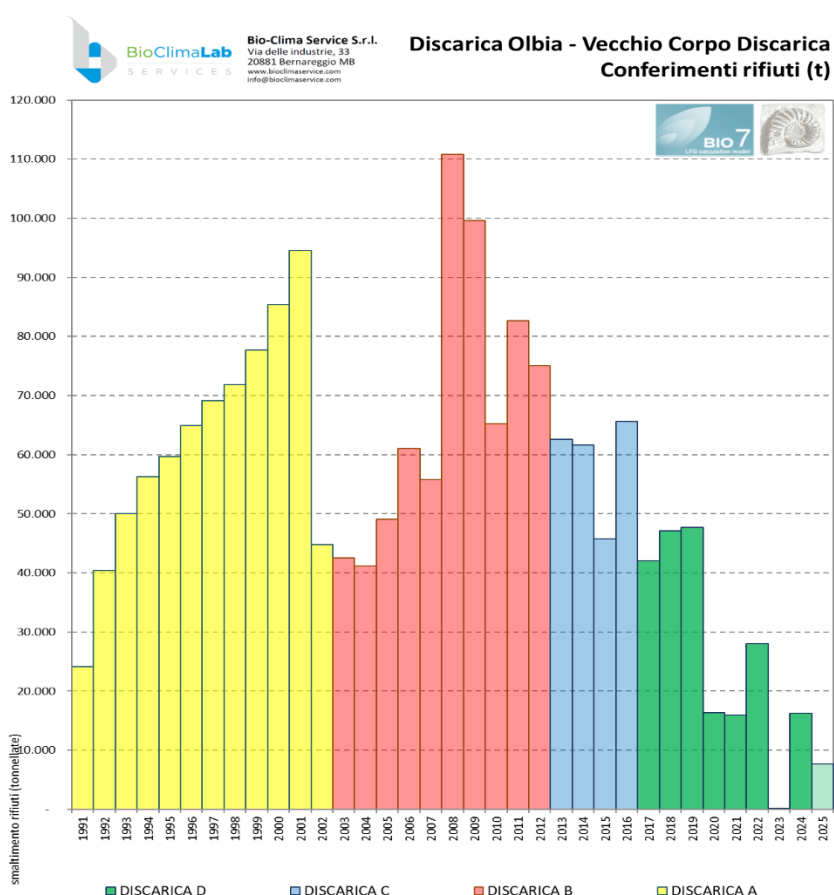
|      | RSU       | RSAU-TMB  | Fanghi   | altre tipologie | Totale annuo |
|------|-----------|-----------|----------|-----------------|--------------|
| 1991 | 22.856,54 | 795,18    | 441,68   | 0               | 24.093,40    |
| 1992 | 38.406,24 | 1.242,04  | 718,00   | 0               | 40.366,28    |
| 1993 | 47.172,72 | 1.884,52  | 934,92   | 0               | 49.992,16    |
| 1994 | 53.474,64 | 2.098,00  | 730,66   | 0               | 56.303,30    |
| 1995 | 56.099,12 | 2.487,12  | 1.053,31 | 0               | 59.639,55    |
| 1996 | 60.335,84 | 2.461,86  | 2.096,42 | 0               | 64.894,12    |
| 1997 | 63.390,82 | 3.310,22  | 2.403,48 | 0               | 69.104,52    |
| 1998 | 66.821,55 | 3.775,47  | 1.248,58 | 0               | 71.845,60    |
| 1999 | 69.485,76 | 4.409,66  | 3.836,32 | 0               | 77.731,74    |
| 2000 | 78.347,95 | 4.650,18  | 2.423,88 | 0               | 85.422,01    |
| 2001 | 85.978,48 | 5.176,94  | 3.426,26 | 0               | 94.581,68    |
| 2002 | 40.965,00 | 951,00    | 2.862,00 | 0               | 44.778,00    |
| 2003 | 35.000,00 | 6.000,00  | 1.500,00 | 0               | 42.500,00    |
| 2004 | 30.000,00 | 10.000,00 | 1.200,00 | 0               | 41.200,00    |
| 2005 | 30.000,00 | 18.000,00 | 1.100,00 | 0               | 49.100,00    |
| 2006 | 30.000,00 | 30.000,00 | 1.000,00 | 0               | 61.000,00    |
| 2007 | 20.000,00 | 35.000,00 | 800,00   | 0               | 55.800,00    |
| 2008 | 11.381,00 | 99.419,00 | 20,00    | 0               | 110.820,00   |
| 2009 | 12.987,00 | 86.454,00 | 207,00   | 0               | 99.648,00    |
| 2010 | 1.905,00  | 63.346,00 | 11,00    | 0               | 65.262,00    |
| 2011 | 0         | 82.666,00 | 0        | 0               | 82.666,00    |
| 2012 | 0         | 73.951,00 | 0        | 0               | 75.054,91    |
| 2013 | 2.728,12  | 56.442,27 | 6,36     | 3.449,61        | 62.626,36    |
| 2014 | 2.681,31  | 47.985,40 | 0        | 10.977,15       | 61.643,86    |
| 2015 | 1.810,51  | 40.986,04 | 0        | 2.979,56        | 45.776,11    |
| 2016 | 7.456,38  | 25.739,23 | 698,11   | 31.705,09       | 65.598,81    |
| 2017 | 1.739,30  | 29.778,44 | 1.171,81 | 9.381,62        | 42.071,17    |
| 2018 | 1.108,59  | 37.178,39 | 717,13   | 8.152,76        | 47.156,87    |
| 2019 | 2.385,44  | 30.308,66 | 426,20   | 14.592,93       | 47.713,23    |
| 2020 | 1.934,46  | 11.254,07 | 373,55   | 2.778,40        | 16.340,48    |
| 2021 | 981,16    | 9.931,30  | 221,32   | 4.836,81        | 15.970,59    |
| 2022 | 323,99    | 21.172,41 | 236,88   | 6.327,93        | 28.061,21    |
| 2023 | -         | 213,43    | -        | -               | 213,43       |
| 2024 | 168,73    | 12.844,19 | 914,92   | 2.319,14        | 16.246,98    |
| 2025 | 80,00     | 6.000,00  | 450,00   | 1.100,00        | 7.630,00     |

***Conferimenti cronologici dei rifiuti per settore di riferimento***

| <b>T</b> | <b>SCARICO<br/>RIFIUTI</b> | <b>DISCARICA<br/>A</b> | <b>DISCARICA<br/>B</b> | <b>DISCARICA<br/>C</b> | <b>DISCARICA<br/>D</b> |
|----------|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| anni     | anni                       | t / anno               | t / anno               | t / anno               | t / anno               |
| 1        | 1991                       | 24.093                 | 0                      | 0                      | 0                      |
| 2        | 1992                       | 40.366                 | 0                      | 0                      | 0                      |
| 3        | 1993                       | 49.992                 | 0                      | 0                      | 0                      |
| 4        | 1994                       | 56.303                 | 0                      | 0                      | 0                      |
| 5        | 1995                       | 59.640                 | 0                      | 0                      | 0                      |
| 6        | 1996                       | 64.894                 | 0                      | 0                      | 0                      |
| 7        | 1997                       | 69.105                 | 0                      | 0                      | 0                      |
| 8        | 1998                       | 71.846                 | 0                      | 0                      | 0                      |
| 9        | 1999                       | 77.732                 | 0                      | 0                      | 0                      |
| 10       | 2000                       | 85.422                 | 0                      | 0                      | 0                      |
| 11       | 2001                       | 94.582                 | 0                      | 0                      | 0                      |
| 12       | 2002                       | 44.778                 | 0                      | 0                      | 0                      |
| 13       | 2003                       | 0                      | 42.500                 | 0                      | 0                      |
| 14       | 2004                       | 0                      | 41.200                 | 0                      | 0                      |
| 15       | 2005                       | 0                      | 49.100                 | 0                      | 0                      |
| 16       | 2006                       | 0                      | 61.000                 | 0                      | 0                      |
| 17       | 2007                       | 0                      | 55.800                 | 0                      | 0                      |
| 18       | 2008                       | 0                      | 110.820                | 0                      | 0                      |
| 19       | 2009                       | 0                      | 99.648                 | 0                      | 0                      |
| 20       | 2010                       | 0                      | 65.262                 | 0                      | 0                      |
| 21       | 2011                       | 0                      | 82.666                 | 0                      | 0                      |
| 22       | 2012                       | 0                      | 75.055                 | 0                      | 0                      |
| 23       | 2013                       | 0                      | 0                      | 62.626                 | 0                      |
| 24       | 2014                       | 0                      | 0                      | 61.644                 | 0                      |
| 25       | 2015                       | 0                      | 0                      | 45.776                 | 0                      |
| 26       | 2016                       | 0                      | 0                      | 65.599                 | 0                      |
| 27       | 2017                       | 0                      | 0                      | 0                      | 42.071                 |
| 28       | 2018                       | 0                      | 0                      | 0                      | 47.157                 |
| 29       | 2019                       | 0                      | 0                      | 0                      | 47.713                 |
| 30       | 2020                       | 0                      | 0                      | 0                      | 16.340                 |
| 31       | 2021                       | 0                      | 0                      | 0                      | 15.971                 |
| 32       | 2022                       | 0                      | 0                      | 0                      | 28.061                 |
| 33       | 2023                       | 0                      | 0                      | 0                      | 213                    |
| 34       | 2024                       | 0                      | 0                      | 0                      | 16.247                 |
| 35       | 2025                       | 0                      | 0                      | 0                      | 7.630                  |

Come premesso i conferimenti verranno suddivisi in 4 periodi per i quali si suppone una differente tipologia merceologica:

- Discarica A: conferimenti 1991-2002;
- Discarica B: conferimenti 2003-2012.
- Discarica C: conferimenti 2013-2016;
- Discarica D: conferimenti 2017-2025.



Morfologicamente l'impianto viene comunque inteso come un unico corpo e pertanto le suddivisioni devono essere considerate unicamente per un miglior affinamento del calcolo ma non come una separazione dei volumi di coltivazione.

La stessa logica di ripartizione è stata applicata alle categorie merceologica di seguito riassunta. Le variabili BC/WC rappresentano le estensioni probabilistiche Best Case e Worst Case.

|                                    | 1991-2002   |             | 2003-2013   |             | 2013-2016                       |             | 2017-2025   |             |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Discarica - Ipotesi probabilistica | A-BC        | A-WC        | B-BC        | B-WC        | C-BC                            | C-WC        | D-BC        | D-WC        |
| residui alimentari                 | 33,70%      | 32,70%      | 18,22%      | 17,10%      | 17,66%                          | 15,66%      | 2,13%       | 1,13%       |
| residui giardino                   | 7%          | 6%          | 6%          | 5%          | 8,07%                           | 7,07%       | 2,37%       | 1,87%       |
| carta e cartone                    | 23,30%      | 23,30%      | 21,80%      | 20,70%      | 23,36%                          | 21,36%      | 28,49%      | 26,49%      |
| tessili e cuoio                    | 5%          | 4%          | 5%          | 4%          | 12,32%                          | 10,32%      | 27,73%      | 25,73%      |
| legno                              | 5%          | 4%          | 5%          | 4%          | considerati con tessili e cuoio |             |             |             |
| plastica e gomma (NP)              | 15%         | 18%         | 27%         | 29%         | 33%                             | 35%         | 32%         | 35%         |
| vetro e inerti (NP)                | 10%         | 11%         | 10%         | 12%         | 4%                              | 6%          | 6%          | 7%          |
| metalli (NP)                       | 1%          | 1%          | 7%          | 8%          | 2%                              | 5%          | 1%          | 3%          |
| <b>totale</b>                      | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b>                     | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> |

Si precisa inoltre quanto segue:

- La porzione residuale dei rifiuti urbani smaltiti nei periodi C e D è stata assimilata alla tipologia dei rifiuti provenienti dal TMB;
- La porzione di fanghi smaltita è sempre stata considerata come porzione indipendente;
- La porzione definita (altri rifiuti) dei rifiuti urbani smaltiti nei periodi C e D è stata assimilata alla tipologia dei rifiuti provenienti dal TMB.

Anche per gli altri elementi di calcolo che influiscono sullo sviluppo modellistica della prospezione, quali il fattore di umidità (Kud) ed il coefficiente di produzione (Kp) sono state assunte ipotesi probabilistiche:

|                                               | 1991-2002     |               | 2003-2013     |               | 2013-2016     |               | 2017-2025     |               |
|-----------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Discarica - Ipotesi probabilistica            | A-BC          | A-WC          | B-BC          | B-WC          | C-BC          | C-WC          | D-BC          | D-WC          |
| fattore di umidità interno alla discarica (%) | 48,00         | 43,00         | 45,00         | 40,00         | 45,00         | 40,00         | 45,00         | 40,00         |
| <b>k<sub>p</sub></b>                          | <b>84,00%</b> | <b>81,00%</b> | <b>84,00%</b> | <b>81,00%</b> | <b>84,00%</b> | <b>81,00%</b> | <b>84,00%</b> | <b>81,00%</b> |

## 9.5 Produzione specifica

Il modello di calcolo utilizzato BIO-7 consente di calcolare la produzione specifica di una singola tonnellata di rifiuto smaltito in discarica, nell'arco della propria vita "decompositiva".

Tali risultati vengono normalmente modificati automaticamente dal modello di calcolo BIO-7 mediante l'applicazione di un correttivo, definito "coefficiente di produzione" ( $K_p$ ), precedentemente indicato e determinato sulla base di parametri empirici rappresentativi delle condizioni di formazione del biogas nella specifica discarica in oggetto (umidità, temperatura, densità, morfologia, esposizione, elevazione fuori-terra, ecc.).

Il coefficiente  $K_p$  rimane invariato per le diverse porzioni di discarica.

Si riportano di seguito i limiti probabilistici desunti dalla modellazione eseguita:

### **Produzione specifica discarica A (1991-2002)**

- Best Case: 185,90  $\text{Nm}^3/\text{t Rs}$
- Worst Case: 181,32  $\text{Nm}^3/\text{t Rs}$
- Best Case corretto: 156,15  $\text{Nm}^3/\text{t Rs}$
- Worst Case corretto: 146,87  $\text{Nm}^3/\text{t Rs}$

### **Produzione specifica discarica B (2003-2012)**

- Best Case: 139,61  $\text{Nm}^3/\text{t Rs}$
- Worst Case: 113,72  $\text{Nm}^3/\text{t Rs}$
- Best Case corretto: 117,28  $\text{Nm}^3/\text{t Rs}$
- Worst Case corretto: 92,12  $\text{Nm}^3/\text{t Rs}$

### **Produzione specifica discarica C (2013-2016)**

- Best Case: 144,99  $\text{Nm}^3/\text{t Rs}$
- Worst Case: 114,98  $\text{Nm}^3/\text{t Rs}$
- Best Case corretto: 121,80  $\text{Nm}^3/\text{t Rs}$
- Worst Case corretto: 93,14  $\text{Nm}^3/\text{t Rs}$

**Produzione specifica discarica D (2017-2022)**

- Best Case: 125,77 Nm<sup>3</sup>/t Rs
- Worst Case: 99,73 Nm<sup>3</sup>/t Rs
- Best Case corretto: 105,56 Nm<sup>3</sup>/t Rs
- Worst Case corretto: 80,78 Nm<sup>3</sup>/t Rs

**9.6 Sviluppo della cinetica di decomposizione**

Il modello BIO-7 è in grado di valutare il diverso comportamento delle due componenti organiche caratteristiche (RVP e RLP), oltre che in termini di capacità complessiva di produrre biogas, anche per la cinetica entro la quale il fenomeno si compie: i rifiuti organici RVP trasformano molto più velocemente il carbonio disponibile dei rifiuti RLP.

Il dato analitico di variabilità della cinetica di fermentazione è definito come tempo di semi-trasformazione  $T_s$  coincidente con il tempo (in anni) necessario al dimezzamento della sostanza organica biogassificabile originale.

Il modello di calcolo attribuisce differenti  $T_s$  alle due frazioni RVP e RLP in funzione delle variabili imposte, in primo luogo in funzione dell'umidità interna della discarica.

La prospezione è stata sviluppata fino al 2050.

Definito il tempo di semi-trasformazione è quindi possibile calcolare con una serie di passaggi il picco di produzione ed il coefficiente di regressione che determina la curva di produzione specifica.

**Riepilogo produzione teorica (Nm<sup>3</sup>/h biogas LFG50)**

| anno | DISCARICA<br>A |               | DISCARICA<br>B |               | DISCARICA<br>C |               | DISCARICA<br>D |               | DISCARICA<br>TOTALE |               |
|------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------------|---------------|
|      | BEST<br>CASE   | WORST<br>CASE | BEST<br>CASE   | WORST<br>CASE | BEST<br>CASE   | WORST<br>CASE | BEST<br>CASE   | WORST<br>CASE | BEST<br>CASE        | WORST<br>CASE |
| 1991 | 18             | 15            |                |               |                |               |                |               | 18                  | 15            |
| 1992 | 85             | 68            |                |               |                |               |                |               | 85                  | 68            |
| 1993 | 175            | 141           |                |               |                |               |                |               | 175                 | 141           |
| 1994 | 271            | 221           |                |               |                |               |                |               | 271                 | 221           |
| 1995 | 364            | 300           |                |               |                |               |                |               | 364                 | 300           |
| 1996 | 453            | 376           |                |               |                |               |                |               | 453                 | 376           |
| 1997 | 540            | 451           |                |               |                |               |                |               | 540                 | 451           |
| 1998 | 623            | 524           |                |               |                |               |                |               | 623                 | 524           |
| 1999 | 702            | 595           |                |               |                |               |                |               | 702                 | 595           |
| 2000 | 785            | 669           |                |               |                |               |                |               | 785                 | 669           |
| 2001 | 876            | 750           |                |               |                |               |                |               | 876                 | 750           |
| 2002 | 931            | 802           | 0              | 0             |                |               |                |               | 931                 | 802           |
| 2003 | 864            | 756           | 20             | 14            |                |               |                |               | 884                 | 770           |
| 2004 | 736            | 660           | 80             | 55            |                |               |                |               | 816                 | 715           |
| 2005 | 631            | 579           | 134            | 93            |                |               |                |               | 765                 | 672           |
| 2006 | 543            | 509           | 194            | 136           |                |               |                |               | 737                 | 645           |
| 2007 | 470            | 450           | 256            | 180           |                |               |                |               | 726                 | 630           |
| 2008 | 409            | 399           | 331            | 234           |                |               |                |               | 740                 | 633           |
| 2009 | 358            | 355           | 447            | 316           |                |               |                |               | 804                 | 671           |
| 2010 | 315            | 317           | 519            | 369           |                |               |                |               | 834                 | 687           |
| 2011 | 278            | 284           | 556            | 399           |                |               |                |               | 834                 | 684           |
| 2012 | 247            | 256           | 603            | 435           | 0              | 0             |                |               | 850                 | 691           |
| 2013 | 220            | 231           | 601            | 438           | 31             | 21            |                |               | 852                 | 690           |
| 2014 | 197            | 209           | 525            | 390           | 124            | 83            |                |               | 846                 | 682           |
| 2015 | 177            | 190           | 461            | 347           | 195            | 131           |                |               | 832                 | 669           |
| 2016 | 160            | 174           | 406            | 311           | 249            | 169           | 0              | 0             | 814                 | 654           |
| 2017 | 145            | 159           | 359            | 279           | 285            | 195           | 12             | 8             | 800                 | 641           |
| 2018 | 131            | 145           | 319            | 251           | 247            | 173           | 51             | 33            | 748                 | 603           |
| 2019 | 120            | 134           | 284            | 227           | 214            | 153           | 90             | 59            | 708                 | 573           |
| 2020 | 109            | 123           | 255            | 205           | 187            | 136           | 117            | 77            | 668                 | 542           |
| 2021 | 100            | 113           | 229            | 187           | 164            | 121           | 122            | 82            | 615                 | 503           |
| 2022 | 91             | 105           | 207            | 170           | 145            | 109           | 130            | 88            | 572                 | 471           |
| 2023 | 84             | 97            | 187            | 155           | 128            | 98            | 136            | 93            | 536                 | 443           |
| 2024 | 77             | 90            | 170            | 142           | 114            | 88            | 130            | 90            | 491                 | 411           |
| 2025 | 71             | 84            | 155            | 131           | 102            | 79            | 132            | 92            | 460                 | 386           |
| 2026 | 66             | 78            | 141            | 120           | 91             | 72            | 127            | 89            | 425                 | 359           |
| 2027 | 61             | 72            | 129            | 111           | 82             | 65            | 117            | 84            | 389                 | 332           |

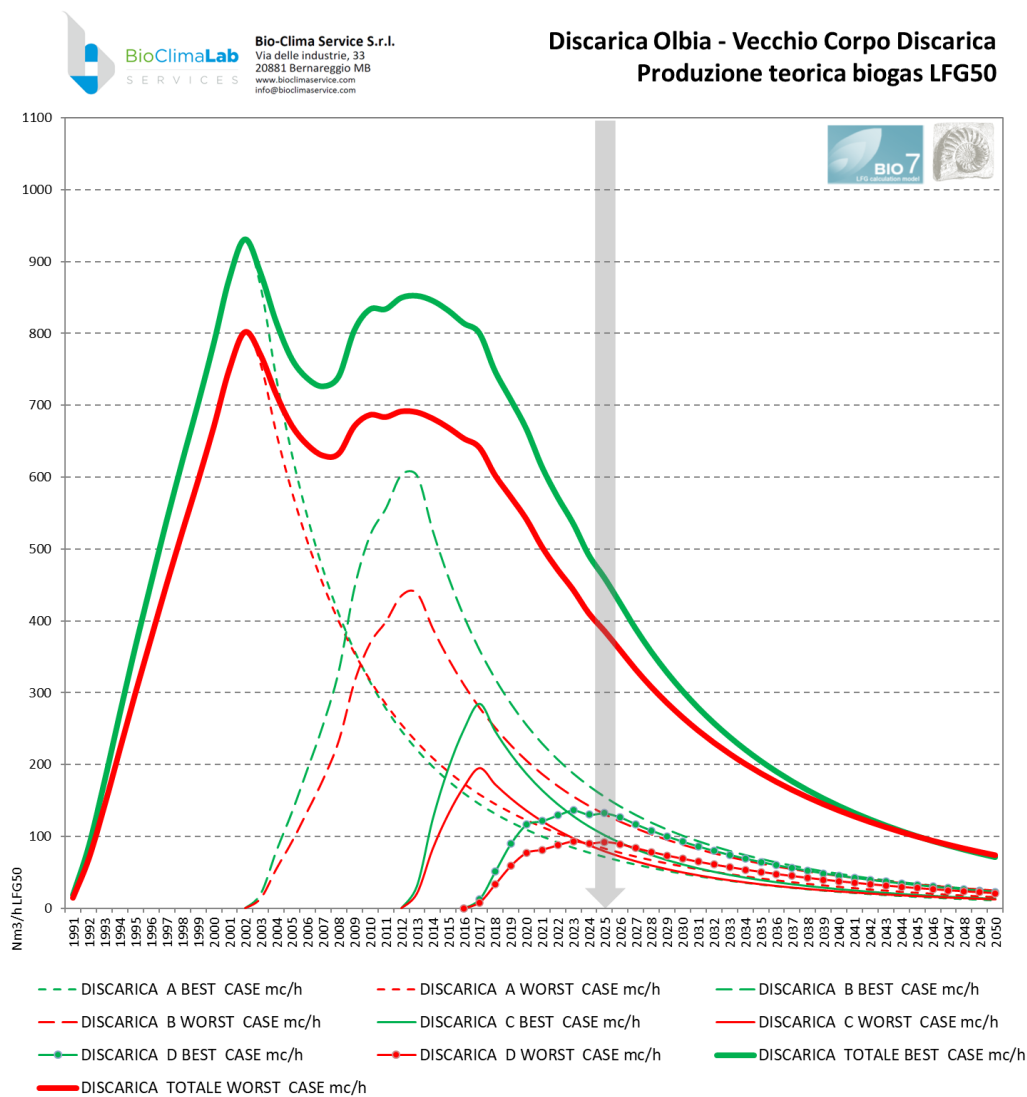
|      |    |    |     |     |    |    |     |    |     |     |
|------|----|----|-----|-----|----|----|-----|----|-----|-----|
| 2028 | 56 | 67 | 119 | 103 | 74 | 60 | 108 | 78 | 357 | 308 |
| 2029 | 52 | 63 | 109 | 95  | 67 | 54 | 100 | 74 | 328 | 286 |
| 2030 | 48 | 59 | 101 | 88  | 61 | 50 | 93  | 69 | 302 | 266 |
| 2031 | 44 | 55 | 93  | 82  | 55 | 46 | 86  | 65 | 279 | 247 |
| 2032 | 41 | 51 | 86  | 76  | 51 | 42 | 80  | 61 | 258 | 231 |
| 2033 | 38 | 48 | 80  | 71  | 46 | 39 | 74  | 57 | 238 | 215 |
| 2034 | 35 | 45 | 74  | 66  | 43 | 36 | 69  | 54 | 221 | 201 |
| 2035 | 33 | 42 | 68  | 62  | 39 | 33 | 64  | 51 | 205 | 188 |
| 2036 | 30 | 39 | 64  | 58  | 36 | 31 | 60  | 48 | 190 | 176 |
| 2037 | 28 | 37 | 59  | 54  | 33 | 29 | 56  | 45 | 177 | 165 |
| 2038 | 26 | 34 | 55  | 51  | 31 | 27 | 52  | 42 | 164 | 155 |
| 2039 | 24 | 32 | 51  | 48  | 29 | 25 | 49  | 40 | 153 | 145 |
| 2040 | 23 | 30 | 48  | 45  | 26 | 23 | 45  | 38 | 142 | 136 |
| 2041 | 21 | 28 | 44  | 42  | 25 | 22 | 42  | 35 | 132 | 128 |
| 2042 | 20 | 27 | 41  | 40  | 23 | 20 | 40  | 33 | 123 | 120 |
| 2043 | 18 | 25 | 39  | 37  | 21 | 19 | 37  | 32 | 115 | 113 |
| 2044 | 17 | 23 | 36  | 35  | 20 | 18 | 35  | 30 | 107 | 106 |
| 2045 | 16 | 22 | 34  | 33  | 18 | 17 | 32  | 28 | 100 | 100 |
| 2046 | 15 | 21 | 31  | 31  | 17 | 16 | 30  | 26 | 93  | 94  |
| 2047 | 14 | 19 | 29  | 29  | 16 | 15 | 28  | 25 | 87  | 88  |
| 2048 | 13 | 18 | 27  | 28  | 15 | 14 | 26  | 24 | 81  | 83  |
| 2049 | 12 | 17 | 26  | 26  | 14 | 13 | 25  | 22 | 76  | 78  |
| 2050 | 11 | 16 | 24  | 25  | 13 | 12 | 23  | 21 | 71  | 74  |

Come evidente nella tabella e nel successivo grafico la prospezione è fortemente influenzata dalle variazioni di tipologia merceologica oltre che, ovviamente, dalla quantità di rifiuti smaltiti anno per anno.

Nel grafico è apprezzabile la sovrapposizione delle 4 curve relative alle sezioni imposte (A, B C e D) e la relativa sommatoria degli effetti.

Il picco di produzione si presume sia avvenuto nel passato (2012-2013) mentre la produzione attuale (2022) di biogas LFG50 dovrebbe essere compresa tra 386 e 460 Nm<sup>3</sup>/h.

È inoltre interessante osservare che, a causa della minore produttività specifica dei rifiuti più recenti e della minore quantità dei conferimenti, la tendenza del flusso produttivo è in fase regressiva da prima della chiusura dei conferimenti.



## 9.7 Efficienza d'impianto

Per efficienza d'impianto s'intende il rapporto tra la capacità di captazione della rete e la produzione teorica prevista di biogas. Non è infatti possibile captare la totalità del biogas prodotto.

Tale fattore, essenziale nel dimensionamento e nella valutazione prestazionale di un sistema di aspirazione, trasporto e combustione e del sistema di recupero energetico, è funzione di diversi elementi tipici della discarica in oggetto e della rete di captazione attualmente presente.

Tra gli elementi che influenzano l'efficienza dell'impianto, dipendenti dalle caratteristiche del deposito di rifiuti, si elencano:

- grado di compattazione dei rifiuti (densità);
- tipologia merceologica dei rifiuti (trasmissività);
- spessore dei rifiuti;
- saturazione dei rifiuti da parte del percolato;
- tipologia e permeabilità degli strati di infracopertura;
- tipologia e permeabilità degli strati di copertura finale.

Tra gli elementi dipendenti invece dalla rete di captazione si elencano:

- densità della rete di captazione (numero ed interasse dei pozzi);
- tipologia costruttiva della rete di captazione (pozzi elevati, trivellati);
- anzianità di servizio della rete di captazione (età dei pozzi);
- depressione applicata agli elementi di captazione;
- tipo di collegamento degli elementi di captazione (serie o parallelo);
- allagamento degli elementi di captazione da parte dei percolati.

Il coefficiente di efficienza (KC) non è inoltre costante nel tempo.

Il Coefficiente Kc è fortemente condizionato dallo stato di chiusura (lotti completati e coperti) della discarica, è quindi prevedibile che a seguito della chiusura definitiva della discarica, il coefficiente di captazione potrà migliorare sensibilmente.

Occorre inoltre prevedere che col passare del tempo l'impianto di captazione tende a ridurre le proprie prestazioni di captazione, non solo per la vetustà delle dotazioni di captazione, trasporto ed estrazione, sulle quali è possibile intervenire con interventi di manutenzione straordinaria o rifacimenti ma bensì sulle caratteristiche dei rifiuti stessi.

Per una valutazione dell'efficienza effettiva è possibile calcolare il rapporto tra i flussi di biogas effettivamente estratto dalla discarica ed i flussi di prevista produzione.

### 9.7.1 Captazione effettiva

I Consorzio CIPNES ha messo a disposizione i dati prestazionali del sistema di captazione e trattamento del biogas nel periodo 2013 – 2025.

Di seguito si riporta la tabella fornita dal Committente.

#### ***Dati prestazionali captazione e trattamento biogas***

| ANNO | BIOGAS<br>ESTRATTO | CH <sub>4</sub> | RECUPERO<br>ENERGETICO | COMBUSTIONE<br>IN TORCIA | ENERGIA<br>PRODOTTA |
|------|--------------------|-----------------|------------------------|--------------------------|---------------------|
|      | [m <sup>3</sup> ]  | [%]             | [m <sup>3</sup> ]      | [m <sup>3</sup> ]        | [kWh]               |
| 2013 | 4.226.143          | N.D             | 3.912.143              | 314.000                  | 4.658.710           |
| 2014 | 4.121.965          | N.D             | 3.899.637              | 222.329                  | 4.561.010           |
| 2015 | 6.283.179          | N.D             | 5.874.588              | 408.591                  | 6.616.530           |
| 2016 | 3.985.397          | N.D             | 3.411.037              | 574.360                  | 4.413.560           |
| 2017 | 4.232.928          | N.D             | 2.764.037              | 1.468.891                | 3.454.810           |
| 2018 | 4.345.198          | N.D             | 1.849.897              | 2.495.301                | 2.198.790           |
| 2019 | 4.318.194          | N.D             | 294.773                | 4.023.421                | 279.460             |

|       |           |     |           |           |           |
|-------|-----------|-----|-----------|-----------|-----------|
| 2020  | 4.658.391 | N.D | 1.445.840 | 3.212.551 | 1.439.560 |
| 2021  | 4.148.923 | N.D | 3.927.317 | 221.606   | 3.565.520 |
| 2022  | 3.516.569 | N.D | 3.007.613 | 508.956   | 2.319.090 |
| 2023  | 3.433.316 | N.D | 223.225   | 3.210.091 | 174.760   |
| 2024  | 3.168.349 | N.D | 2.812.013 | 356.336   | 2.447.130 |
| 2025* | 1.239.523 | N.D | 1.184.871 | 54.652    | 949.680   |

(\*) per il 2025 sono disponibili i dati del primo quadrimestre

Si precisa inoltre che i dati sono “complessivi”, cioè riguardano la captazione dalla Vecchia e dalla Nuova Discarica.

Come evidente è noto il flusso del biogas estratto ma non la concentrazione media del metano, ne consegue che non è possibile definire il fattore di diluizione in aria tipico di un biogas “aspirato”.

Si prenda ad esempio la situazione effettiva al momento dei rilievi delle emissioni diffuse (28/05/2025): la concentrazione di metano rilevata (media giornaliera) è stata pari a 35,80% di metano ad indicazione che una porzione di gas estratto (circa il 30%) era aria atmosferica.

Tale osservazione induce a trattare con prudenza il dato “biogas estratto” in quanto i valori indicati sono la somma dei biogas effettivamente captati oltre che le porzioni di aria di diluizione.

Per ovviare a tale limitazione si è elaborato il dato dell’energia prodotta in quanto solo l’effettivo potere calorifico del biogas può essere trasformato in energia elettrica e non l’aria di diluizione.

Partendo quindi dai dati di produzione energetica (kWh/anno) e considerando un rendimento elettrico del 32% ed un potere calorifico del biogas LFG50 pari a 4,79 kWh/Nm<sup>3</sup> è stato possibile stimare il flusso di solo LFG50 utilizzato per il recupero.

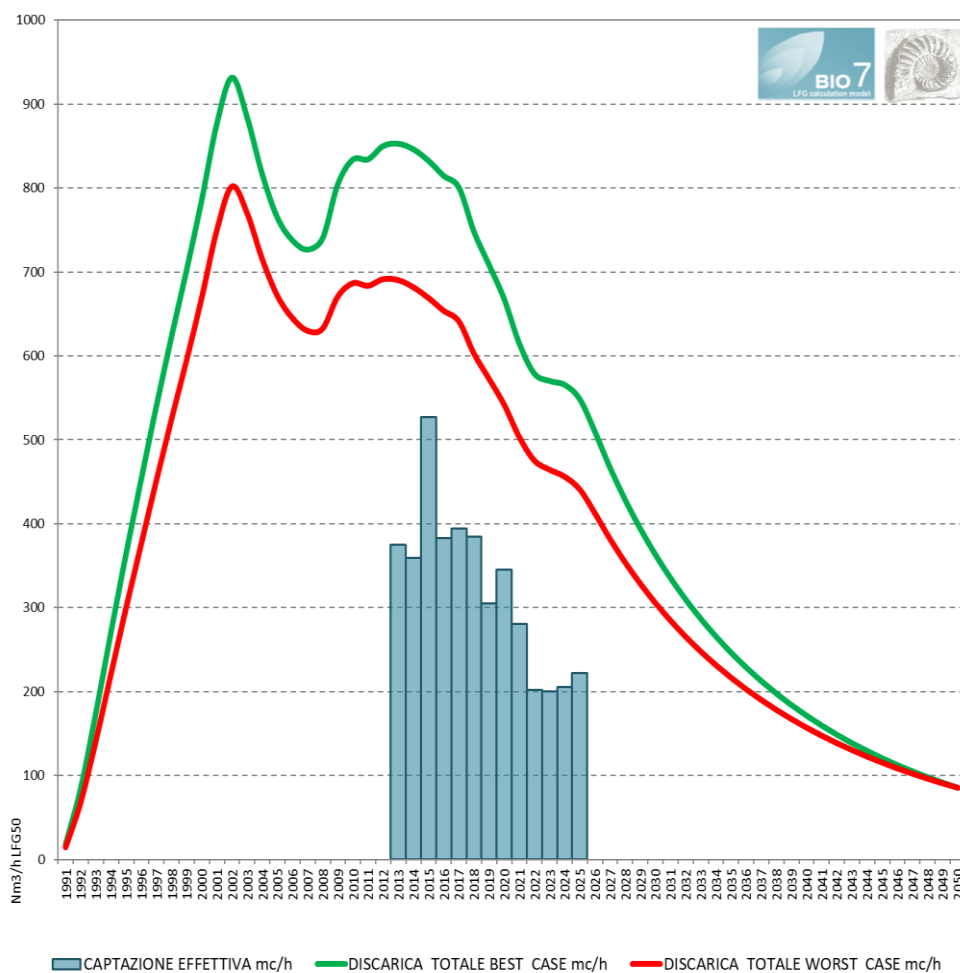
Dalla ripartizione con il flusso captato è stato quindi possibile ipotizzare le concentrazioni medie di metano annue che sono variabili tra il 25 ed il 42%, molto vicine al dato confermato durante il sopralluogo del 2025 (35,80%).

Quale ultimo esercizio si è provveduto a sommare i flussi destinati alla torcia ovviamente equalizzati a LFG50. Nella tabella seguente si riportano i risultati delle elaborazioni svolte e nell'ultima colonna a destra il flusso effettivo di biogas LFG50. Si precisa che i dati di captazione per l'anno 2025 sono quelli forniti da CIPNES per il giorno dei rilievi (28/05/2025).

| ANNO | BIOGAS<br>ESTRATTO     | CONSUMO LFG50 DEL RECUPERO ENERGETICO |                                   |                      |                           |
|------|------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------|
|      | [m <sup>3</sup> LFG50] | [m <sup>3</sup> /h LFG50]             | [m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> ] | [% CH <sub>4</sub> ] | [m <sup>3</sup> /h LFG50] |
| 2013 | 3.039.346              | 347                                   | 1.519.673                         | 38,85%               | 375                       |
| 2014 | 2.975.607              | 340                                   | 1.487.803                         | 38,15%               | 359                       |
| 2015 | 4.316.630              | 493                                   | 2.158.315                         | 36,74%               | 527                       |
| 2016 | 2.879.410              | 328                                   | 1.439.705                         | 42,21%               | 383                       |
| 2017 | 2.253.921              | 257                                   | 1.126.960                         | 40,77%               | 394                       |
| 2018 | 1.434.492              | 164                                   | 717.246                           | 38,77%               | 385                       |
| 2019 | 182.320                | 21                                    | 91.160                            | 30,93%               | 305                       |
| 2020 | 939.170                | 107                                   | 469.585                           | 32,48%               | 345                       |
| 2021 | 2.326.148              | 266                                   | 1.163.074                         | 29,61%               | 281                       |
| 2022 | 1.512.976              | 173                                   | 756.488                           | 25,15%               | 202                       |
| 2023 | 114.014                | 13                                    | 57.007                            | 25,54%               | 200                       |
| 2024 | 1.596.510              | 182                                   | 798.255                           | 28,39%               | 205                       |
| 2025 | 1.858.716              | 212                                   | 929.358                           | 26,15%               | 222                       |

Nel grafico seguente si sovrappone la captazione effettiva alla curva di produzione teorica. Si osserva che la sovrapposizione riguarda la scarica complessiva (compreso il nuovo lotto) poiché la captazione attuale è relativa ai due lotti.

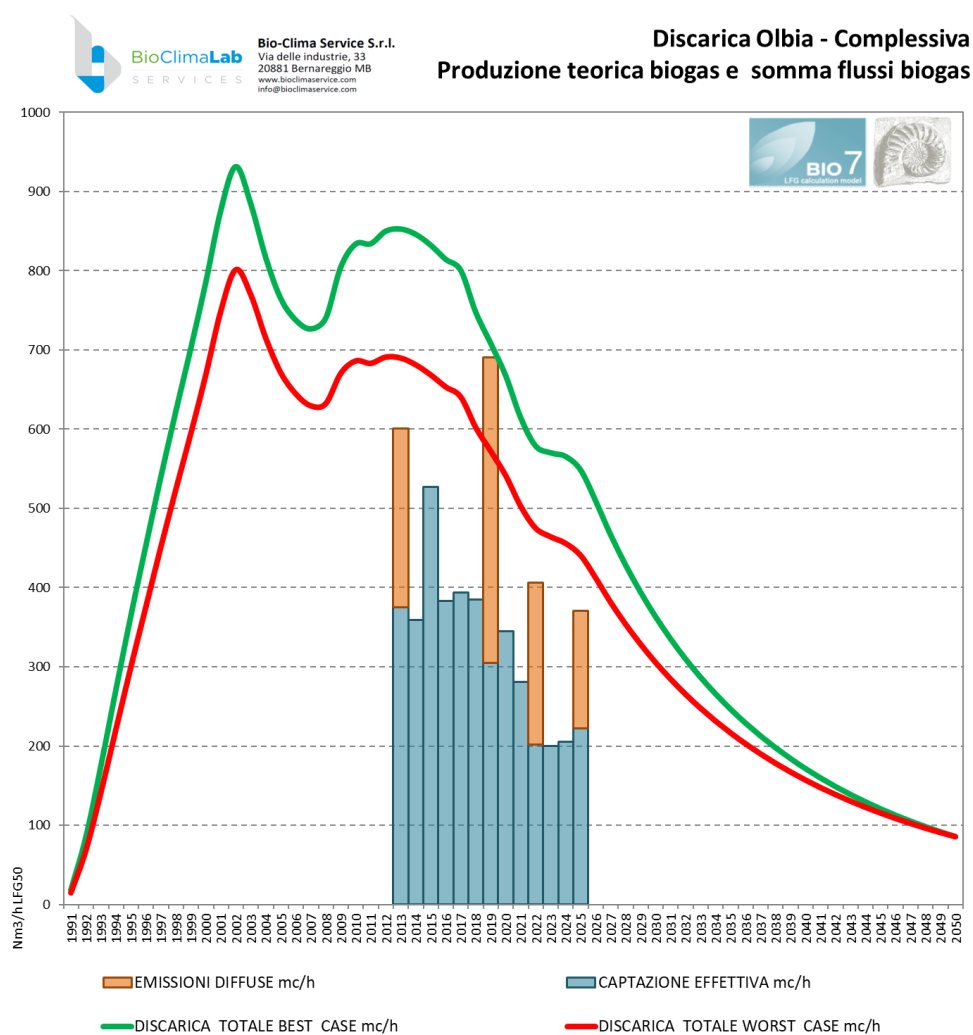
## Discarica Olbia - Complessiva Produzione teorica biogas e flussi biogas captato



Al fine di verificare l'attendibilità della prospezione produttiva è possibile sommare ai flussi del biogas captato (dai due settori) i flussi di emissione diffusa emergenti dalle indagini a noi disponibili.

Tali dati riguardano le precedenti indagini svolte e di seguito riassunte:

- Flusso biogas emesso – indagine MUSE 2013: 226 Nm<sup>3</sup>/h
- Flusso biogas emesso – indagine Terre Logiche 2019: 386 Nm<sup>3</sup>/h
- Flusso biogas emesso – indagine MUSE 2022: 204 Nm<sup>3</sup>/h
  - Flusso biogas emesso – indagine 2025: VD 124,19 Nm<sup>3</sup>/h
  - Flusso biogas emesso – indagine 2025: ND 24,42 Nm<sup>3</sup>/h
- Flusso biogas emesso – indagine complessiva 2025: 149 Nm<sup>3</sup>/h



Nel grafico precedente gli istogrammi arancioni rappresentano i flussi delle emissioni diffuse che si sommano ai flussi delle captazioni effettive.

Come ben evidente, specialmente per le ultime due indagini (2019 e 2022), la somma dei flussi ricade in prossimità delle due curve di produzione teorica confermando pertanto la validità del calcolo elaborato.

### 9.7.2 Calcolo efficienza di captazione

Esistono due metodologie di verifica dell'efficienza di captazione intesa quale rapporto percentuale gas captato/gas prodotto.

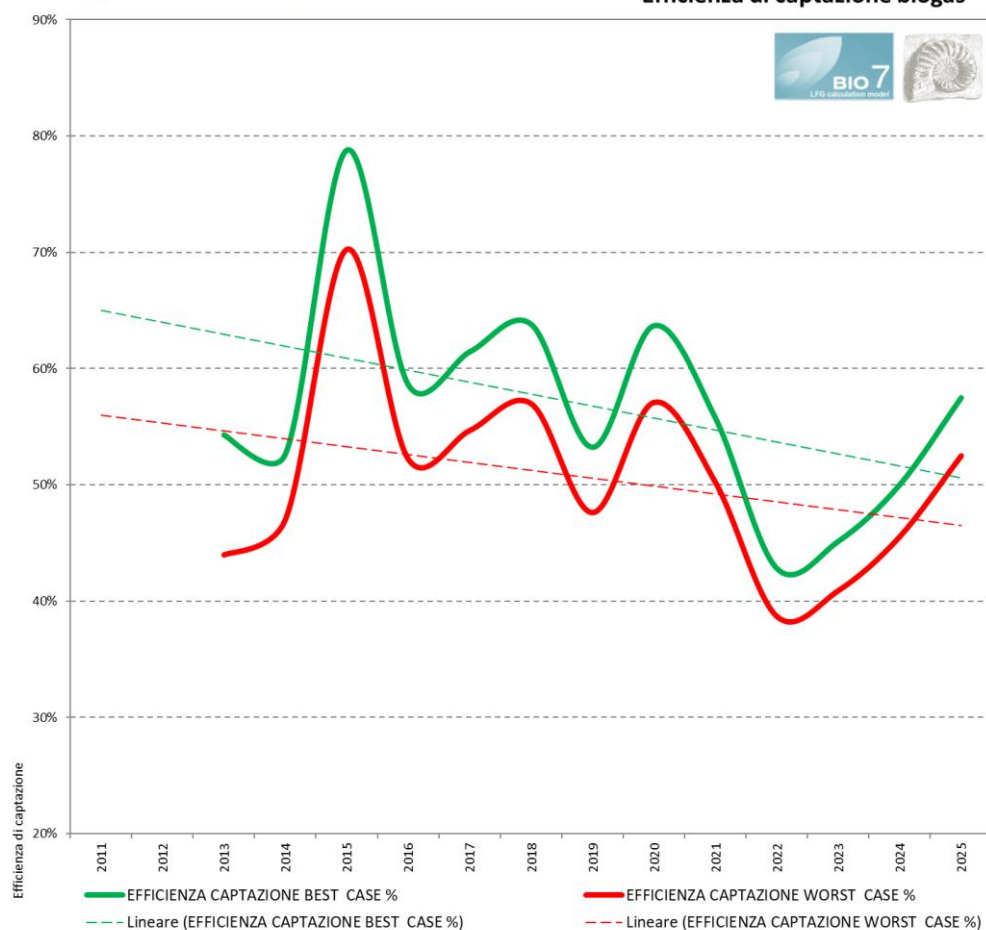
La prima si sviluppa confrontando i flussi del biogas LFG50 captato a quelli previsti dalla prospezione produttiva.

Nella tabella seguente si riportano i dati riferibili alle due ipotesi probabilistiche del modello BIO-7 e nella figura seguente il calcolo viene rappresentato graficamente.

#### Calcolo efficienza di captazione – primo processo di calcolo

| anno        | Kc Worst Case | Kc Best Case  |
|-------------|---------------|---------------|
| 2013        | 43,97%        | 54,30%        |
| 2014        | 47,01%        | 52,67%        |
| 2015        | 70,22%        | 78,79%        |
| 2016        | 52,20%        | 58,61%        |
| 2017        | 54,66%        | 61,45%        |
| 2018        | 56,97%        | 63,82%        |
| 2019        | 47,61%        | 53,25%        |
| 2020        | 57,08%        | 63,70%        |
| 2021        | 50,20%        | 55,76%        |
| 2022        | 38,69%        | 42,83%        |
| 2023        | 40,90%        | 45,16%        |
| 2024        | 45,53%        | 50,02%        |
| <b>2025</b> | <b>52,48%</b> | <b>57,50%</b> |

## Discarica Olbia Vecchio Corpo Discarica Efficienza di captazione biogas



Come evidente l'efficienza di captazione è recentemente (ultimi tre anni) migliorata portandosi su valori tra il 52 e 57%

La seconda tipologia di valutazione si basa su un confronto diretto delle emissioni calcolate e delle captazioni effettive (bilancio complessivo) includendo anche una aliquota di potenziale ossidazione corticale.

Questa tipologia è molto più analitica ma è condizionata dalla situazione momentanea dell'osservazione e quindi sicuramente influenzata dalle variabili incidenti, quali ad esempio la barometria.

Lo sviluppo di tale calcolo viene espresso nel seguente capitolo.

## **10 BILANCIO DI MASSA COMPLESSIVO DEL BIOGAS**

Il bilancio di massa complessivo è stato già in parte sviluppato nei capitoli precedenti evidenziando i diversi flussi oggetto di riscontri strumentali o misurazioni analitiche.

In effetti il concetto di “Bilancio di Massa” potrebbe essere esteso ad bilancio complessivo di tutti i flussi, convogliati e diffusi di biogas, compresi quelli solamente ipotizzabili.

Sulla base di tale logica si riepilogano i seguenti elementi di flusso:

**Flussi convogliati di biogas estratto dalla rete di captazione interna** alla discarica di Olbia, trattati dalla Centrale di Estrazione e trasformati in energia elettrica o bruciati in torcia adiabatica.

Il dato è già stato sviluppato nei capitoli precedenti considerando portata complessiva dell’impianto di captazione nella giornata del 28/05/2025 (somma dei flussi VD e ND).

**Flussi di biogas emessi in atmosfera dalle superfici coperte** dei lotti della discarica di Olbia. Il dato viene sviluppato in parte dalla presente relazione (VD) ed in parte dalla relazione relativa al Nuovo Impianto (ND).

**Flussi di biogas ossidati nello strato corticale delle superfici della discarica**

Tale dato è oggettivamente impossibile da misurare anche se indubbiamente presente. L’Ente internazionale IPPC ipotizza nei propri calcoli sulle emissioni diffuse di metano da discarica che tale flusso possa essere stimabile nell’ordine del 10% dei flussi totali calcolati e considerati.

La considerazione di questo addendo migliora la valutazione dell’efficienza di captazione in quanto il fenomeno di ossidazione, anche se di tipo biologico e non termico, contribuisce alla riduzione dell’emissione di metano in atmosfera.

**Flussi di biogas nel terreno (migrazioni laterali).** Tali flussi sono ostacolati dalla presenza degli strati impermeabili posti sulle sponde interne e sul fondo della discarica. Al momento non sono note informazioni circa lo sconfinamento di biogas nei terreni limitrofi e pertanto tale flusso viene considerato come pari a zero.

**Sintesi.** Si riporta di seguito la sintesi dei singoli addendi del bilancio dei flussi riferito alla data del sopralluogo del 28/05/2025 tutti i dati sono espressi nella medesima unità di misura: LFG<sub>50</sub>.

|                                                          |                                         |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| • Flussi di biogas captato e ossidato termicamente (1):  | 370 m <sup>3</sup> /h LFG <sub>50</sub> |
| • Flussi di biogas emesso in atmosfera aree coperte (2): | 149 m <sup>3</sup> /h LFG <sub>50</sub> |
| • Flussi di biogas emesso in atmosfera aree non coperte: | non considerato                         |
| • Flussi di biogas bio-ossidato dalle superfici (3):     | 49 m <sup>3</sup> /h LFG <sub>50</sub>  |
| • Flussi di migrazioni laterali nel terreno:             | non considerato                         |
| • Somma flussi intercettati e trattati (4):              | 419 m <sup>3</sup> /h LFG <sub>50</sub> |
| • Somma flussi emessi:                                   | 149 m <sup>3</sup> /h LFG <sub>50</sub> |
| • Somma flussi considerati (5)                           | 568 m <sup>3</sup> /h LFG <sub>50</sub> |
| • Efficienza captazione da bilancio di massa (6):        | 73,77%                                  |

Note:

- (1): Dato medio prestazionale della giornata del 28/05/2025 (12.395 Nm<sup>3</sup>/giorno con metano al 35,80%) equiparato a LFG<sub>50</sub>;
- (2): Dato da indagine emissioni "reali" in atmosfera biogas della giornata del 28/05/2025 (124 m<sup>3</sup>/h LFG<sub>50</sub> VD e 24 m<sup>3</sup>/h LFG<sub>50</sub> ND);
- (3): 10% della media tra la produzione teorica BC (548 m<sup>3</sup>/h LFG<sub>50</sub>) e quella WC (441 m<sup>3</sup>/h LFG<sub>50</sub>) riferita alla somma dei due lotti VD e ND;
- (4): Somma flussi captazione (370 m<sup>3</sup>/h LFG<sub>50</sub>) e ossidazione corticale (49 m<sup>3</sup>/h LFG<sub>50</sub>);
- (5): Somma flussi intercettati (419 m<sup>3</sup>/h LFG<sub>50</sub>) e flussi emessi (149 m<sup>3</sup>/h LFG<sub>50</sub>);
- (6): Rapporto tra flussi intercettati (419 m<sup>3</sup>/h LFG<sub>50</sub>) e flussi considerati (568 m<sup>3</sup>/h LFG<sub>50</sub>).

## **11 CALCOLO EMISSIONI ESPRESSE IN T/A (EPRT)**

Tra le categorie identificate dall'allegato 1 del D.lgs. 372/99 compaiono chiaramente al punto 5.4 le "Discariche che ricevono più di 10 tonnellate al giorno o con una capacità totale di oltre 25.000 tonnellate, ad esclusione delle discariche per rifiuti inerti".

È quindi evidente che quasi tutte le discariche per rifiuti non pericolosi rientrano nella categoria di interesse della IPPC.

La direttiva comunitaria 96/61/CE, ed il decreto attuativo 372/99, impongono alle discariche rientranti nelle categorie riportate in allegato 1, di rispettare i valori limiti d'emissione fissati, in accordo all'autorità competente, in base alle migliori tecnologie adottate.

Il decreto 372 è stato abrogato e sostituito dal D.Lgs. n. 59/2005 del 18/02/2005 (in vigore fino al 20/08/2010), poi "inglobato" nel 2010 nel Testo Unico Ambientale (D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. – Parte seconda: "Procedure per la valutazione ambientale strategica (VAS), per la valutazione d'impatto ambientale (VIA) e per l'autorizzazione ambientale integrata (IPPC)")

dal correttivo D.Lgs. del 29 giugno 2010, n. 128 che ha abrogato il D.Lgs. n. 59/2005.

Il riferimento specifico è: Allegato VIII alla Parte seconda del decreto legislativo n. 152/2006 - Categorie di attività industriali di cui all'articolo 6, comma 12

Per quanto concerne le emissioni in aria, causate dalla produzione di biogas, gli inquinanti che le discariche devono dichiarare sono metano e biossido di carbonio. I valori soglia relativi a questi componenti tipici del biogas sono rispettivamente a 100 t/anno per il metano e 100.000 t/anno per l'anidride carbonica.

Il dato suddetto è normalmente utilizzato ai fini dell'aggiornamento del registro integrato delle emissioni e dei trasferimenti di sostanze inquinanti "PRTR" (Pollution Release and Transfer Register) che fa parte del Registro Europeo

“Registro E-PRTR” che tiene conto di tutte le dichiarazioni provenienti dai complessi impiantistici ubicati sul territorio dell’Unione Europea ai sensi del Regolamento CE 166/2006 modificato dal Regolamento CE 596/2009 (ex dichiarazione INES). In pratica il superamento delle soglie PRTR precedentemente riportate obbliga il gestore dell’impianto ad effettuare la dichiarazione delle emissioni.

Come premesso la Norma IPPC (Registro E-PRTR) definisce una soglia di riferimento oltre la quale considerare gli impianti “oggetto di dichiarazione”.

La soglia non è correlata alla dimensione della discarica ma riferibile a tutte le *“Discariche che ricevono più di 10 tonnellate al giorno o con una capacità totale di oltre 25.000 tonnellate”*.

Ne consegue che tale indice è puramente indicativo in quanto riferibile solo ad un fattore di “significatività” dell’impianto e non alla condizione di effettiva emissione. La verifica è stata svolta trasformando il dato di emissione di metano da  $\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$  a t/anno.

- Emissione media di metano reale: **390,03 t/anno**
- Emissione media di metano ponderato: **138,86 t/anno**

Dato di riferimento

- Emissione di metano: **100 t/anno**

Ne risulta quindi che **la situazione osservata risulta essere eccedente al riferimento IPPC** (anche con l’applicazione delle valutazioni ponderate) di emissione diffusa per quanto riguarda il quantitativo di metano emesso.

### **Anidride carbonica**

Per quanto riguarda la soglia di riferimento del biossido di carbonio indicata dall’IPPC non si ritiene ci siano problemi in quanto, pur essendo la  $\text{CO}_2$  dotata di

massa maggiore del CH<sub>4</sub>, il riferimento è comunque 1.000 volte superiore a quello del metano.

Sviluppando analiticamente tale concetto e assumendo come riferimento una miscela standard (LFG50) di biogas composta al 50% da metano ed al 35% da anidride carbonica si desume, per calcolo, l'emissione media di anidride carbonica annua:

- Emissione di anidride carbonica reale: **752,80 t/anno**
- Emissione di anidride carbonica (dato ponderato): **268,01 t/anno**

Dato di riferimento

- Emissione di anidride carbonica: **100.000 t/anno**

Tale verifica conferma quindi **l'ampio margine rispetto al limite di riferimento della Norma IPPC.**

Anche volendo imporre un rapporto tipico tra i due gas come modificato dai fenomeni di emissione corticale e pari al fattore (CH<sub>4</sub> / CO<sub>2</sub>) 0,5 si osserva un incremento di circa 3 volte del flusso di anidride carbonica emessa, ne consegue un flusso emissivo aggiornato a:

- Emissione di anidride carbonica reale: **2.258,40 t/anno**
- Emissione di anidride carbonica (dato ponderato): **804,03 t/anno**

Dato di riferimento

- Emissione di anidride carbonica: **100.000 t/anno**

Come evidente il flusso di CO<sub>2</sub>, anche se incrementato, rimane circa il 2% della soglia IPPC ad indicazione dello scarso interesse ambientale circa questo tipo di emissione e pertanto confermando la non necessità di rilievi analitici di questo tipo di gas.

Tale verifica conferma quindi l'ampio margine rispetto al limite di riferimento della Norma IPPC.

In conclusione, si ritiene che **l'iscrizione al registro E-PRTR sia necessaria per il solo metano.**

## **12 VERIFICA CONFORMITA' D.LGS 121/20**

L'argomento della gestione del biogas viene affrontato nel D.Lgs 121/20 dove vengono proposti due limiti di riferimento: il primo riguarda la "soglia" al di sotto della quale è ammessa la "bio-ossidazione in situ" cioè l'utilizzo di una copertura ossidativa. Tale soglia corrisponde a  $0,001 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{m}^2/\text{h}$ .

Applicando tale limite alla discarica in oggetto emerge la seguente valutazione.

Per la superficie di  $120.000 \text{ m}^2$  l'emissione limite sarebbe quello di  **$120 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{h}$**  equivalente a  **$240 \text{ Nm}^3/\text{h}$  LFG50** flusso decisamente inferiore al flusso stimato come produzione attuale (tra  $468$  e  $568 \text{ Nm}^3/\text{h}$  LFG50).

Ne consegue che **una bio-ossidazione al momento non sia applicabile.**

Il secondo riferimento indicato dal D.lgs. 121/20 è il limite minimo di flusso al di sopra del quale è obbligatorio il recupero energetico. Tale limite viene indicato in  $100 \text{ Nm}^3/\text{h}$  di biogas (potere calorifico non specificato).

In questo caso la soglia non sarebbe raggiunta e **pertanto risulta essere obbligatorio il trattamento termico con produzione di energia.**

Tale obbligo risulta essere puntualmente rispettato mediante un gruppo elettrogeno endotermico.

### **13 INDAGINI TERMOMETRICHE E COMMENTI**

Il Capitolato Tecnico CIPNES richiede specificatamente che *“l’indagine dovrà prevedere riprese termometriche dell’intero corpo discarica.”*

La termografia è un metodo che consente di passare dalla misura senza contatto della radiazione infrarossa alla distribuzione di temperatura superficiale su un corpo.

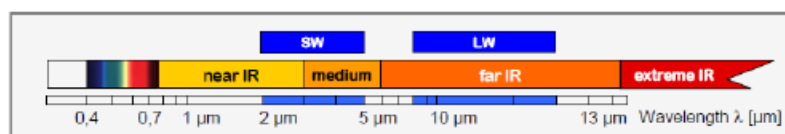
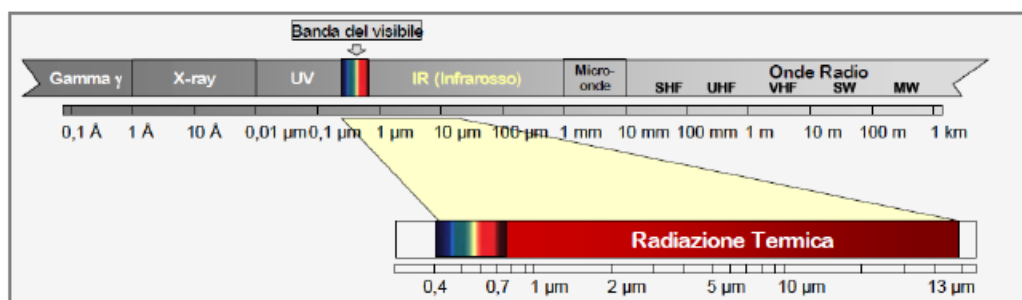
Per effettuare correttamente la conversione tra radianza ricevuta dal sensore dello strumento e distribuzione di temperatura superficiale, sono necessari una serie di conoscenze, analisi ed impostazioni che sono oggetto di specifica formazione.

Lo strumento (termocamera a infrarossi) rileva infatti non solo la radiazione termica emessa dall’oggetto indagato, ma anche la radiazione che esso riflette, ed eventualmente trasmette. Dal momento che solo la radiazione emessa fornisce informazioni sulla reale temperatura superficiale dell’oggetto, è necessario che l’operatore sia in grado di distinguere tra i diversi contributi radiativi rilevati dallo strumento, per evitare di incorrere in errori. La termografia, non richiedendo il contatto fisico con l’oggetto della misura, si presta ottimamente all’ispezione dei componenti sotto carico ovvero nelle condizioni di lavoro e senza interruzione del ciclo produttivo.

Una delle applicazioni della termografia consiste nell’ispezione d’impianti di discarica dove le temperature di potenziale emissione del biogas sono superiori alle temperature dell’ambiente circostante.

#### **13.1 Principi della termografia.**

Tutti gli oggetti aventi una temperatura al di sopra dello zero assoluto ( $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) emettono radiazioni infrarosse; queste radiazioni, invisibili per l’occhio umano, vengono rilevate dalla termo-camera che le rielabora e le presenta su schermo in una forma visibile.



### ***Spettro elettromagnetico in base alla lunghezza d'onda***

Le termocamere non misurano la temperatura direttamente, ma l'intensità della radiazione infrarossa emessa da un corpo. Quest'ultima dipende dalle caratteristiche del corpo stesso, nonché dalla temperatura; la legge di Stefan-Boltzmann precisa che l'intensità della radiazione infrarossa dipende dalla quarta potenza della temperatura.

Le radiazioni infrarosse emesse dagli oggetti e captate dalle termocamere si propagano attraverso l'atmosfera; purtroppo, questa non trasmette ugualmente bene tutte le lunghezze d'onda, ma si comporta in modo selettivo: radiazioni di certe lunghezze d'onda vengono trasmesse quasi inalterate, mentre altre vengono quasi interamente assorbite. Per questa ragione tutte le termo-camere sono progettate per captare le lunghezze d'onda trasmesse, individuate da due cosiddette "finestre" corrispondenti alle lunghezze d'onda di 3÷5  $\mu\text{m}$  (finestra onde corte, SW) e 8÷12  $\mu\text{m}$  (finestra onde lunghe, LW).

Queste radiazioni attraversano l'aria e l'atmosfera e giungono alla termocamera, che ha un sensore o, meglio, una griglia di sensori, in numero pari alla risoluzione del sensore: ad es., un sensore 160x120, come quello della termocamera

utilizzata, è in realtà costituito da 19.200 sensori, ognuno dei quali è in grado di rilevare un'intensità di raggi infrarossi nel suo corrispondente campo visivo.

Il sensore trasforma la radiazione in un segnale elettrico, che può essere elaborato e rappresentato sotto forma di immagine: il termogramma.

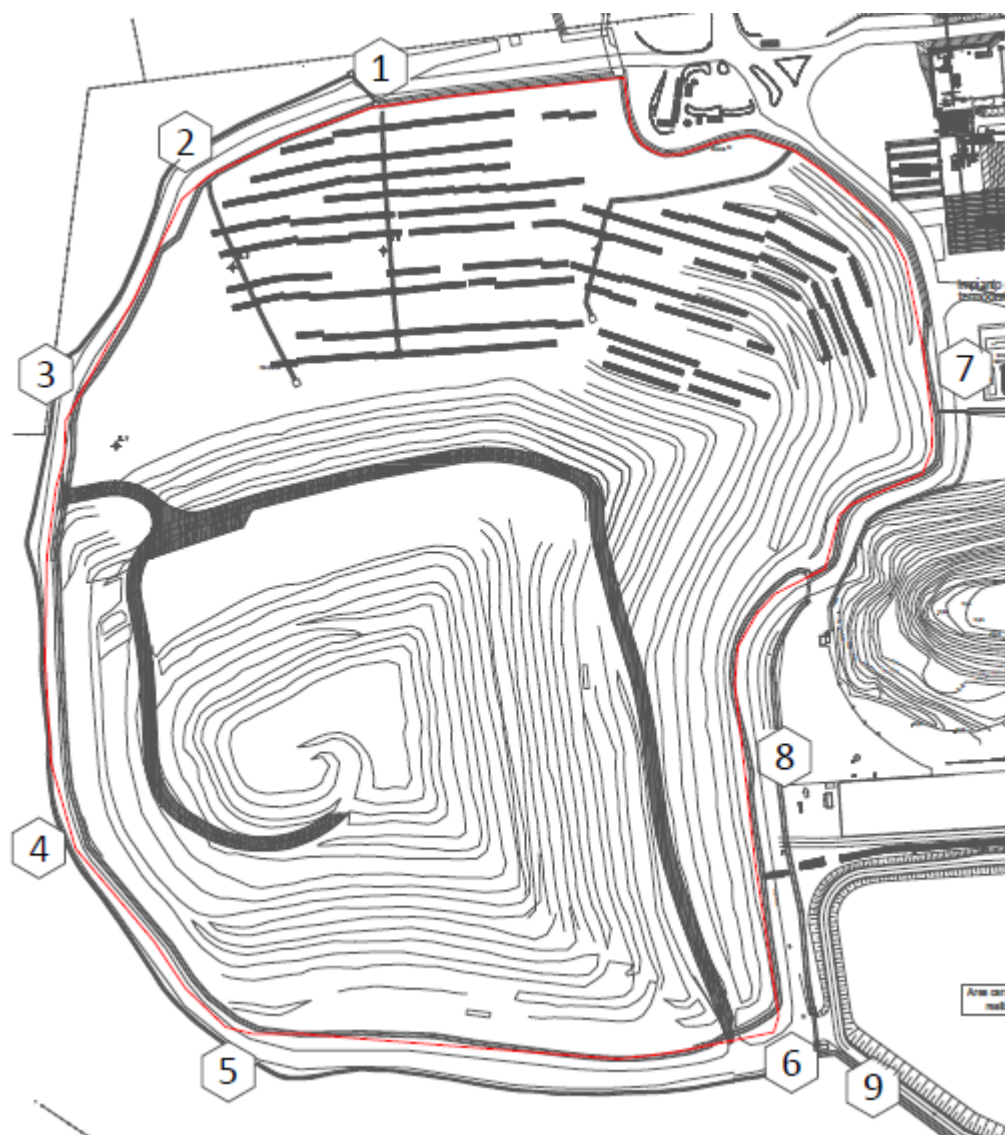
La termo-camera misura, dunque, una radiazione: in realtà, ciò che spesso interessa è la temperatura. Una termo-camera è in grado di convertire radiazione in temperatura se è stata calibrata su un preciso campione di riferimento, e se le variabili immesse dal tecnico che esegue la prova rispecchiano quanto più possibile le condizioni e le caratteristiche dell'oggetto e dell'ambiente circostante.

### **13.2 Caratteristiche sito-specifiche.**

La discarica oggetto della indagine è posizionata a soli 4 km dall'aeroporto di Olbia, tale localizzazione rende particolarmente complessa l'esecuzione di indagini termografiche aeree per le quali occorre ottenere particolari autorizzazioni.

Sulla base di questa condizione si è ritenuto di procedere come nelle precedenti indagini svolgendo una indagine "da terra" utilizzando più punti di ripresa scelti nel contorno della discarica.

Nelle figure seguenti si identificano le posizioni degli otto punti di rilievo utilizzati: da P1 a P8.



**Localizzazione punti di rilievo termografico (tavola D-02)**



***Punti di rilievo termografico***

### **13.3 Condizioni ambientali dei rilievi**

I rilievi termografici evidenziano anomalie termiche rappresentate da potenziali emissioni di biogas dalla discarica. I gas biologici, essendo generati da un fenomeno tipicamente esotermico, quale la fermentazione, sono caratterizzati da una temperatura tipica generalmente superiore ai 30°C.

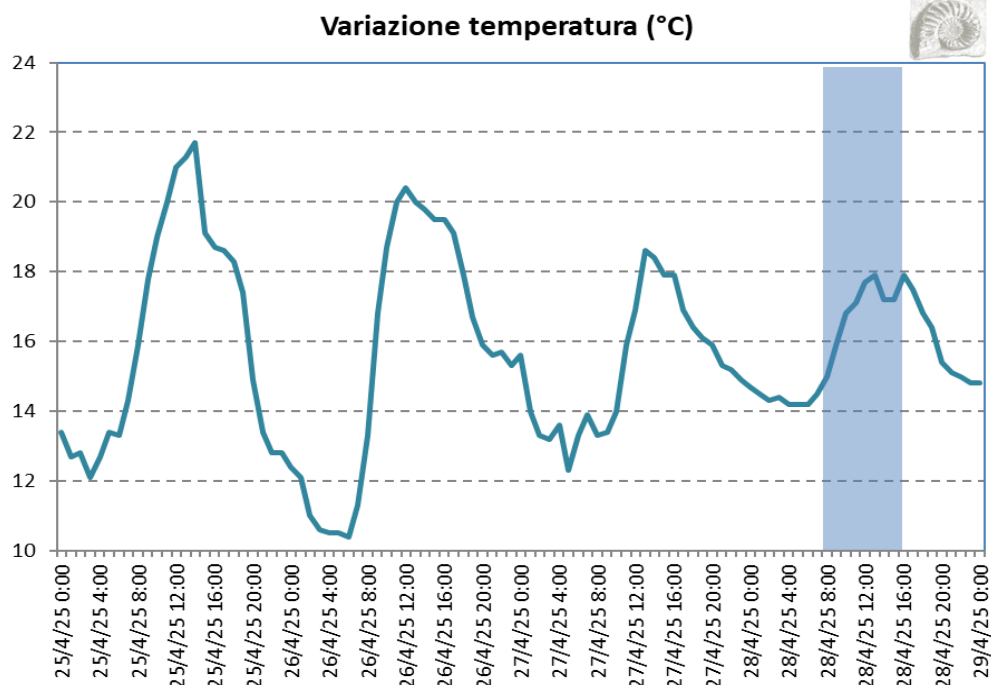
Tale temperatura tende a modificarsi in funzione dall'entità del flusso e dalla tipologia degli strati superficiali delle coperture. Ovviamente tale emissione è tanto più evidente quanto è maggiore la differenza tra la temperatura emissiva rispetto a quella della superficie di emissione.

Nel corso di giornate calde od al termine delle stesse l'irraggiamento solare può riscaldare la superficie oltre la temperatura di emissione rendendo "invisibile" il flusso di gas.

Il periodo dell'anno scelto per l'indagine (fine maggio) e le condizioni meteo erano sufficientemente adeguate per fornire un "contrasto termografico", per ottimizzare ulteriormente tale condizione si è preferito svolgere l'indagine nelle ore più fredde, all'alba.

I rilievi sono stati eseguiti dalle ore 05:00 del giorno 28/05/2025, la stessa data dei rilievi di emissioni diffuse. Per tale giornata il sorgere del sole era indicato alle ore 05:40 (tramonto 20:35) e la temperatura ambientale è stata variabile tra 14 e 18°C. Si riporta di seguito il grafico delle temperature rilevate dalla Centralina meteo CIPNES.

La temperatura indicata come "riflessa" è stata impostata a 20°C.



### 13.4 Strumentazione utilizzata

I rilievi termografici sono stati eseguiti con una termocamera portatile FLIR modello e5XT. Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche:

| Attributo                                 | Valore              |
|-------------------------------------------|---------------------|
| Gamma misure di temperatura               | -20 → +250 °C.      |
| Risoluzione rilevatore                    | 160 x 120 pixel     |
| Risoluzione display                       | 320 x 240 pixel     |
| Numero modello                            | E5-XT               |
| Sensibilità termica                       | <100mK              |
| Precisione migliore di misura temperatura | ±2 °C, ±2%, ±3,6 °F |
| Tipo di messa a fuoco                     | Automatico          |
| Distanza di minima di messa a fuoco       | 0.5 m               |
| Dimensioni display                        | 3 poll              |
| Risoluzione spaziale IFOV                 | 5.2 mrad            |
| Peso                                      | 570 g               |



La termocamera utilizzata aveva numero di serie: 639136648.

Sono stati eseguiti 132 rilievi termografici acquisendo parallelamente le immagini fotografiche in chiaro. I Termogrammi sono stati elaborati con lo specifico software FLIR TOOLS e IRT per una analisi più approfondita.

Per la valutazione complessiva del Vecchio Corpo Discarica sono stati scelti 19 termogrammi di seguito rappresentati e commentati.

## 13.5 Punto P1

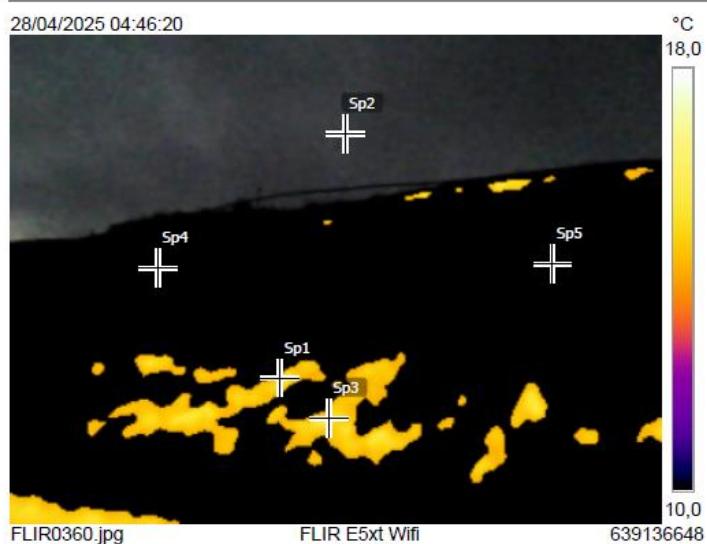
### Punto P1 – rilievo A

#### Misurazioni

|     |         |
|-----|---------|
| Sp1 | 14,6 °C |
| Sp2 | 8,9 °C  |
| Sp3 | 15,2 °C |
| Sp4 | 12,5 °C |
| Sp5 | 13,3 °C |

#### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.92  |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP2: temperatura orizzonte libero
- Spot Point SP3: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP4: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP5: temperatura sponda scarica

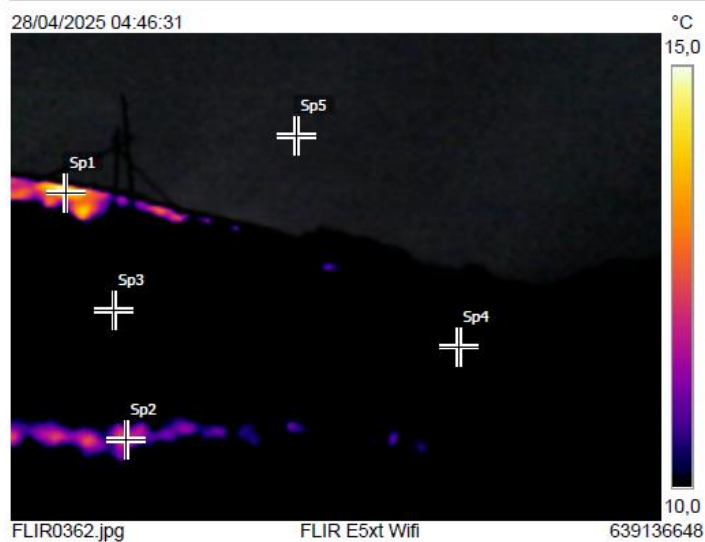
### Punto P1 – rilievo B

#### Misurazioni

|     |         |
|-----|---------|
| Sp1 | 14,4 °C |
| Sp2 | 12,1 °C |
| Sp3 | 7,6 °C  |
| Sp4 | 7,3 °C  |
| Sp5 | 3,1 °C  |

#### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP2: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP3: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP4: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP5: temperatura orizzonte libero

**Commenti Punto P1:**

Si evidenziano alcune potenziali anomalie termiche distribuite sulla sponda con variazione termica di circa 5°C.

La differenza è però modesta e quindi la definizione della migrazione esotermica di difficile imputazione.

## 13.6 Punto P2

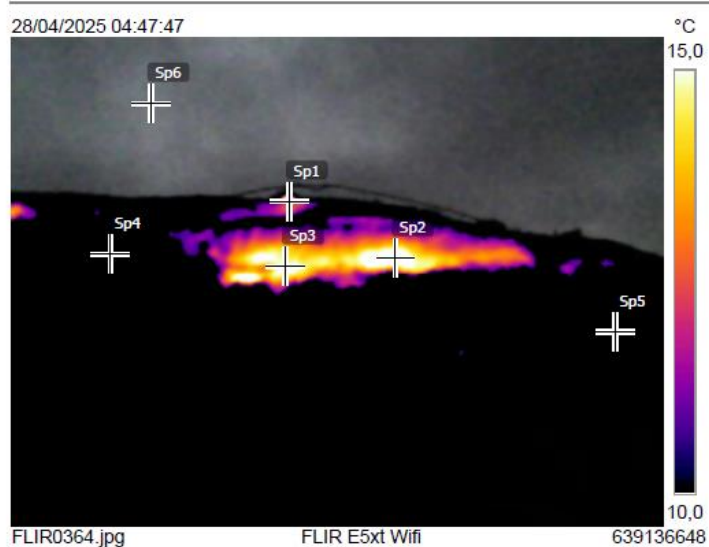
### Punto P2 – rilievo A

#### Misurazioni

|     |                                                                                            |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sp1 | 13,7 °C                                                                                    |
| Sp2 | 16,1 °C                                                                                    |
| Sp3 | 15,2 °C                                                                                    |
| Sp4 | 5,9 °C                                                                                     |
| Sp5 | 6,7 °C                                                                                     |
| Sp6 | -24,0 °C  |

#### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP2: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP3: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP4: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP5: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP6: temperatura orizzonte libero

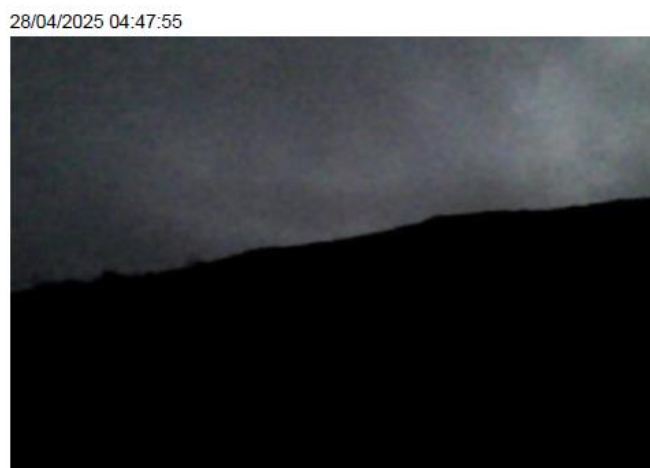
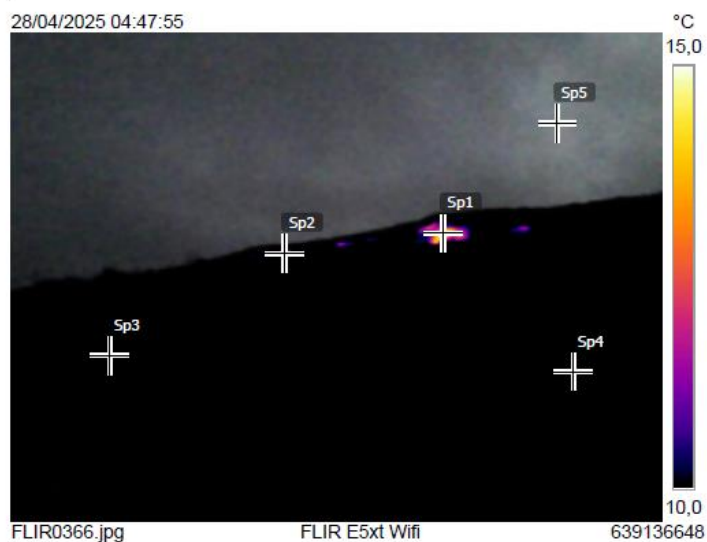
## Punto P2 – rilievo B

### Misurazioni

|     |                                                                                            |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sp1 | 14,8 °C                                                                                    |
| Sp2 | 12,0 °C                                                                                    |
| Sp3 | 4,9 °C                                                                                     |
| Sp4 | 5,1 °C                                                                                     |
| Sp5 | -25,7 °C  |

### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP2: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP3: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP4: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP5: temperatura orizzonte libero

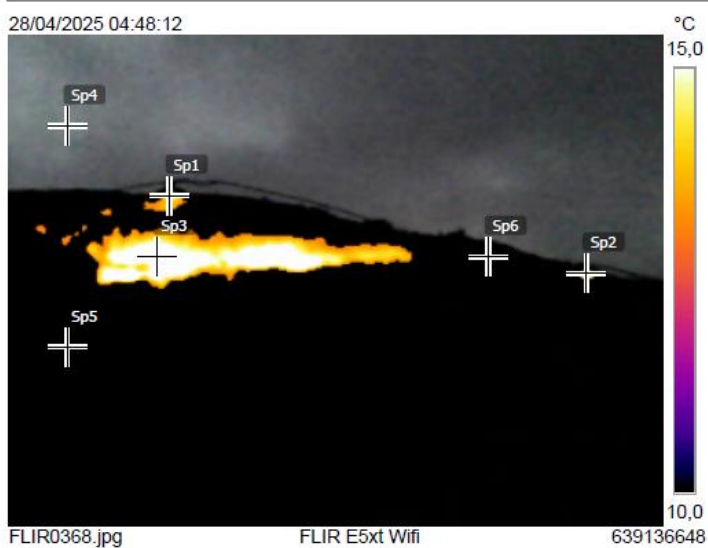
## Punto P2 – rilievo C

### Misurazioni

|     |          |
|-----|----------|
| Sp1 | 15,8 °C  |
| Sp2 | 17,2 °C  |
| Sp3 | 16,3 °C  |
| Sp4 | -18,0 °C |
| Sp5 | 8,1 °C   |
| Sp6 | 11,5 °C  |

### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP2: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP3: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP4: temperatura orizzonte libero
- Spot Point SP5: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP6: temperatura sponda scarica

**Commenti Punto P2:**

Si evidenziano anomalie termiche distribuite sulla sponda mediana alta con variazione termica di circa 7°C.

Si nota la presenza di una testa di pozzo biogas e di una linea pensile (P2-A e P2-C) che però risultano essere della stessa temperature del contorno ad indicazione della scarsa presenza di biogas caldo nel sistema di captazione.

La differenza delle temperature e la disposizione dei gradienti è abbastanza chiara per definire un fenomeno di emissione esotermica.

## 13.7 Punto P3

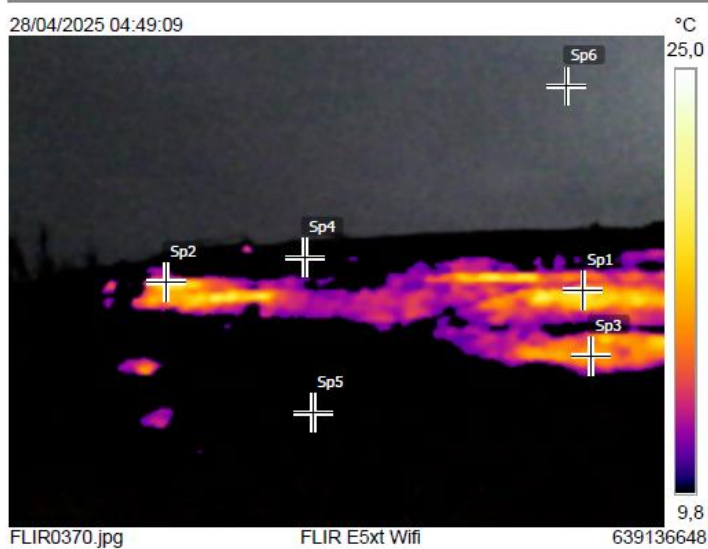
### Punto P3 – rilievo A

#### Misurazioni

|     |         |
|-----|---------|
| Sp1 | 19,9 °C |
| Sp2 | 19,6 °C |
| Sp3 | 16,4 °C |
| Sp4 | 9,5 °C  |
| Sp5 | 8,1 °C  |
| Sp6 | -9,6 °C |

#### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP2: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP3: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP4: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP5: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP6: temperatura potenziale emissione

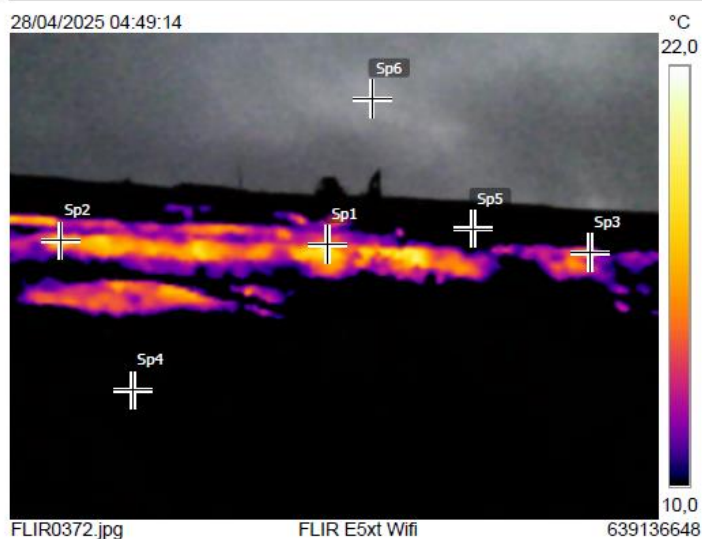
### Punto P3 – rilievo B

#### Misurazioni

|     |                                                                                            |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sp1 | 17,7 °C                                                                                    |
| Sp2 | 17,7 °C                                                                                    |
| Sp3 | 16,7 °C                                                                                    |
| Sp4 | 5,3 °C                                                                                     |
| Sp5 | 7,5 °C                                                                                     |
| Sp6 | -36,0 °C  |

#### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP2: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP3: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP4: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP5: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP6: temperatura orizzonte libero

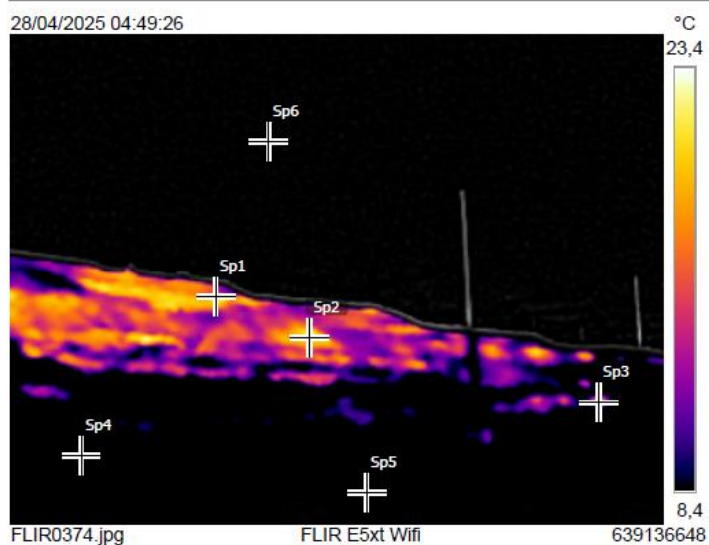
### Punto P3 – rilievo C

#### Misurazioni

|     |         |
|-----|---------|
| Sp1 | 15,3 °C |
| Sp2 | 16,0 °C |
| Sp3 | 12,7 °C |
| Sp4 | 5,0 °C  |
| Sp5 | 4,6 °C  |
| Sp6 | -0,5 °C |

#### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP2: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP3: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP4: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP5: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP6: temperatura orizzonte libero

**Commenti Punto P3:**

Si evidenziano considerevoli anomalie termiche distribuite sulla sponda mediana con variazione termica di circa 10°C.

La differenza delle temperature e la disposizione dei gradienti con nette variazioni in spazi limitati è abbastanza chiara per definire un fenomeno di emissione esotermica.

## 13.8 Punto P4

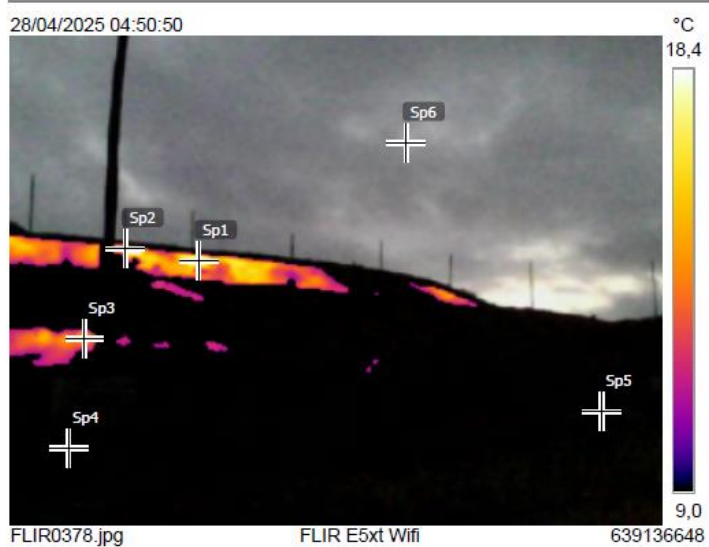
### Punto P4 – rilievo A

#### Misurazioni

|     |         |
|-----|---------|
| Sp1 | 18,6 °C |
| Sp2 | 17,4 °C |
| Sp3 | 14,3 °C |
| Sp4 | 5,9 °C  |
| Sp5 | 5,6 °C  |
| Sp6 | -8,0 °C |

#### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP2: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP3: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP4: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP5: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP6: temperatura orizzonte libero

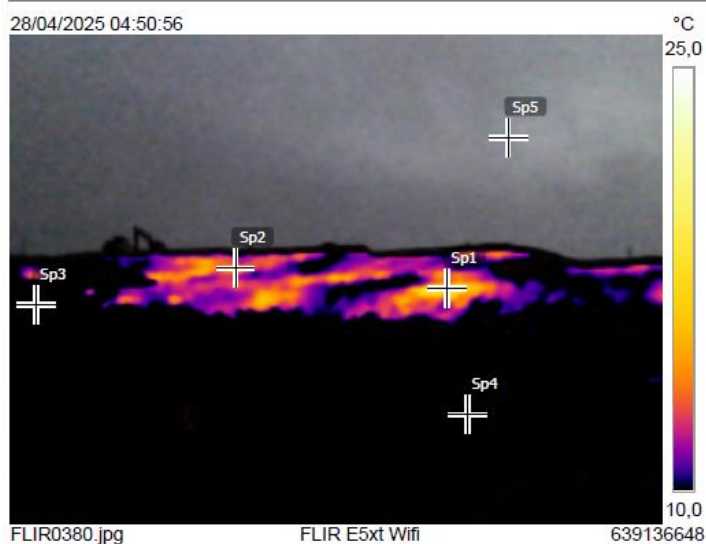
## Punto P4 – rilievo B

### Misurazioni

|     |                                                                                            |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sp1 | 17,8 °C                                                                                    |
| Sp2 | 16,0 °C                                                                                    |
| Sp3 | 6,2 °C                                                                                     |
| Sp4 | 5,9 °C                                                                                     |
| Sp5 | -23,6 °C  |

### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP2: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP3: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP4: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP5: temperatura orizzonte libero

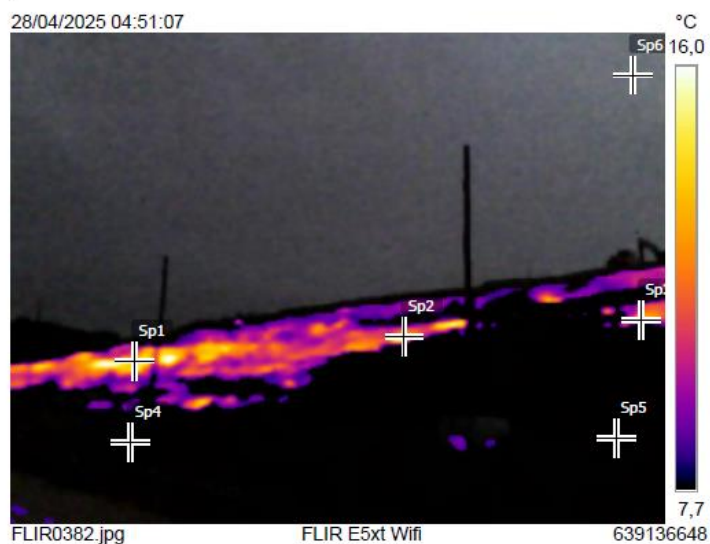
## Punto P4 – rilievo C

### Misurazioni

|     |          |
|-----|----------|
| Sp1 | 14,0 °C  |
| Sp2 | 15,1 °C  |
| Sp3 | 12,2 °C  |
| Sp4 | 5,4 °C   |
| Sp5 | 5,8 °C   |
| Sp6 | -15,7 °C |

### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP2: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP3: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP4: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP5: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP6: temperatura orizzonte libero

**Commenti Punto P4:**

Si evidenziano anomalie termiche distribuite sempre nella parte superiore del colmo dove ci sono presumibilmente i rifiuti più recenti.

La variazione termica di circa 10-13 °C.

Gli incrementi delle temperature e la netta disposizione dei gradienti è abbastanza chiara per definire un fenomeno di emissione esotermica.

## 13.9 Punto P5

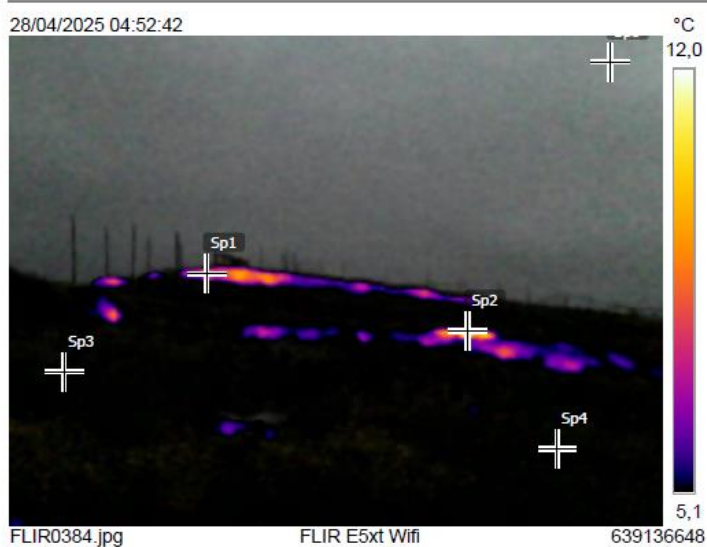
### Punto P5 – rilievo unico

#### Misurazioni

|     |         |
|-----|---------|
| Sp1 | 8,5 °C  |
| Sp2 | 10,4 °C |
| Sp3 | 2,8 °C  |
| Sp4 | 3,3 °C  |
| Sp5 | -8,8 °C |

#### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP2: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP3: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP4: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP5: temperatura orizzonte libero

**Commenti Punto P5:**

Le anomalie termiche sono presenti ma modeste. La variazione termica si limita a circa 5 - 6 °C.

La differenza è modesta e quindi la definizione del fenomeno esotermico è di difficile imputazione.

### 13.10 Punto P6

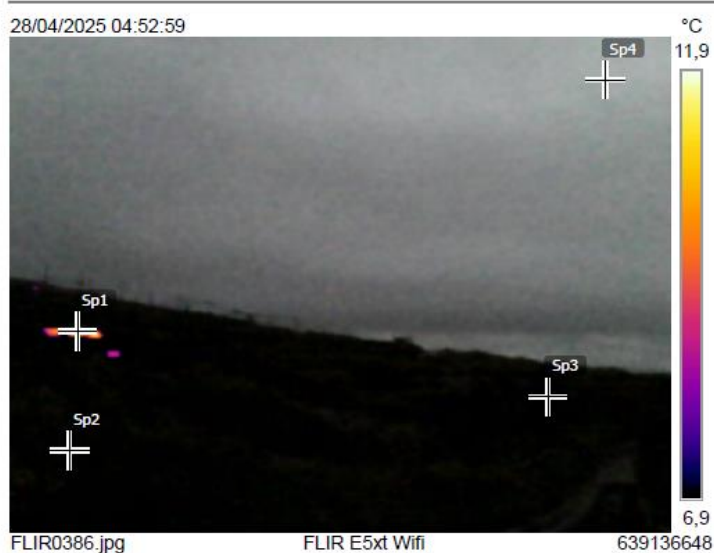
#### Punto P6 – rilievo A

##### Misurazioni

|     |                                                                                            |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sp1 | 12,2 °C                                                                                    |
| Sp2 | 3,5 °C                                                                                     |
| Sp3 | 5,2 °C                                                                                     |
| Sp4 | -23,1 °C  |

##### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP2: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP3: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP4: temperatura orizzonte libero

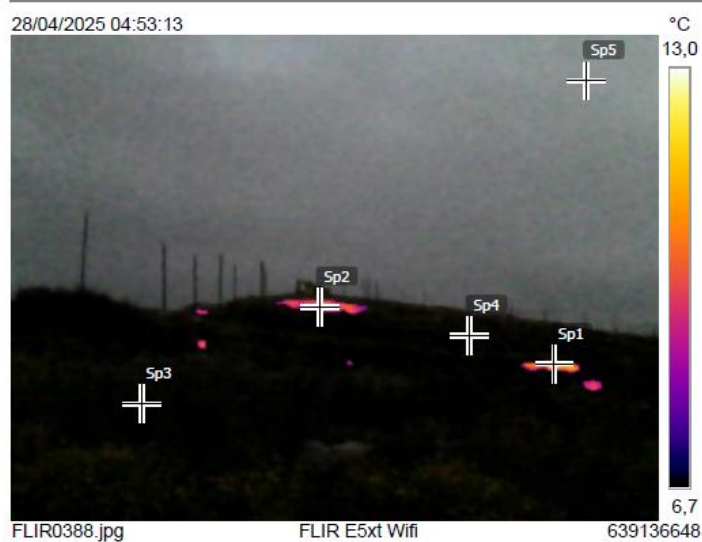
## Punto P6 – rilievo B

### Misurazioni

|     |         |
|-----|---------|
| Sp1 | 12,8 °C |
| Sp2 | 10,3 °C |
| Sp3 | 3,6 °C  |
| Sp4 | 5,0 °C  |
| Sp5 | -8,3 °C |

### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP2: temperatura potenziale emissione
- Spot Point SP3: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP4: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP5: temperatura orizzonte libero

**Commenti Punto P6:**

Le anomalie termiche sono limitate come estensione anche in funzione della distanza del punto di rilievo. La variazione termica si limita a circa 5 °C.

La definizione di un fenomeno esotermico è di difficile interpretazione.

### 13.11 Punto P7

#### Punto P7 – rilievo unico

| Misurazioni |         |
|-------------|---------|
| Sp1         | 6,1 °C  |
| Sp2         | 4,4 °C  |
| Sp3         | 4,5 °C  |
| Sp4         | -2,2 °C |
| Parametri   |         |
| Emissività  | 0.5     |
| Temp. rifl. | 20 °C   |



- Spot Point SP1: temperatura muro di sostegno
- Spot Point SP2: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP3: temperatura sponda scarica
- Spot Point SP4: temperatura orizzonte libero

**Commenti Punto P7:**

Non si evidenziano anomalie termiche sulla scarica.

La definizione di un fenomeno esotermico non è possibile.

## 13.12 Punto P8

### Punto P8 – rilievo A

#### Misurazioni

|     |        |
|-----|--------|
| Sp1 | 0,2 °C |
| Sp2 | 4,9 °C |
| Sp3 | 5,0 °C |

#### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura orizzonte libero
- Spot Point SP2: temperatura sponda discarica
- Spot Point SP3: temperatura sponda discarica

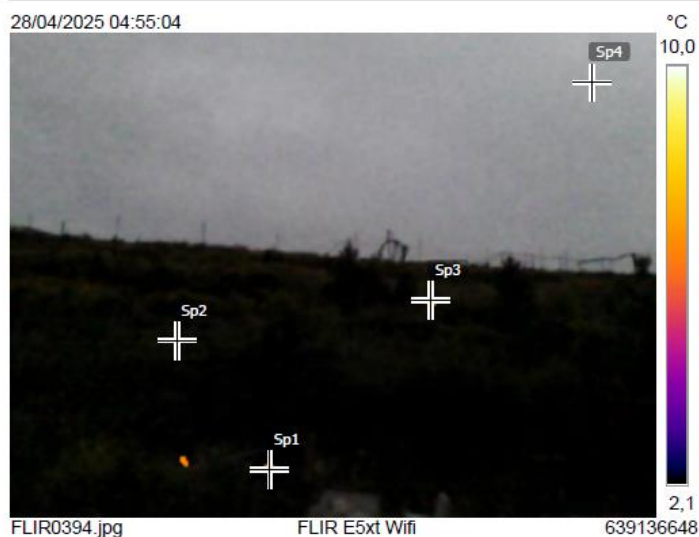
## Punto P8 – rilievo B

### Misurazioni

|     |         |
|-----|---------|
| Sp1 | 6,9 °C  |
| Sp2 | 3,9 °C  |
| Sp3 | 7,0 °C  |
| Sp4 | -2,4 °C |

### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura sponda discarica
- Spot Point SP2: temperatura sponda discarica
- Spot Point SP3: temperatura sponda discarica
- Spot Point SP2: temperatura orizzonte libero

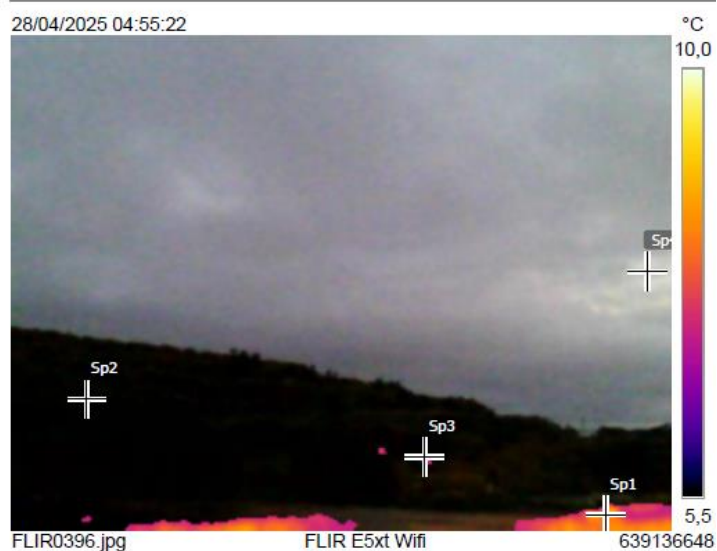
## Punto P8 – rilievo C

### Misurazioni

|     |                                                                                            |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sp1 | 8,4 °C                                                                                     |
| Sp2 | 4,9 °C                                                                                     |
| Sp3 | 7,6 °C                                                                                     |
| Sp4 | -21,6 °C  |

### Parametri

|             |       |
|-------------|-------|
| Emissività  | 0.5   |
| Temp. rifl. | 20 °C |



- Spot Point SP1: temperatura pista
- Spot Point SP2: temperatura sponda discarica
- Spot Point SP3: temperatura sponda discarica
- Spot Point SP2: temperatura orizzonte libero

**Commenti Punto P8:**

Non si evidenziano significative anomalie termiche sulla discarica.

La definizione di un fenomeno esotermico non è possibile.

**13.13 Conclusioni indagini termografiche**

Le indagini termografiche hanno evidenziato la capacità di rilevare anche minime variazioni termiche utili ad indicare potenziali emissioni di biogas.

Sono state rilevate genericamente tre condizioni di seguito commentate:

- Temperatura tra 7 e 9 °C rappresentati il terreno (di copertura della discarica o esterno) senza alterazioni da anomalie termiche;
- Temperature tra 10 e 12 °C rappresentanti potenziali emissioni di biogas localizzate sulle sponde della discarica. L'alterazione è comunque contenuta e pertanto non è possibile definire con certezza l'emissione;
- Temperature superiori a 13°C rappresentati elementi esotermici non sempre correlabili a potenziali emissioni di biogas.

La maggiore concentrazione di fenomeni esotermici corrisponde alla parte più alta delle sponde della discarica (sommità).

Non sono state osservate anomalie termiche tali da indicare presenze certe di abbondanti flussi emissivi di gas caldo.

In conclusione, non si ritiene siano evidenziabili flussi emissivi concentrati ma piuttosto emissioni diffuse sulla copertura, come confermato dai rilievi analitici.

## **14 EVENTUALI SUGGERIMENTI**

La situazione osservata risulta essere conforme alla tipologia gestionale della discarica della discarica oggetto dello studio.

La chiusura definitiva occupa buona parte delle superfici osservate.

Gli unici suggerimenti proponibili riguarderanno la gestione della rete di captazione del biogas a seguito della completa chiusura definitiva dell'impianto quando sarà possibile svolgere interventi di manutenzione e riqualificazione delle dotazioni di captazione (pozzi), trasporto, regolazione e controllo.

Si suggerisce di ottimizzare i tracciati della rete secondaria evitando il collegamento in serie di più pozzi su unica sola linea. Per ottimizzare tale disposizione si propone l'incremento delle stazioni di regolazione in quanto il numero attuale di tre sembra essere poco adeguato per la gestione di circa 90 pozzi di captazione.

Si ritiene inoltre che possa essere considerata l'ipotesi del rifacimento di alcuni pozzi di captazione del biogas considerando le sollecitazioni che quelli attuali hanno subito nelle fasi di coltivazione e di successivo assestamento differenziale.

## 15 CONCLUSIONI

Si ritiene che l'indagine svolta abbia raggiunto i risultati attesi fornendo precise informazioni circa lo stato di emissione diffusa di biogas dalla copertura della Vecchia Discarica.

I riscontri generici evidenziano, una emissione diffusa di biogas inferiore a quella del precedente rilievo del 2022.

L'emissione di gas è stata confrontata con i riferimenti della Norma Inglese EA evidenziando la prossimità alla soglia di riferimento corrispondente all'attuale tipologia di copertura prevalentemente provvisoria.

La soglia IPPC che determina l'iscrizione al Registro E-PRTR è **stata superata per il solo parametro del metano** relativamente alla sezione della Vecchia Discarica. Si ritiene che la valutazione debba essere sviluppata congiuntamente alle risultanze della Nuova Discarica nell'ottica del "sito complessivo".

Le emissioni sono state inoltre espresse in differenti unità di misura al fine di fornire uno scenario ambientale ampio ed esaustivo.

Le indagini termografiche hanno evidenziato e confermato le risultanze delle indagini sulle emissioni escludendo consistenti fenomeni concentrati.

L'efficienza di captazione (considerando anche la Nuova Discarica), se valutata dal confronto con i dati medi di captazione annuali e con le prospezioni produttive (calcolo modello BIO-7) indicano una prestazione variabile tra il 52 ed il 58% senza però considerare l'azione di ossidazione corticale.

Se la valutazione viene invece riferita ai dati analitici della giornata dei rilievi (28/05/2025) in un bilancio di massa che pone confronto tra i flussi trattati e quelli

emessi (compresi quelli ossidati corticalmente) **la prestazione si incrementa a circa il 74 %**, valore adeguato ad una discarica in fase di chiusura definitiva.

L'elaborazione del modello di calcolo BIO-7 ha consentito la valutazione probabilistica (Best e Worst Case) della produzione teorica del biogas. Tale studio è stato applicato differenziando ben 4 periodi storici dell'impianto in funzione della merceologica dei conferimenti mutata in funzione dei pre-trattamenti applicati ai rifiuti conferiti in discarica.

Si rimane a completa disposizione per approfondimenti e dettagli.