



MUSE
Tecnologie

MUSE Tecnologie S.r.l.
Strada 40 snc, Z.I. _Predda Niedda
07100 SASSARI
info@musetecnologie.it
tel +39-079-4126549



Chilivani Ambiente S.p.A.

Z.I.R. Chilivani-Ozieri c/o Centro Servizi – Ozieri (SS)

Discarica rifiuti non pericolosi
Località Coldianu

Studio produzione biogas modulo pregresso
e indagini sulle emissioni diffuse del biogas

Redatto da:

Dott.ssa Giulia Selleri

Ing. Gianpaolo Mura

Marzo 2024

INDICE

1	PREMESSE	4
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	4
3	INQUADRAMENTO IMPIANTISTICO GENERALE	7
3.1	Impianto di captazione del biogas	14
4	VALUTAZIONE DELLE PRODUZIONE TEORICA DEL BIOGAS.....	18
4.1	Cenni descrittivi del fenomeno	18
4.1.1	Fase aerobica	19
4.1.2	Fase facoltativa anaerobica	20
4.1.3	Fase metanigena anaerobica	20
4.2	Caratteristiche chimico fisiche del biogas	22
4.3	Fattori che influenzano la produzione di biogas	24
4.3.1	Umidità	25
4.3.2	Densità	28
4.3.3	Temperatura	28
4.3.4	Pezzatura	29
4.4	Modelli di prospezione disponibili	29
4.5	Descrizione modello BIO-7.....	31
4.6	Approccio probabilistico dei dati (Best e Worst Case).....	33
4.7	Valutazione delle caratteristiche merceologiche dei rifiuti	34
4.7.1	Caratterizzazione merceologica vecchia discarica	34
4.8	Umidità interna alla discarica	36
4.9	Produzione specifica e coefficiente di produzione Kp	38
4.10	Valutazione dei conferimenti dei rifiuti	41
4.11	Calcolo della produzione complessiva di gas	41
5	VALUTAZIONE EMISSIONI DIFFUSE	45
5.1	Premesse.....	45
5.2	Aspetti normativi e procedure di riferimento	46
5.2.1	Disciplinare discariche (Decreto Legislativo 36/2003)	47
5.2.2	IPPC (Decreto Legislativo 372/1999)	47
5.2.3	Norme tecniche sul monitoraggio delle emissioni di biogas.....	48
5.3	Descrizione delle indagini in campo	51
5.3.1	Metodologia di indagine	51
5.4	Osservazione dell'impianto	52
5.5	Opere di captazione del biogas.....	54
5.6	Prestazioni di captazione del biogas	54
5.7	Definizione del numero dei punti di monitoraggio.....	55
5.8	Disposizione e caratteristiche dei punti di monitoraggio.....	55
5.9	Condizioni ambientali al momento dell'indagine.....	58
5.10	Descrizione della strumentazione utilizzata	61
5.10.1	Analizzatore FID (rivelatore a ionizzazione di fiamma)	64
5.10.2	Analizzatore IR di metano ed anidride carbonica	66
6	SVOLGIMENTO DELL'INDAGINE	67

7	RISULTATI DELL'INDAGINE IN CAMPO.....	68
7.1	Sviluppo dei dati raccolti in campo	68
7.2	Correzione dei dati	69
7.3	Risultati delle elaborazioni.....	72
8	SINTESI ED ANALISI DEI DATI	74
8.1	Emissioni Diffuse.....	74
8.2	Riferimento IPPC	76
8.3	Linee Guida Discariche Regione Lombardia e D.L. 121/20	77
8.4	Emissioni GHG.....	78
8.5	Altre equivalenze.....	78
9	CONCLUSIONI	80

Allegati:

Tavola D-24413-1:	planimetria generale
Tavola D-24413-2:	planimetria rete biogas
Tavola D-24413-3:	distribuzione punti di osservazione
Tavola D-24413-4:	punti di osservazione
Tavola S-24413	schema planimetrico isopotenziale emissioni
file FB-24413:	26 schede elaborazione dati di monitoraggio

1 PREMESSE

La scrivente MUSE TECNOLOGIE SRL, con sede a Sassari, ha ricevuto un incarico dalla Società Chilivani Ambiente S.p.A., per la Valutazione Prospettica della Capacità Produttiva di Biogas e il Monitoraggio Delle Emissioni Diffuse di Biogas.

In particolare, il presente studio dovrà fornire specifiche informazioni circa la produttività di biogas del lotto pregresso della discarica utilizzato dal 1996 al 2004. Lo studio prenderà pertanto in esame il fenomeno della generazione spontanea del gas di fermentazione (biogas) prodotto dalla discarica per rifiuti non pericolosi sita in Località Coldianu nel Comune di Ozieri (SS).

La produzione di biogas è infatti uno degli effetti dinamici più caratteristici di una discarica, tale fenomeno deve essere attentamente considerato sia in fase preventiva che nelle successive fasi gestionali e post-gestionali.

Il modulo della discarica in oggetto è dotato da numerosi anni di un impianto di captazione e trattamento dei biogas mediante ossidazione termica (combustione) in una torcia adiabatica ad alta temperatura oppure recupero energetico in gruppo elettrogeno endotermico a ciclo otto.

Nel corso del presente studio è stata inoltre svolta una verifica oggettiva della emissione diffusa di biogas dalla superficie esposta del lotto in oggetto mediante un rilievo specifico eseguito in data 26/02/2024.

Tali misurazioni sono determinanti al fine di confermare la presenza di flussi di gas complementari a quelli captati dal sistema predisposto.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'impianto oggetto dell'indagine risulta essere situato in località "Coldianu" nel territorio Comunale di Ozieri in Provincia di Sassari, Regione Sardegna. La

tipologia dell'area è quella tipica di una ex-cava di calcareniti (tufo), ricavata in fossa.

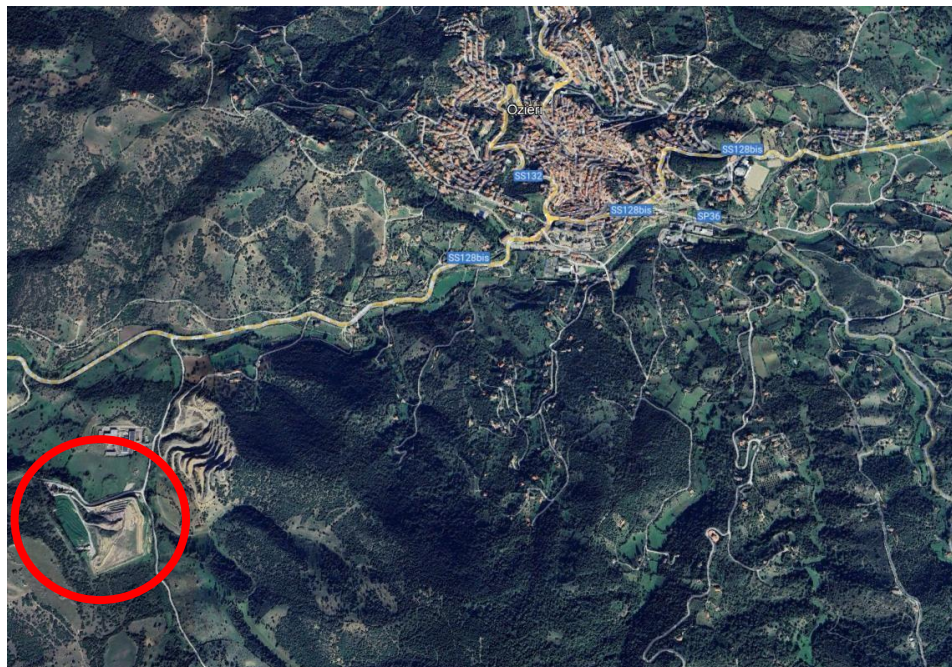
La discarica è raggiungibile dalla SS128bis che collega, da ovest verso est Mores ad Ozieri. Da tale arteria di comunicazione si deriva verso sud una strada secondaria che raggiunge, dopo circa 1 km, l'ingresso della discarica.

L'impianto dista circa 2,6 km a sud-ovest dal centro abitato di Ozieri.

Si riportano di seguito alcune immagini satellitari (Google Earth ®) di inquadramento geografico della discarica in oggetto. Si precisa che le immagini dell'impianto sono riferibili al novembre del 2022 e quindi sono rappresentative dell'effettivo stato di "coltivazione" dell'impianto per tale data; essendo però il modulo in questione chiuso nel 2004 di ritiene che le variazioni non siano influenti.



Inquadramento Provinciale (Google Earth ®) – quota 61.000 m



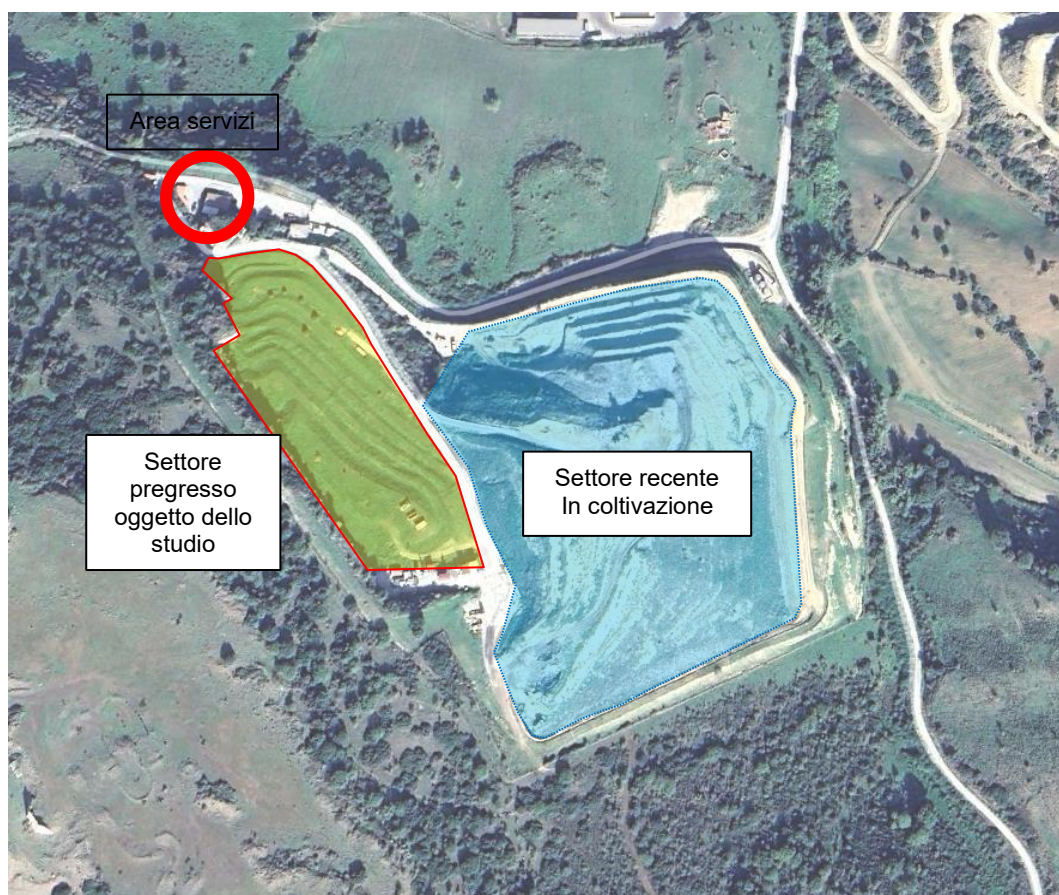
Inquadramento Comunale (Google Earth ®) – quota 6.000 m



Inquadramento impianto (Google Earth ®) – quota 1.600 m – 14/11/2022

3 INQUADRAMENTO IMPIANTISTICO GENERALE

La discarica Scala Erre risulta essere composta da due distinti e separati lotti funzionali (settori). Il lotto pregresso è posto ad ovest nell'ambito di una ex-cava di tufo mentre il settore più recente è posizionato ad est. Lo scopo del presente studio, su specifica indicazione del Committente, riguarda esclusivamente il settore più vecchio evidenziato nella immagine satellitare di seguito riportata.



Ripartizione delle aree di impianto

Nella immagine seguente, sempre tratta dal rilievo satellitare del novembre 2022, si evidenzia il solo settore di discarica oggetto dello studio nella condizione di reinserimento ambientale (vegetazione) osservata anche nel corso dei rilievi.



Area oggetto di indagine

La porzione di discarica oggetto dello studio ed evidenziata dalle immagini precedenti e successive risulta essere stata utilizzata nel periodo storico tra il 1996 ed il 2004 nel corso del quale sono stati smaltiti circa 238.000 tonnellate di rifiuto. I conferimenti sono quindi cessati da circa 20 anni.

La discarica in questione risultava essere già attrezzata di sistemi di impermeabilizzazione di fondo. Il riempimento del volume è stato ottenuto in parziale elevazione a ridosso della parete, quasi verticale, della ex-cava di tufo presente sul limite **ovest** dell'impianto.



Rilevato discarica addossato alle pareti dell'ex-cava

Ad oggi la discarica si presenta come un rilevato a gradoni che raggiunge la sua massima quota nel settore meridionale dove è inoltre presente l'impianto di captazione e recupero energetico dell'intera discarica.



Rilevato discarica addossato alle pareti dell'ex-cava, sullo sfondo l'impianto biogas

Al termine dei conferimenti la discarica è stata attrezzata con una copertura definitiva (ai sensi del D.Lgs 36/2003) che tutt'ora risulta essere presente e sulla quale si è sviluppata una rigogliosa vegetazione erbacea ed arbustiva.

Da un esame visivo (confermato dalle immagini aeree) non risultano evidenti aree con vegetazione stressata o mancante, segno di consistenti migrazioni di biogas.



Rilevato di discarica e stato vegetativo

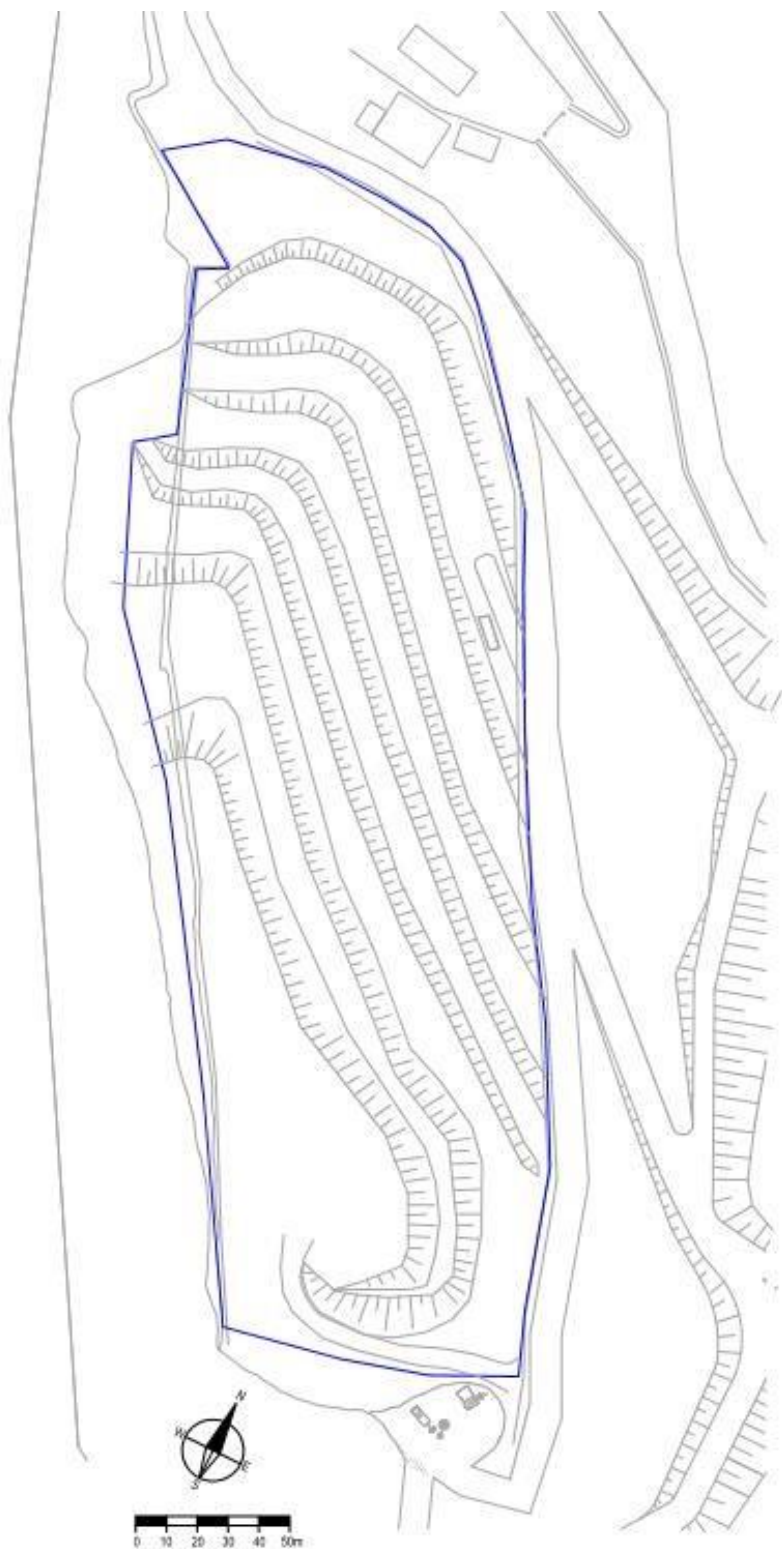


Stato vegetativo spontaneo



Rilevato osservato dall'alto

Si riporta di seguito il rilievo planimetrico fornito dal Committente risalente al dicembre 2022 e ritenuto adeguato data la successiva mancanza di modifiche morfologiche.



Planimetria generale impianto (rilievo topografico dicembre 2022)

3.1 Impianto di captazione del biogas

Sul settore pregresso oggetto dello studio è presente un impianto di captazione del biogas dotato di 10 pozzi di captazione del biogas collegati in parallelo ad una stazione di regolazione posta al piede del rilevato sul lato est dell'impianto a sua volta collegata alla Centrale di Estrazione e trattamento posizionata sullo spigolo sud-ovest del settore.



Pozzo di captazione del biogas



Stazione di regolazione del biogas

La centrale di Estrazione, trattamento e recupero energetico è a servizio della intera discarica, compreso il nuovo settore tuttora in coltivazione.

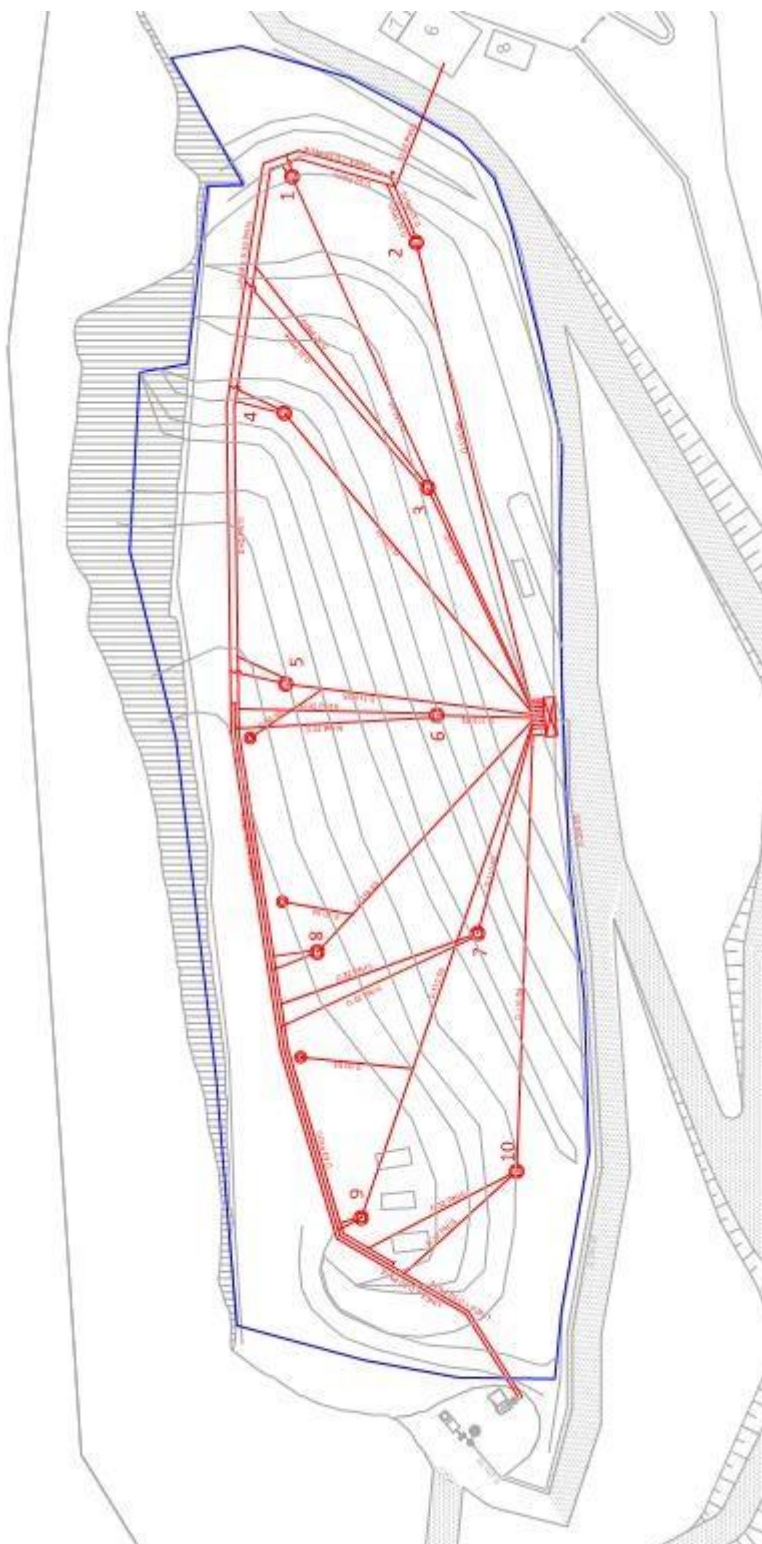




Centrale di Estrazione, trattamento e recupero biogas

Il sistema non è in grado di distinguere gli afflussi di biogas provenienti dai due settori (pregresso ed attuale) in quanto il sistema di misura rileva il flusso complessivo captato. Al termine dei rilievi eseguiti in data 26/02/2024 è stato osservato lo stato funzionale dell'impianto il quale era operativo con una portata totale di circa 70 Nm³/h di biogas.

Si riporta di seguito una planimetria schematica della rete di captazione del biogas.



Planimetria impianto biogas (rilievo topografico dicembre 2022)

4 VALUTAZIONE DELLE PRODUZIONE TEORICA DEL BIOGAS

La presente parte dello studio è orientata alla valutazione dei quantitativi di biogas effettivamente producibili dalla discarica di Ozieri.

La prima fase della valutazione riguarderà gli aspetti descrittivi e teorici per poi passare alla 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.

4.1 Cenni descrittivi del fenomeno

Nel seguito vengono illustrati i principali fenomeni che concorrono al processo di biogassificazione dei rifiuti nonché i principali fattori che influenzano qualità e quantità del biogas prodotto.

La decomposizione dei rifiuti in uno scarico controllato assume spesso aspetti vari e complessi; principalmente processi fisici, chimici e biologici, che agiscono simultaneamente fino alla degradazione dei rifiuti stessi.

Per degradazione fisica s'intende la trasformazione delle componenti del rifiuto che comporta il mutamento delle caratteristiche fisiche del rifiuto stesso, fra cui la riduzione del volume. Fra i fenomeni fisici si possono inoltre ricordare la precipitazione di sostanze, nonché i fenomeni di assorbimento e di rilascio di sostanze.

Per degradazione chimica s'intende il complesso delle reazioni che avvengono tra le diverse sostanze componenti il rifiuto; 00ha riflessi anche nella qualità dei percolati, con variazione della solubilità, del potenziale redox e del pH. Il principale meccanismo di decomposizione dei rifiuti in discarica è però la degradazione biologica, cioè la trasformazione della materia per opera di microrganismi, quali i

batteri. Essa controlla inoltre la velocità di degradazione chimica e fisica influenzando variabili come pH e potenziale redox.

La degradazione biologica si svolge in varie fasi, le principali delle quali risultano:

- la fase aerobica;
- la fase facoltativa anaerobica;
- la fase metanigena anaerobica.

4.1.1 Fase aerobica

La degradazione aerobica avviene subito dopo il deposito dei rifiuti a seguito dell'impiego, da parte dei microrganismi, dell'ossigeno libero.

Questo viene prelevato dall'aria inglobata nella discarica durante la deposizione del rifiuto o penetrata dopo la chiusura (ad es. per l'aspirazione eccessiva del sistema di captazione del biogas). Detto processo utilizza altresì l'ossigeno disciolto nell'acqua meteorica infiltrata dal capping di chiusura della discarica. Il processo di degradazione aerobica è legato alla disponibilità di ossigeno ed è quindi normalmente di breve durata.

Nella prima fase il fenomeno è favorito dalla presenza nel rifiuto di sostanze facilmente e rapidamente degradabili.

Nell'ambito del processo aerobico si ha produzione di energia termica (con temperature comprese tra i 50 e 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. Tuttavia, di norma, durante la prima fase decompositiva ne viene prodotto un limitato quantitativo, sia perché il rifiuto non ha raggiunto la stabilizzazione idrologica, sia perché il fenomeno stesso tende a far assorbire i liquidi presenti. Alla produzione di percolato, che dipende principalmente dalla piovosità e dalle caratteristiche

costruttive della discarica (tipo di copertura, modalità gestionali), contribuisce anche l'umidità già presente nei rifiuti all'atto della deposizione.

4.1.2 Fase facoltativa anaerobica

La decomposizione facoltativa anaerobica avviene quando la disponibilità di ossigeno è ridotta al punto in cui non è più possibile un processo aerobico.

Gli organismi presenti, definiti facoltativi, prediligono l'ossigeno libero ma, se esso è assente, possono utilizzare l'ossigeno "legato".

Caratteristiche di questa fase sono la produzione di anidride carbonica, una minore generazione di energia termica rispetto al processo aerobico e una notevole produzione di sostanza organica parzialmente degradata, la maggior parte della quale è costituita da acidi organici. Detti acidi, con l'anidride carbonica disciolta, si ritrovano inoltre nel percolato a cui conferiscono un certo livello di acidità. Il valore del pH, durante questa fase di decomposizione, è generalmente compreso tra 5.5 e 6.5.

4.1.3 Fase metanigena anaerobica

Lo stadio finale della decomposizione dei R.S.U. consiste nella decomposizione metanigena anaerobica. In questa fase gli organismi convertono la sostanza organica, parzialmente degradata dagli organismi aerobici facoltativi, in metano ed anidride carbonica.

Stante l'utilizzo degli acidi organici, il COD del percolato si riduce ed il pH aumenta fino ad avvicinarsi alla neutralità. A seguito del consumo dei substrati solubili, la produzione di metano diviene dipendente dall'idrolisi della cellulosa; eraltro detta frazione contiene la più alta quantità di carbonio potenzialmente convertibile in metano.

Le caratteristiche di questa fase sono sempre la produzione di energia termica, l'utilizzazione di materia organica disciolta, la produzione di metano ed anidride carbonica, nonché l'aumento del pH con valori vicini alla neutralità. La

conseguenza dell'innalzamento del pH è la diminuita "aggressività" chimica del percolato, nonché la riduzione delle concentrazioni delle materie inorganiche (a causa dell'influenza del pH sulla solubilità).

Come ricordato in precedenza, la decomposizione del rifiuto è un processo assai complesso a causa della frequente concomitanza dei processi sopra descritti in zone limitrofe della stessa discarica; inoltre, le variabili connesse al conferimento dei rifiuti (compressione, umidità, temperatura, tempi di ricopertura, ecc.) possono influire considerevolmente nei fenomeni citati.

Gli effetti della decomposizione metanigena sono quelli che maggiormente interessano la presente relazione.

Gli studi condotti da numerosi ricercatori hanno accertato che di norma questa fase si instaura dopo un periodo variabile tra i 3 e i 9 mesi dalla deposizione del rifiuto. Tale indicazione temporale è correlata, come già anticipato, alle caratteristiche gestionali e intrinseche dell'impianto di smaltimento. Infatti, a titolo di esempio, un pretrattamento di frantumazione e pressatura dei rifiuti comporta una notevole riduzione dei vuoti all'interno dell'ammasso, riducendo quindi le quantità di ossigeno libero disponibile per le fasi di decomposizione aerobica. E' quindi presumibile che in tali condizioni possa instaurarsi rapidamente la fase metanigena.

Anche l'umidità dei rifiuti può condizionare l'azione batterica metanigena: sono stati riscontrati casi ove la ridotta presenza di umidità ha inibito l'instaurarsi della fase anaerobica, "congelando" quindi il fenomeno decompositivo.

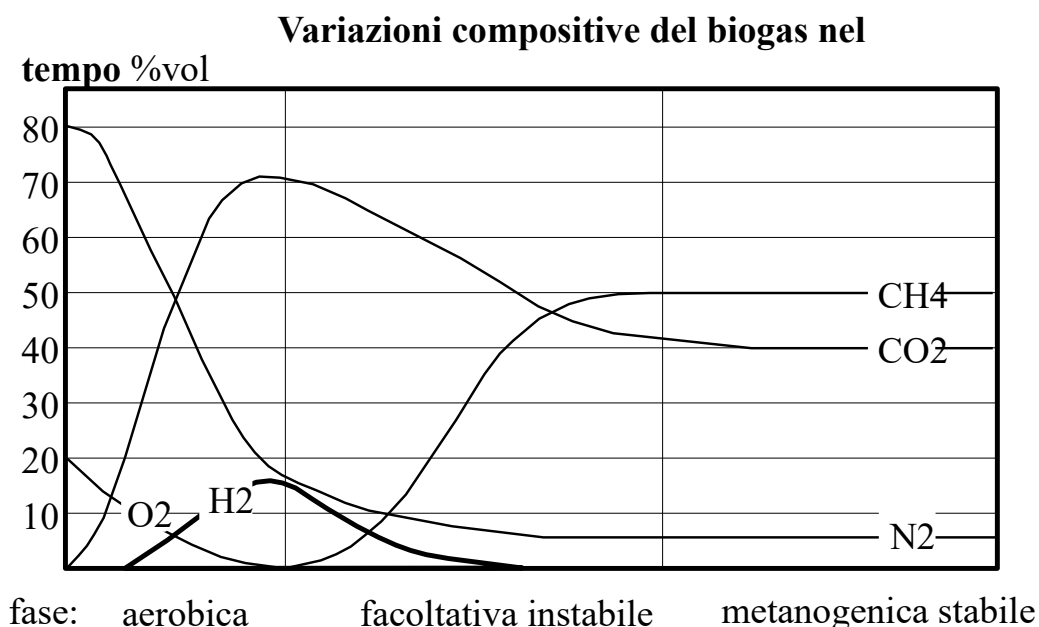
Una volta avviata la fase metanigena, la produzione di biogas si manifesta, normalmente, per parecchi anni, secondo un andamento che evidenzia la massima produzione nei primi anni e un progressivo esaurimento asintotico fino alla completa degradazione della sostanza organica o fino a quando esistono le condizioni ambientali idonee al processo.

4.2 Caratteristiche chimico fisiche del biogas

Nel paragrafo precedente sono stati 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. E’ possibile definire che il gas biologico è composto da due gas prevalenti: il metano (CH_4) e l’anidride carbonica (CO_2).

Combinati con tali gas sono spesso presenti anche l’ossigeno (O_2) e l’azoto (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 (H_2), prodotto in limitate quantità e per brevi periodi, attraverso processi acetogenici.

Il grafico riportato di seguito indica, con ampia approssimazione, l’andamento dello sviluppo temporale relativo ai macrocomponenti del biogas.



Nella tabella seguente si ipotizza una composizione media di un biogas captato da un sistema di aspirazione “dinamico”.

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

Composizione tipica di un biogas “aspirato”

	Densità (riferita all'aria)	Potere calorifico Inferiore	Incidenza nel biogas (ipotesi)	Densità relativa	PCI relativo
<i>u.m.</i>		<i>Kcal/m³</i>	<i>%</i>		<i>Kcal/m³</i>
Metano	0,56	8.250	50	0,280	4.125
Anidride carbonica	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
BIOGAS			100		
ASPIRATO				0,955 (aria = 1)	4.125 (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 (riferita all'aria)	Potere calorifico Inferiore	Incidenza nel biogas (ipotesi)	Densità relativa	PCI relativo
<i>u.m.</i>		<i>Kcal/m³</i>	<i>%</i>		<i>Kcal/m³</i>
Metano	0,56	8.250	60	0,336	4.950
Anidride carbonica	1,53	0	38	0,581	0

Azoto	0,97	0	1	0,010	0
Altri gas	-	0	1	0.001	0
BIOGAS			100	0,928	4.950
ESALATO				(aria = 1)	(5,76 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”.

Da tale “assunzione” emerge un elemento determinante per la presente relazione: il potere calorifico del biogas valutato in 4,79 kWh/Nm³ di biogas.

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

Possono essere inoltre presenti tracce di ulteriori gas, in parte xenobiotici, quali ad esempio idrocarburi alogenati o composti aromatici.

Questi non derivano dalla decomposizione biologica dei rifiuti, ma sono il risultato della loro potenziale “contaminazione”.

4.3 Fattori che influenzano la produzione di biogas.

Fra i molti fattori che influenzano la produzione di biogas se ne possono principalmente individuare tre distinti gruppi:

Caratteristiche ambientali	Precipitazioni; Temperatura dell'aria;
Caratteristiche dei rifiuti	Composizione merceologica; Granulometria allo scarico;

	Densità;
	Pretrattamenti;
Modalità di gestione	Profondità dello scarico controllato;
	Modalità di deposito dei rifiuti;
	Materiali di copertura;

I fattori d'influenza, considerati nello sviluppo del modello matematico previsionale di produzione di biogas adottato, sono di seguito descritti:

4.3.1 Umidità

L'umidità dei R.S.U., all'atto del deposito nello scarico controllato, dipende dalla composizione dei rifiuti, dalle condizioni climatiche e dalle tecniche di raccolta. In assenza di dati sperimentali relativi ai valori di umidità per le diverse frazioni costituenti il rifiuto, che, come si vedrà in seguito, giocano un ruolo ben più importante dell'umidità media dell'intera massa di rifiuti, sono stati assunti, in prima approssimazione, i valori medi della tabella sotto riportata.

Risulta che i rifiuti di cucina e quelli di giardino hanno il più elevato tasso di umidità (30-80%), mentre carta e cartoni presentano valori **ben più bassi (410%).**

La maggior parte dell'umidità riscontrabile nelle frazioni cellulosiche deriva dall'assorbimento di acqua dalle altre componenti della miscela di rifiuti, durante il processo di fermentazione dei rifiuti.

La principale funzione dell'umidità nel processo di metanogenesi, oltre a quella ben nota di consentire l'attività dei microrganismi, è la creazione della massima interfaccia solido-liquido con la conseguente diffusione ottimale nell'ammasso dei microrganismi, del substrato idrolizzato, dei nutrienti, ecc.

Evidenze sperimentali hanno mostrato un aumento consistente della produzione di biogas all'aumentare dell'umidità; è stato altresì riscontrato, che una volta stabilizzate la diffusione e l'interfaccia solido-liquido, l'umidità aggiuntiva non ha effetti rilevanti sulla metanogenesi.

Successivamente al deposito in discarica, l'umidità dell'ammasso varierà in funzione dei seguenti fattori:

- Disponibilità idriche (percolazione acque meteoriche, afflusso acque sotterranee, eventuale ricircolo di percolato, irrigazione della superficie di copertura).
- Condizioni ambientali (temperatura atmosferica, irraggiamento solare, ventosità della zona);
- Caratteristiche della superficie di copertura (tipo di terreno e di vegetazione, tipo di capping dei rifiuti, pendenza e configurazione topografica);
- Caratteristiche dei rifiuti (densità maggiore o minore secondo la compattazione, pezzatura, contenuto d'acqua al momento dello smaltimento);
- Modalità di impermeabilizzazione del fondo e delle pareti della discarica.

Normalmente per discariche chiuse in modo definitivo il principale termine positivo del bilancio idrologico è rappresentato dalle precipitazioni meteoriche. La maggior parte di queste non penetra all'interno del deposito ma viene allontanata per ruscellamento superficiale. Un'altra quota parte ritorna all'atmosfera attraverso l'evaporazione o, nel caso di superficie già ricoperta da vegetazione, di evapotraspirazione.

Per le discariche, o porzioni di esse, in gestione aperta o non ancora dotate di capping definitivo le infiltrazioni di acque meteoriche sono decisamente maggiori.

All'atto del completamento di un settore di discarica rifiuti e materiale di copertura si trovano normalmente in condizioni insature, e sono quindi in grado di assorbire acqua fino a raggiungere la saturazione capillare, oltre la quale si ha la formazione di percolato.

L'acqua assorbita dai rifiuti può essere comunque rilasciata successivamente, negli strati superficiali per evapotraspirazione e negli strati più bassi per azione della compressione.

Il contributo, positivo o negativo, dovuto alla produzione o al consumo di acqua, associabile alle diverse reazioni biochimiche di degradazione aerobica e anaerobica della sostanza organica contenuta nei rifiuti, è in queste fasi preliminari limitato e normalmente trascurabile.

La presenza del percolato sul fondo dello scarico controllato non corrisponde quasi mai nella realtà alla saturazione dei rifiuti sovrastanti; ciò a causa della formazione nell'ammasso di vie preferenziali alla percolazione.

Se un settore di discarica viene posto in esercizio nella stagione secca e completato in tempi brevi, vi è la concreta possibilità che l'umidità dei rifiuti non sia sufficiente per un completo sviluppo del fenomeno di produzione di biogas. Studi di laboratorio hanno dimostrato che, in condizioni di bassa umidità, viene prodotta una quantità scarsa o nulla di biogas.

Sperimentazioni in campo, condotte su settori di discarica, hanno confermato la forte dipendenza della produzione di biogas dall'umidità, riscontrando concentrazioni modeste di metano nel gas prodotto dagli ammassi a basso tenore di umidità.

Alcune altre esperienze, condotte in scarichi controllati localizzati in zone secche, hanno invece riscontrato variazioni fino al 50%.

L'apparente contraddizione di questi risultati sperimentali potrebbe essere spiegata se fossero noti i contenuti di umidità in situ dei rifiuti e le modalità operative dei diversi scarichi controllati.

Inoltre, l'estrema eterogeneità dei rifiuti solidi può comportare, anche nel medesimo scarico controllato, differenti produzioni di biogas fra aree caratterizzate dal medesimo periodo di conferimento.

Sono disponibili in letteratura svariati modelli per la determinazione del bilancio idrologico in una discarica; detti algoritmi, prevalentemente finalizzati alla valutazione della produzione di percolato, forniscono risposte scarsamente attendibili stante la difficoltà di reperire idonei parametri sperimentali di taratura.

E' quindi definibile che il fattore di umidità interno alla discarica è l'elemento di maggiore importanza nella variabilità dell'algoritmo utilizzato.

4.3.2 Densità

L'effetto della densità sulla produzione di biogas non è stato ancora del tutto chiarito e quantificato. Risulta, infatti, da studi sperimentali, che la densità può avere effetti contrastanti sulla produzione di biogas, visto che diminuendo la capacità di campo dei rifiuti tende ad aumentare la diffusione e la distribuzione nella massa di rifiuti dell'umidità e di tutti gli elementi presenti nella fase acquosa (microrganismi, nutrienti, ecc.); la superficie totale reattiva della frazione solida diminuisce e pertanto anche la velocità di idrolisi della sostanza organica.

4.3.3 Temperatura

La produzione di biogas è influenzata dalle temperature all'interno dello scarico controllato, nonché dalle variazioni di queste nel tempo. Diversi studi sperimentali hanno evidenziato l'importanza di tale parametro, quantificando l'influenza della temperatura sul tasso di produzione di metano.

In condizioni strettamente anaerobiche ed in presenza di un adeguato isolamento termico, le temperature all'interno della massa di rifiuti possono raggiungere anche 35-45°C.

Sulla base dell'energia di attivazione, necessaria alla produzione di metano, è stato calcolato che la temperatura ottimale per tale processo è di circa 41°C.

4.3.4 Pezzatura

Le dimensioni delle particelle costituenti la massa eterogenea di R.S.U. possono avere effetti contrastanti sulla metanogenesi. Da una parte, infatti, la riduzione della pezzatura aumenta sensibilmente la superficie reattiva e di conseguenza il processo di idrolisi, con effetti potenzialmente molto rilevanti sul tasso di produzione del biogas.

4.4 Modelli di prospezione disponibili

La valutazione della produzione di biogas, 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, soprattutto, 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.

Nei successivi paragrafi si procederà, dopo alcuni brevi cenni sul processo di metanogenesi e sulla modellistica rappresentativa di tale fenomeno, alla descrizione analitica del modello adottato.

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.

I modelli sperimentali (empirici) considerano lo scarico controllato come una "black box", cioè un sistema caratterizzato esclusivamente dai valori di "input" (frazione organica biogassificabile) e da quelli di "output" (produzione di biogas). La funzione matematica che correla in modo ottimale gli "input" agli "output" viene generalmente definita sulla base di serie storiche di dati sperimentali.

I modelli stechiometrici sono basati su una reazione stechiometrica globale, in cui il reagente è costituito dai rifiuti, rappresentati mediante una formula chimica empirica, ed i prodotti della reazione includono metano ed anidride carbonica. I modelli stechiometrici si differenziano per il tipo di reazione globale adottata, per l'aver tenuto conto o meno di alcune componenti dei rifiuti e della sintesi cellulare dei microrganismi, ecc.

I modelli biochimici considerano la biodegradabilità delle diverse componenti dei R.S.U.; essi pertanto si basano su una o più equazioni di rimozione del substrato biodegradabile.

I modelli si differenziano per il tipo di cinetica adottata (generalmente del I ordine), per il numero di substrati biodegradabili individuati (uno indifferenziato o diversi), per l'aver tenuto conto dell'influenza di fattori importanti quali la temperatura dell'ammasso, l'umidità in situ, il grado di compattazione, ecc.

4.5 Descrizione modello BIO-7

La versione "7" risulta essere una ottimizzazione dell'approccio del modello previsionale BIO sviluppato in oltre 40 anni ed applicato in centinaia di casistiche.



Questa versione consente di considerare l'inserimento del massimo numero di variabili effettivamente rappresentative dell'ambiente di fermentazione e della tipologia del sistema di captazione.

Alcune variabili sono riferite ad informazioni precise, come ad esempio il quantitativo dei rifiuti conferiti, mentre altre sono assunte come "informazioni" tipologiche che hanno però la funzione di modificare lo sviluppo del calcolo.

Si prenda ad esempio la definizione della morfologia della discarica, che sicuramente incide sulla capacità produttiva del fenomeno di fermentazione e sull'efficienza di captazione del biogas. Non è possibile attribuire un valore "oggettivo" alla forma di una discarica ma è possibile scegliere tra alcune definizioni tipologiche che identificano meglio lo stato reale.

Il modello BIO-7 considera la caratterizzazione merceologica dei rifiuti in funzione della capacità fermentativa di ogni singola categoria di rifiuto smaltita in discarica, anno per anno. Per il calcolo specifico, sulla base delle informazioni disponibili, sono state considerate diverse categorie di rifiuto. Ogni caratterizzazione prevede una “differenziazione per assimilabilità” ad altre 11 sotto-categorie

“pilota” di rifiuti:

- Assimilabile organico domestico;
- Assimilabile organico grandi utenze;
- Assimilabile sfalci e potature;
- Assimilabile FORSU o sotto-vaglio;
- Assimilabile carta;
- Assimilabile cartone;
- Assimilabile altri cellulosici;
- Assimilabile tessili;
- Assimilabile legno;
- Assimilabile FOS Stabilizzata;
- Assimilabile Fanghi depurazione biologica.

Ogni categoria è stata inoltre assunta con distinti limiti probabilistici consentendo di ampliare la flessibilità di valutazione.

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 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 ogni singolo anno 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 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 una produzione di 40 anni dal termine dei conferimenti.

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.

4.6 Approccio probabilistico dei dati (Best e Worst Case)

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:

prospezione condizionata dall'applicazione di valori "ottimistici" (nel senso della massima produzione di biogas) a tutte le variabili non certe;

worst case:

prospezione condizionata dall'applicazione di valori "pessimistici" (nel senso della minima produzione di biogas) a tutte le variabili non certe.

4.7 Valutazione delle caratteristiche merceologiche dei rifiuti

Al fine di caratterizzare i rifiuti considerati nel modello previsionale BIO-7, verranno 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 valutazione sarà relativa alla "vecchia discarica" caratterizzata pertanto da conferimenti storici dove la tipologia era più assimilabile ai rifiuti "tal quali" senza pertanto pretrattamenti e/o stabilizzazioni.

4.7.1 Caratterizzazione merceologica vecchia discarica

La caratterizzazione qualitativa della produzione di rifiuti, ovvero l'identificazione dell'incidenza delle diverse frazioni merceologiche presenti nel rifiuto, è stata desunta sulla media dei dati merceologici messi a disposizione dal Comune di Sassari.

Ovviamente tali valutazioni sono riferibili a rifiuti prodotti prima del 2004 e quindi riferibili a sistemi di produzione e raccolta non attuali, ma la discarica di riferimento è stata riempita a partire dal 1996 e pertanto il riferimento merceologico deve essere aggiornato con questo periodo storico.

Si riporta di seguito una tabella con alcuni valori medi calcolati a seguito di una indagine merceologica svolta nella Provincia di Sassari.

CATEGORIE	VALORI MEDI CALCOLATI			
	Luna e Sole	Latte Dolce	San Giuseppe	MEDIA
	[%]	[%]	[%]	[%]
Rifiuti alimentari	29,8%	24,3%	24,8%	26,3%
Rifiuti da giardino	10,6%	12,2%	3,8%	8,8%
Carta	13,7%	15,6%	20,2%	16,6%
Cartoni	1,4%	4,9%	4,2%	3,6%
Legno	1,0%	1,8%	1,0%	1,3%
Tessili	2,5%	1,5%	3,6%	2,6%
Plastica	23,5%	18,8%	26,7%	23,0%
Vetro	4,0%	9,0%	3,4%	5,5%
Inerti	3,3%	2,4%	2,8%	2,8%
Pannolini/assorbenti	2,5%	4,5%	3,9%	3,6%
Metalli	6,3%	4,6%	4,1%	5,0%
RUP	1,4%	0,4%	1,4%	1,1%
TOTALE	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Caratterizzazione merceologica dei “vecchi” rifiuti

Sulla base delle elaborazioni svolte si riportano di seguito i dati inseriti nel modello di calcolo

Composizioni merceologiche rifiuti vecchia discarica

Valutazione merceologica	Best Case	Worst Case
Rifiuti velocemente putrescibili (RVP)	33,17 %	29,44 %
Rifiuti lentamente putrescibili (RLP)	21,33 %	18,02 %

Come evidente la porzione della componente organica passa da una incidenza complessiva (somma RVP+RLP) del 62,61% (caso ottimistico Best Case) ad una incidenza del 39,35% (caso pessimistico Worst Case) evidenziando l'importanza dell'approccio differito.

4.8 Umidità interna alla discarica

La valutazione dell'umidità interna alla discarica e quindi l'umidità dell'ambiente nel quale si sviluppa il fenomeno fermentativo è importante per la finalità del presente studio. Tale fattore determina la cinetica del fenomeno di decomposizione e quindi la velocità di produzione del biogas espressa come tempo di semi-trasformazione, cioè il tempo entro il quale il fenomeno dimezza la propria capacità produttiva di biogas.

Con l'applicazione del modello BIO-7, anche per l'umidità interna è stata eseguita una valutazione specifica per ogni anno di conferimento.

In prima approssimazione è stata considerata, anno per anno, l'umidità del rifiuto smaltito in funzione delle componenti merceologiche e valutato l'incremento di umidità acquisito all'interno della discarica.

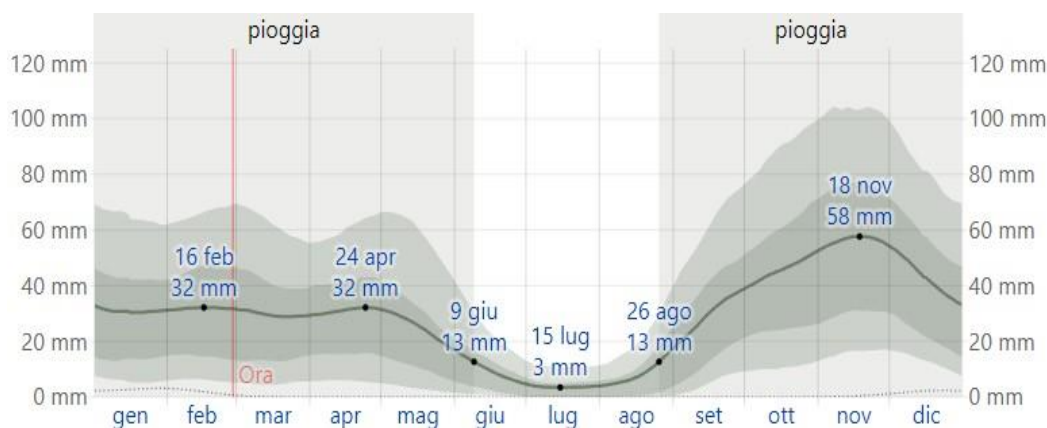
L'umidità della massa dei rifiuti è stata quindi considerata in base alla sinergia dei seguenti fattori:

- Umidità dei rifiuti al momento del conferimento e dopo compattazione;
- Umidità apportata da fenomeni naturali (pioggia e umidità relativa dell'aria);
- Umidità incrementata dalle procedure di gestione del percolato.

Per la valutazione dell'umidità "apportata" dalle precipitazioni meteo sono stati attentamente osservati e valutati i dati pluviometrici annui.

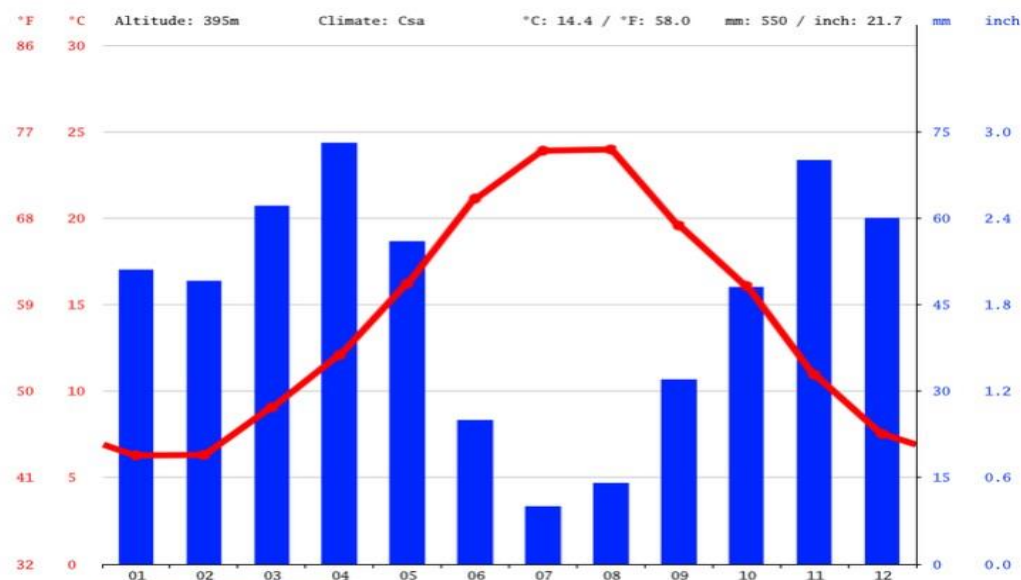
Dal sito Weather Spark.com sono state scaricate le valutazioni di precipitazione media annua ad Ozieri, si riporta di seguito il grafico della variabilità mensile.

Il dato di piovosità media annuale è nell'ordine di 345 mm.



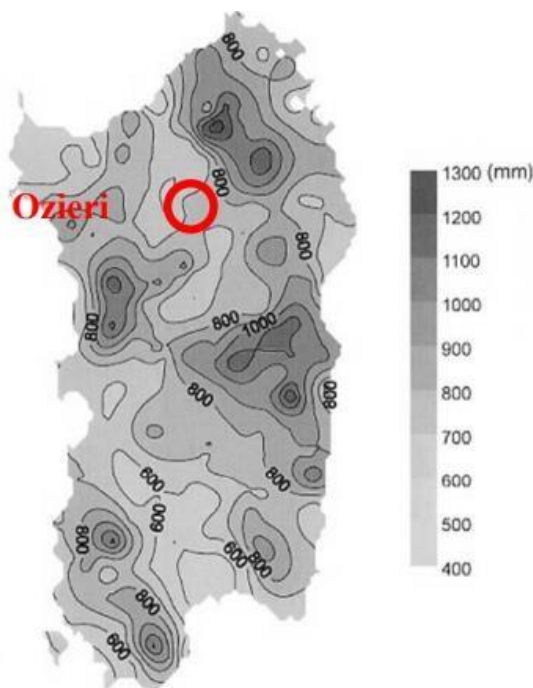
Dal sito ClimateData.org (grafico seguente) è stata desunta una piovosità media di 550 mm.

GRAFICO CLIMA OZIERI



Questi dati sono però generici e non sempre riferiti alle effettive aree di interesse. Da uno studio per la Regione Sardegna si riporta la seguente cartografia più sito

specifica per le aree della Sardegna. Per la zona di Ozieri si evidenzia che il valore medio si attesta su valori più elevati, nell'ordine di 700 mm all'anno.



Distribuzione delle piovosità medie annuali in Sardegna

Sulla base di tali premesse è stato preferito un inserimento del dato di piovosità nel modello BIO-7 variabile tra 600 (Best Case) e 800 (Worst Case) mm H₂O/anno. Il fattore umidità Kud determinato dal modello BIO-7 è variabile tra un minimo del 49,81% (Worst Case – anno 2021) e massimo di 53,28% (Best Case anno 2012).

4.9 Produzione specifica e coefficiente di produzione Kp

Applicando le variabili precedentemente descritte all'algoritmo di calcolo BIO-7 è possibile calcolare la produzione specifica per le distinte componenti RVP ed RLP e quindi quella complessiva.

La produzione specifica è quindi da intendersi come la complessiva capacità nel produrre biogas di una singola tonnellata di rifiuto con la composizione e le condizioni fermentative note.

Il dato ottenuto è però indipendente dalle condizioni effettive, ambientali e tipiche della discarica all'interno della quale avviene il fenomeno.

Lo stesso rifiuto smaltito in discariche di diversa forma, tipologia costruttiva, gestionale e localizzazione geografica ed ambientale è in grado di produrre differenti quantità di biogas.

Si riporta di seguito la tabella di sintesi delle produzioni calcolate dal modello BIO-7

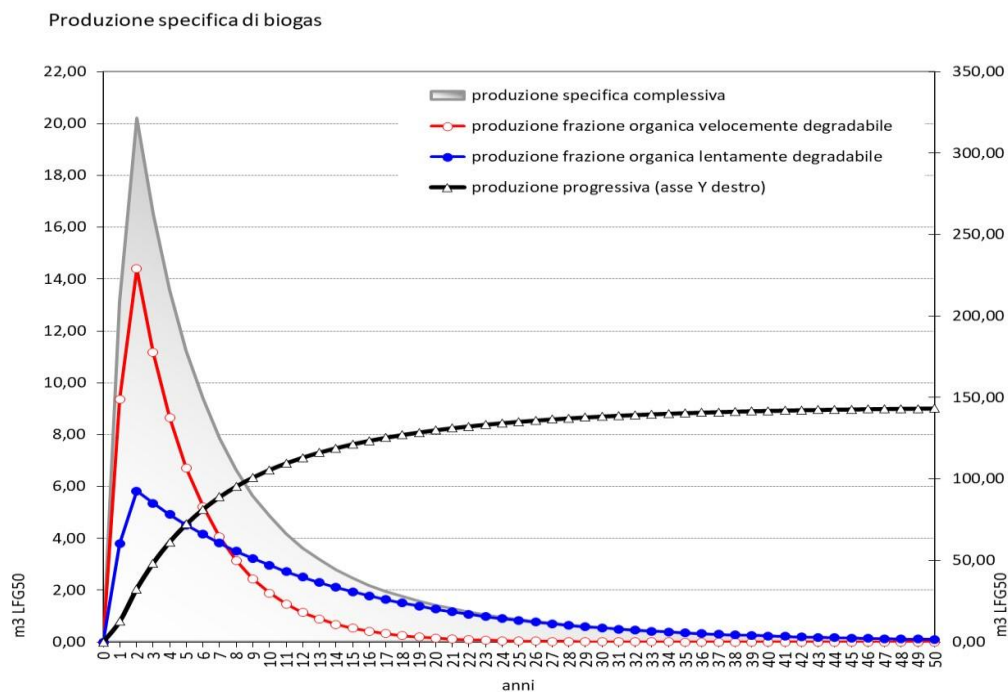
Produzione specifica biogas vecchia discarica

Dato di calcolo	Best Case	Worst Case
Produzione specifica RVP	73,59 Nm ³ /t _{RS}	60,85 Nm ³ /t _{RS}
Produzione specifica RLP	74,46 Nm ³ /t _{RS}	59,01 Nm ³ /t _{RS}
Produzione specifica totale	148,05 Nm ³ /t _{RS}	119,86 Nm ³ /t _{RS}
Coefficiente di produzione Kp	96,84 %	93,61 %
Produzione specifica corretta	143,37 Nm ³ /t _{RS}	112,20 Nm ³ /t _{RS}

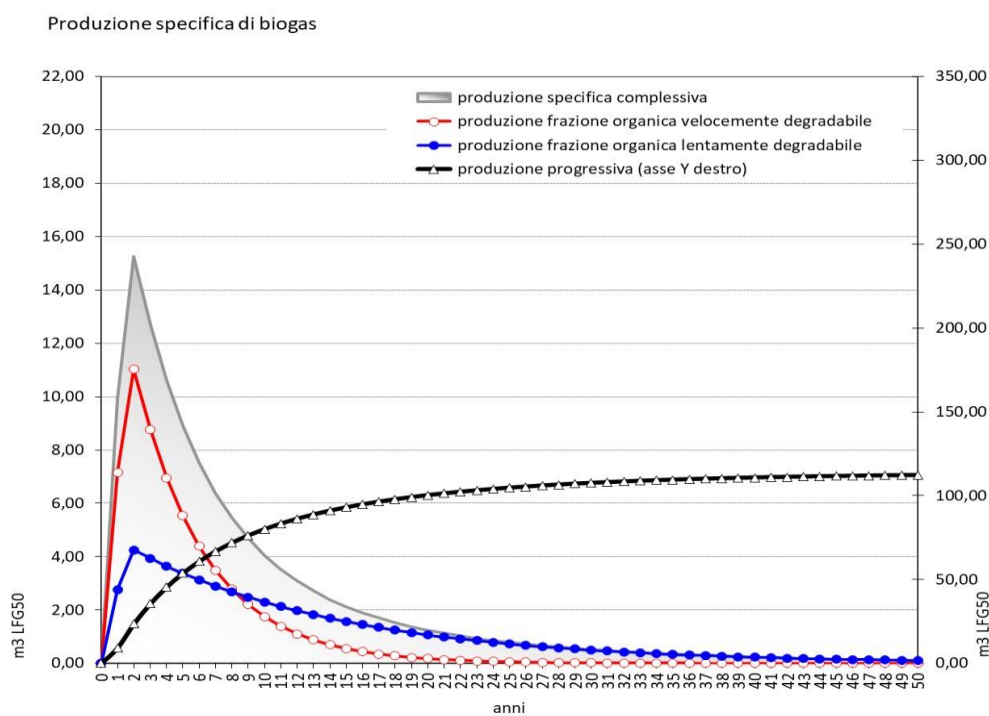
La produzione di una singola tonnellata di rifiuto oscilla tra minimi di 120 Nm³/h LFG50 (Worst Case) e massimi di 143 Nm³/h LFG50 (Best Case). Le due matrici dei rifiuti (RVP e RLP) hanno cinetica produttive molto differenti tra loro ma la produzione cumulata tende ad essere simile.

Il coefficiente Kp di produzione è solo leggermente inferiore al dato cumulativo in riferimento alla esposizione del rilevato.

Si riportano di seguito due grafici illustranti le produttività specifici e quella cumulata.



Produzione specifica Best Case



Produzione specifica Worst Case

4.10 Valutazione dei conferimenti dei rifiuti

Dopo aver valutato la produzione di biogas per ogni singola tonnellata di rifiuto, occorre effettuare la previsione sulla produzione dell'intera discarica (modulo pregresso). Per tale scopo è necessario sovrapporre le singole cinetiche produttive determinate nei capitoli precedenti ai quantitativi di rifiuti smaltiti nel tempo.

Sono pertanto stati considerati i dati "storici" a partire dal 1996 fino al 2004.

Questi dati sono stati desunti dalle dichiarazioni annuali.

La capacità complessiva dei rifiuti è stata stimata in 237.749 t.

Tabella conferimenti rifiuti

anno	conferimenti modulo pregresso (t)
1996	10.538
1997	15.503
1998	14.386
1999	25.430
2000	21.535
2001	21.863
2002	50.751
2003	37.222
2004	40.521
TOTALI	237.749

Sulla base di queste considerazioni sono stati sviluppati i calcoli di previsione della produzione "teorica" del biogas producibile dalla discarica in oggetto.

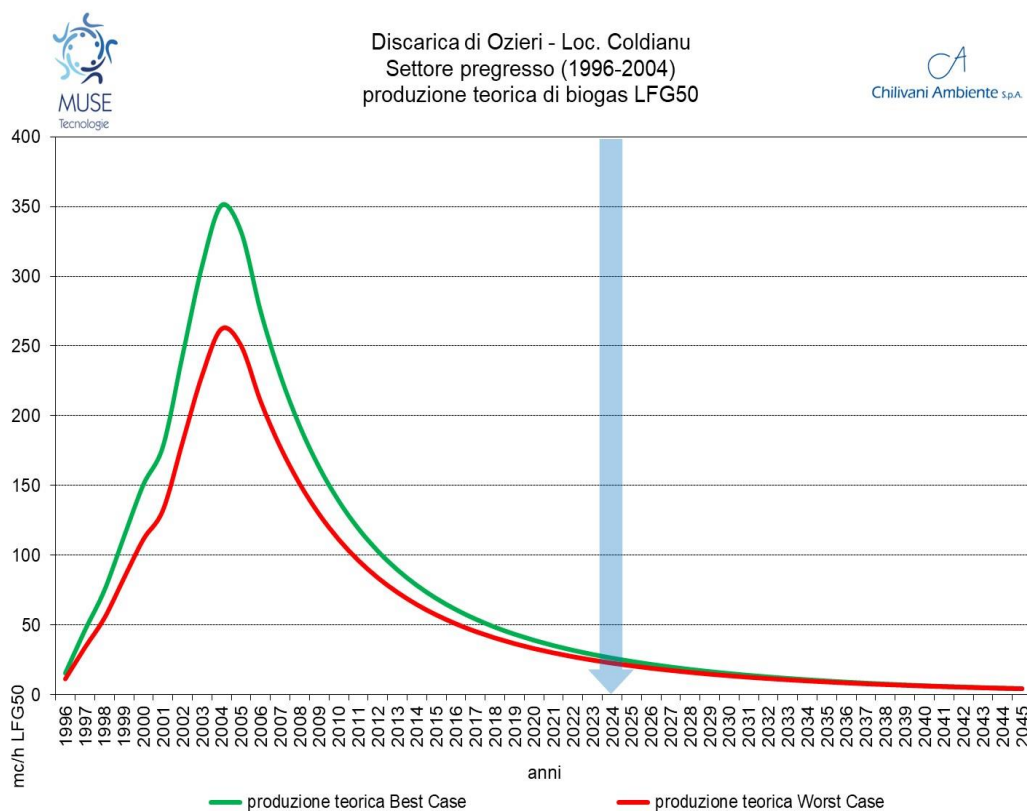
4.11 Calcolo della produzione complessiva di gas

Con l'applicazione del criterio di sovrapposizione degli effetti è possibile determinare le produzioni di biogas attese per l'impianto e definite dai due estremi

probabilistici Best e Worst Case moltiplicando le varie produzioni specifiche per gli anni di conferimento.

Di seguito si riporta il risultato della sovrapposizione in forma grafica ed in forma analitica (tabella).

Occorre precisare che l'unità di misura volumetrica del biogas (Nm^3/h) è espressa ad una concentrazione tipica di metano pari al 50%, con acronimo internazionale LFG50 (LandFill Gas @ 50% CH_4).



Produzione Totale biogas

Dalla osservazione del grafico si evidenzia come i primi anni di coltivazione della discarica siano stati maggiormente produttivi in termini di biogas mentre per gli anni più recenti le produzioni siano molto più modeste.

Per una valutazione analitica dei dati si riporta la tabella complessiva con le produzioni teoriche di biogas, nelle due ipotesi probabilistiche.

anno	Produzione Teorica Best C. TOTALE (Nm3/h LFG50)	Produzione Teorica Worst C TOTALE. (Nm3/h LFG50)
1996	15	11
1997	46	34
1998	75	55
1999	113	83
2000	151	111
2001	178	132
2002	243	181
2003	307	229
2004	351	262
2005	332	250
2006	275	210
2007	230	178
2008	193	151
2009	163	129
2010	139	111
2011	119	96
2012	103	84
2013	90	73
2014	78	65
2015	69	57
2016	61	51
2017	54	45
2018	48	41
2019	43	36
2020	39	33
2021	35	30
2022	32	27
2023	29	25
2024	26	23
2025	24	21
2026	22	19

2027	20	17
2028	18	16
2029	16	15
2030	15	13
2031	14	12
2032	13	11
2033	12	11
2034	11	10
2035	10	9
2036	9	8
2037	8	8
2038	8	7
2039	7	7
2040	6	6
2041	6	6
2042	5	5
2043	5	5
2044	5	4
2045	4	4

Come evidente il picco di produzione storica è avvenuto nell'anno 2004 con valori di flusso compresi tra 262 e 351 Nm³/h di biogas LFG50.

Per l'anno corrente 2024, dopo 20 anni dal picco, è prevista una produzione variabile tra 23 e 26 Nm³/h di biogas LFG50.

5 VALUTAZIONE EMISSIONI DIFFUSE

Il Committente ha richiesto di svolgere una indagine di valutazione delle emissioni diffuse del biogas dalla discarica in oggetto.

L'indagine oggetto della presente relazione è stata svolta in data 26/02/2024.

5.1 Premesse

La valutazione delle emissioni 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

Una 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

futuro 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. È 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.

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 una indagine conoscitiva sul comportamento della superficie della discarica.

5.2 Aspetti normativi e procedure di riferimento

Le recenti Normative Comunitarie e Nazionali confermano la necessità e l'importanza nel procedere alla valutazione delle emissioni diffuse.

5.2.1 Disciplinare discariche (Decreto Legislativo 36/2003)

Nell'allegato 2 del D.Lgs 36/03 relativo ai Piani di Sorveglianza e Controllo (non modificato dal successivo D.Lgs 121/20), 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.

5.2.2 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 quasi tutte le discariche per rifiuti non pericolosi rientrino 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 smi – 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 La direttiva comunitaria 96/61/CE, e la Normativa Italiana vigente, 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.

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.

5.2.3 Norme tecniche sul monitoraggio delle emissioni di biogas

Purtroppo, non esistono sul territorio Nazionale normative tecniche o linee guida idonee alla valutazione di un metodo analitico preciso e ripetitivo. Esistono invece alcune esperienze condotte da ricercatori ed Istituti Universitari che, pur essendo presumibilmente corrette, percorrono iter diversi e pertanto non sempre è facile

ricostruire una procedura standardizzata come invece è richiesto dalla Normativa IPPC. L'unica e più recente Normativa tecnica sull'argomento è quella emessa dall'Agenzia per l'Ambiente Inglese EA (Environment Agency) "**Guidance for Monitoring Landfill Gas Surface Emissions**".

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.

In carenza di metodologia ufficiale Nazionale 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 dei limiti di accettabilità per le emissioni in atmosfera di metano attraverso la superficie (tab 2.1), i quali sono di seguito esposti:

Table 2.1 Emission standards for different types of landfill zone

Type of zone	Surface emission standard
Any zone with permanent cap	Methane flux of 0.001 mg/m ² /second
Any zone with temporary or interim cap	Methane flux of 0.1 mg/m ² /second

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

L'adequatezza della Norma LFTGN07-V2- 2010 è stata più recentemente (febbraio 2016) convalidata in 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, il Politecnico di Torino, Enti locali (Province) e Agenzie Regionali per l'Ambiente (ISPRA, ARPA Veneto, Lombardia, Emilia Romagna, Abruzzo, Umbria, Sicilia).

Nella sezione 3 del documento si evidenzia la conferma dei limiti indicati dalla Norma di riferimento UK-EA LFTGN07-V2-2010 ribaditi dalla US-EPA americana. Il documento RECONNET riporta inoltre (figura 3.2) alcune emissioni tipiche di biogas da zone caratteristiche di discarica.

Come evidente nell'estratto di seguito riportato, il superamento delle predette soglie richiede l'attuazione, da parte del Gestore, di interventi correttivi per la riduzione delle emissioni.

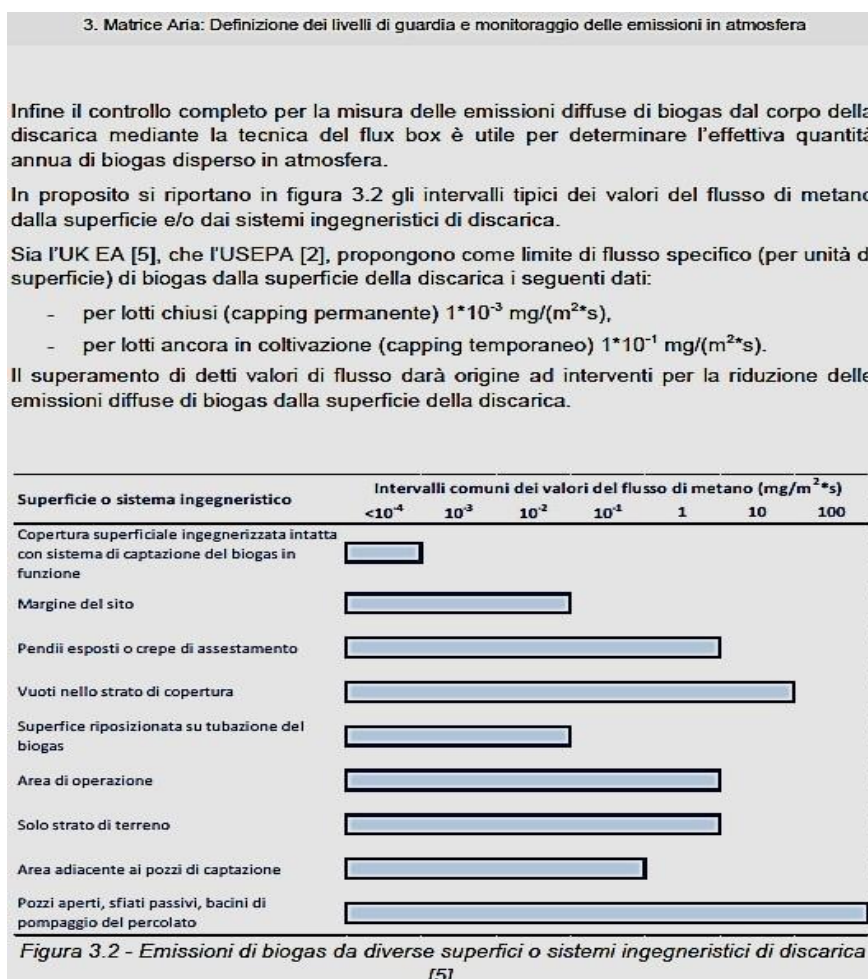


Figura estratta da Documento RECONNET (2016)

5.3 Descrizione delle indagini in campo

5.3.1 Metodologia di indagine

La metodologia proposta, 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.

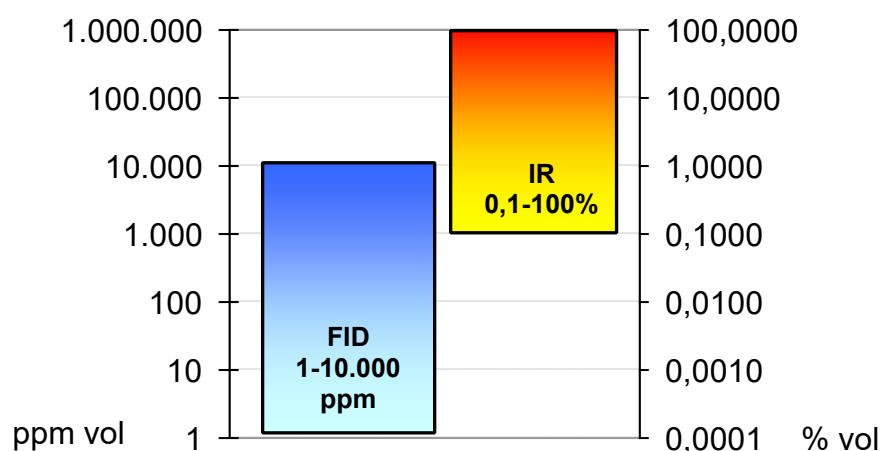
Data la necessaria precisione è stato pertanto utilizzato uno specifico **analizzatore FID** (Flame Ionization Detector) **Gastec** come specificatamente indicato dalla Norma e di seguito descritto.

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 messo a disposizione un **analizzatore a raggi infrarossi** (GA-2000 Plus Geotechnical Instruments);

Nella pratica sono state quindi utilizzate differenti tecniche di 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



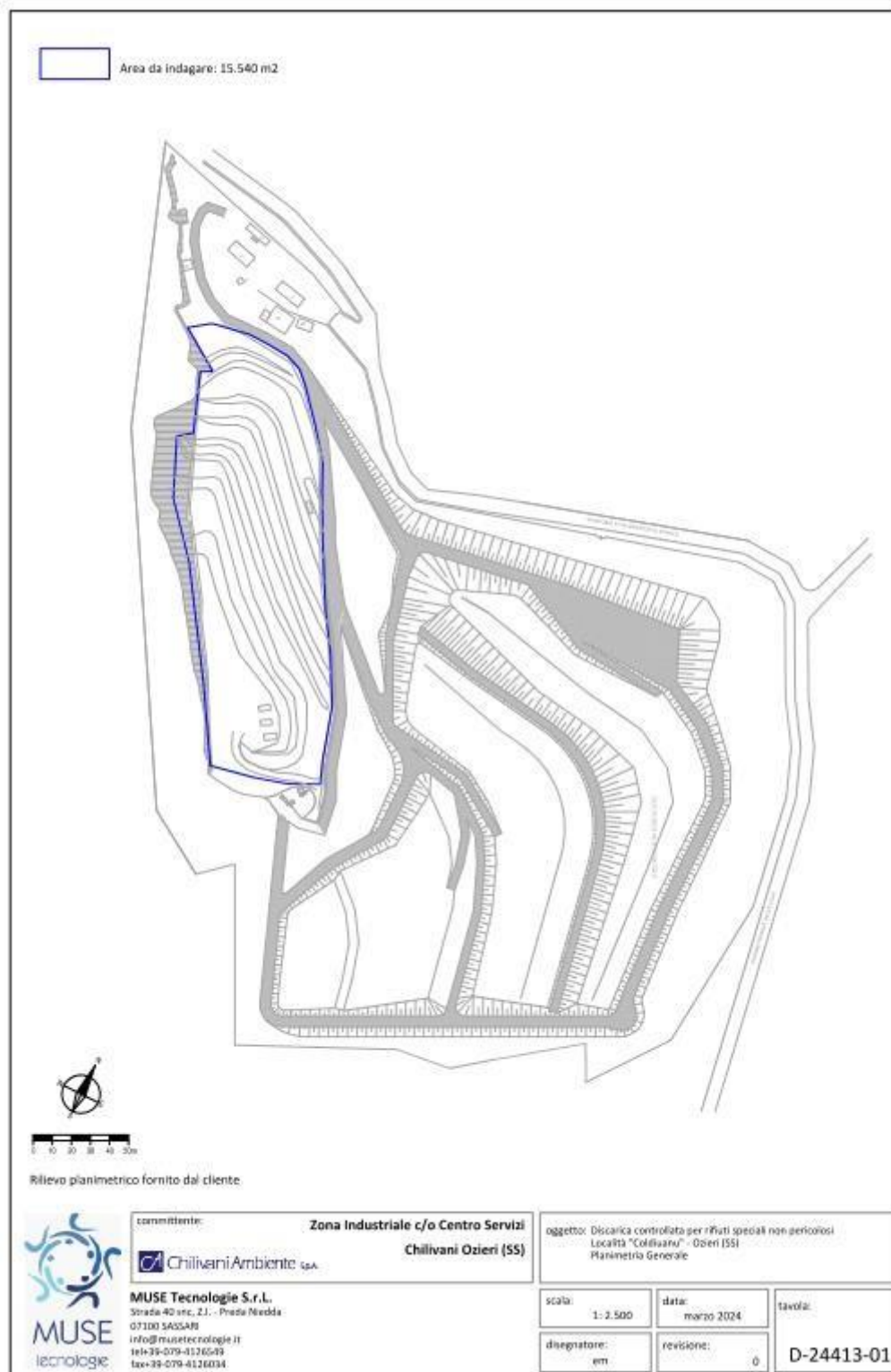
5.4 Osservazione dell'impianto

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 e 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.

Dallo sviluppo planimetrico dei rilievi messi a disposizione l'area oggetto di indagine (solo il modulo pregresso) si estende per circa 15.540 m²

Si riporta di seguito l'estratto della planimetria dell'impianto fornita dal Committente.



(estratto tavola D-24413-01)

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 comparabile.

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

Per la discarica in oggetto tutte **le superfici poste sotto osservazioni sono da considerarsi tra loro perfettamente omogenee** in quanto caratterizzate dalla stessa morfologia e dalla stessa tipologia di copertura (capping definitivo multistrato).

In conclusione, si assume come superficie di osservazione ZED, un'unica zona corrispondente all'intera superficie della discarica pari a circa 15.540 m².

5.5 Opere di captazione del biogas

Come premesso la discarica è dotata da tempo di un impianto di estrazione forzata del biogas. Il sistema di captazione prevede l'utilizzo di 10 pozzi di captazione collegati ad una stazione di regolazione posta sul perimetro est della discarica.

Per rete di captazione s'intende il sistema di dotazioni costruite all'interno e sopra la discarica atta alla estrazione forzata dei gas fermentativi prodotti dalla decomposizione dei rifiuti. Le linee secondarie collegano in parallelo i singoli pozzi **alla stazione di regolazione a loro volte collegata alla Centrale di Estrazione posta a sud della discarica.**

5.6 Prestazioni di captazione del biogas

Al fine di circostanziare l'azione di captazione forzata del biogas al momento delle indagini delle emissioni diffuse è stata posta sotto osservazione la prestazione della CE.

Dall'analisi dei dati, svolta durante le indagini, emergeva un'azione di captazione di circa 70 Nm³/h di biogas con concentrazione di metano non definita.

5.7 Definizione del numero dei punti di monitoraggio

La norma tecnica dell'Agenzia Inglese per l'Ambiente (EA – Environmental 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 15.540 m² considerata fornisce un numero indicativo di 25 rilievi (24,70).

5.8 Disposizione e caratteristiche dei punti di monitoraggio

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

- Le superfici di copertura della discarica sono tra loro assolutamente omogenee;
- La superficie media di riferimento per ogni punto di monitoraggio è stata calcolata dividendo la superficie osservata (15.540 m²) per il numero di punti determinati (25): il risultato determinato è stato di circa 620 m² per singola zona di riferimento;

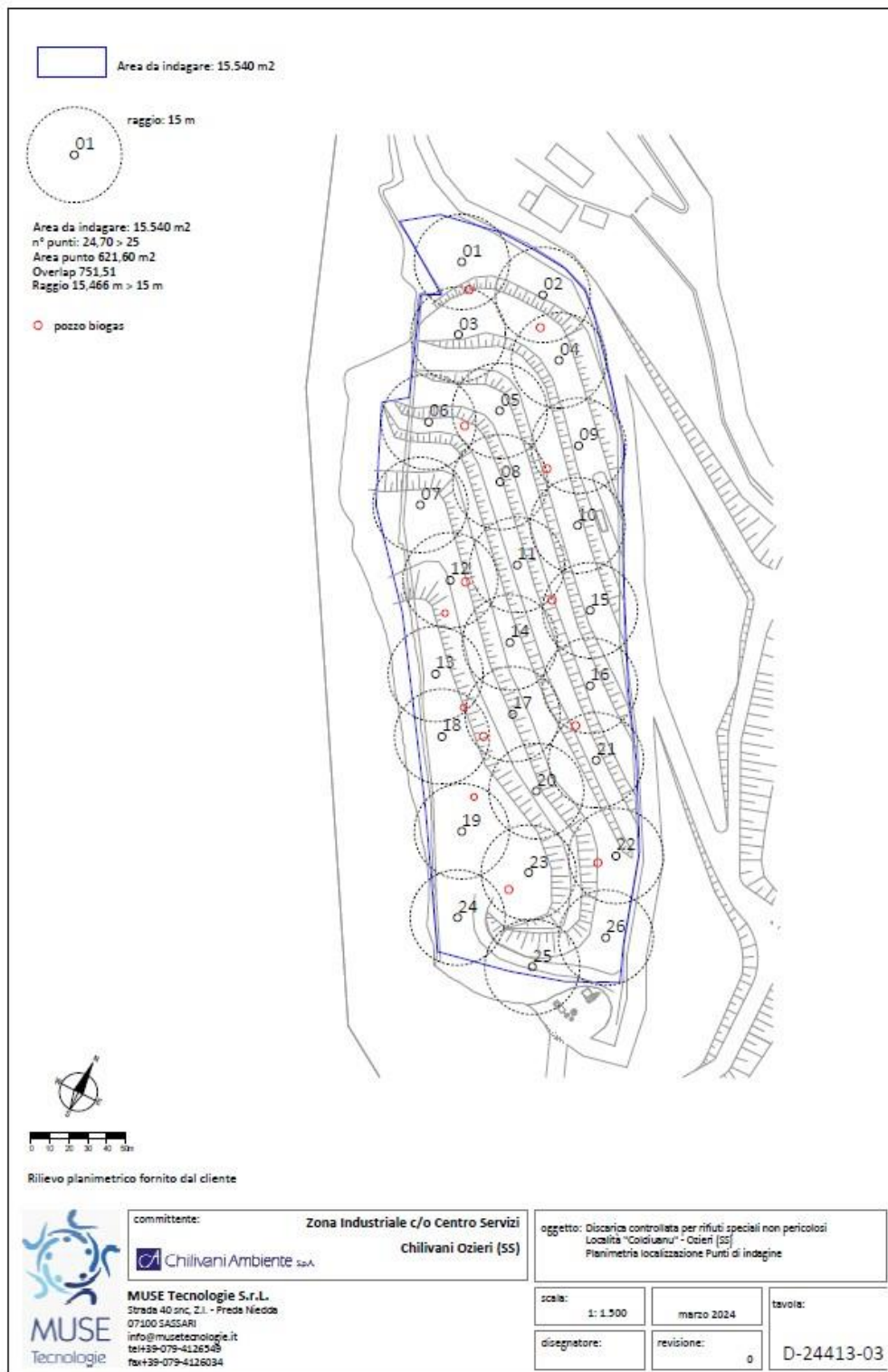
- La superficie media di riferimento è stata incrementata del “fattore di sovrapposizione (overlap)” dei raggi di influenza pari alla costante di 1,209. Il raggio di costruzione della superficie media di riferimento del punto di monitoraggio dovrebbe essere di circa 15 m;
- Costruendo graficamente i diversi cerchi di riferimento è stato determinato il numero utile dei punti di monitoraggio di seguito riportato per ogni zona ZED.

Tale applicazione del criterio di monitoraggio ha quindi consentito la distribuzione dei 26 punti di osservazione.

Nella tavola 03 allegata si riporta la disposizione dei punti di rilievo e la sovrapposizione con le dotazioni di captazione.

Come evidente la disposizione “casuale” dei punti di monitoraggio consente la valutazione di diverse situazioni di posizionamento dei punti rispetto alle dotazioni di captazione permettendo una valida rappresentatività delle situazioni di efficienza di captazione.

I punti di monitoraggio delle emissioni diffusi identificati nel corso della indagine erano stati georeferenziati sul campo mediante la dotazione GPS portatile inserita nello stesso strumento di rilievo 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.



Distribuzione planimetrica dei 26 punti di indagine (D-24413-03)

5.9 Condizioni ambientali al momento dell'indagine

La definizione delle condizioni ambientali nel momento dei rilievi è d'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 infatti 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.

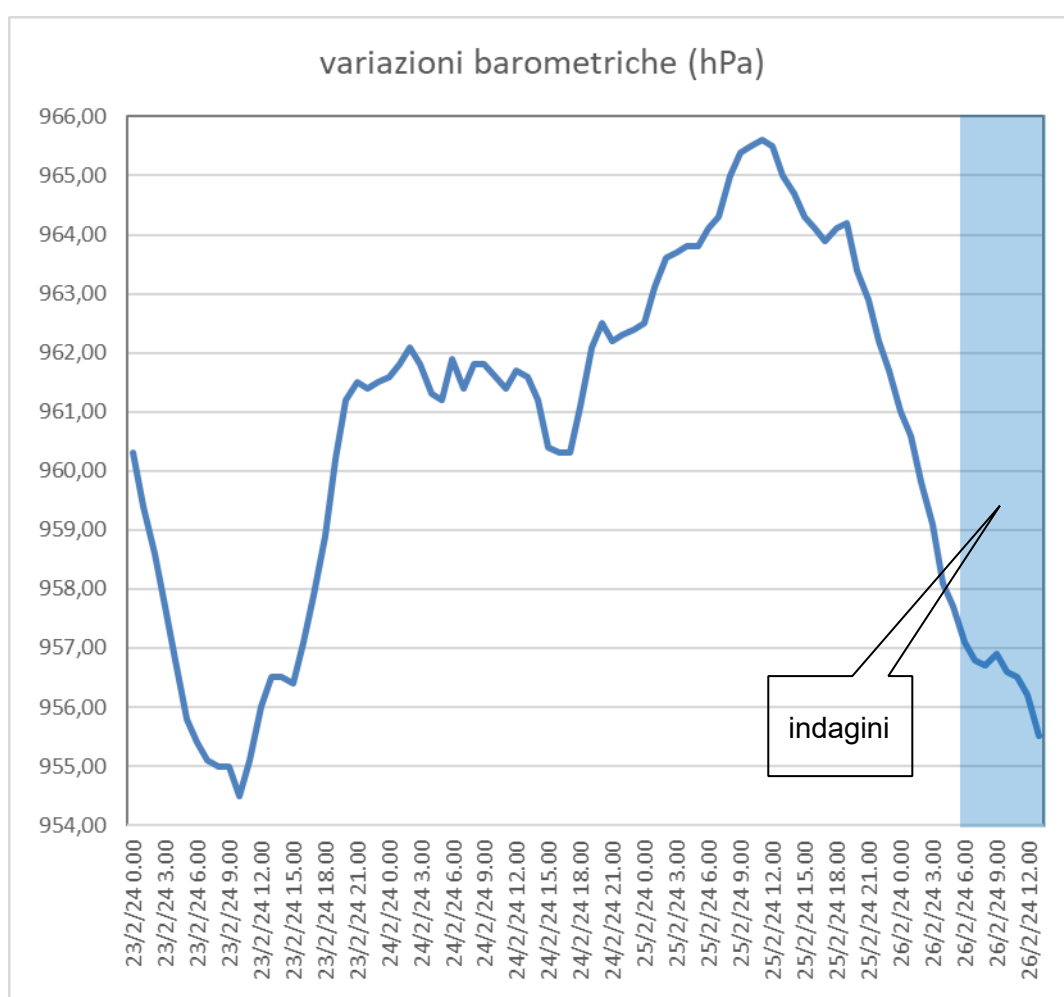
La temperatura influisce sia sulle condizioni di fermentazione delle sostanze organiche (almeno a livelli corticali), inoltre condizioni di gelo causano la dilatazione dei volumi di acqua contenuti nei terreni di copertura "compattando" gli alveoli superficiali e riducendo le possibilità di emissione.

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

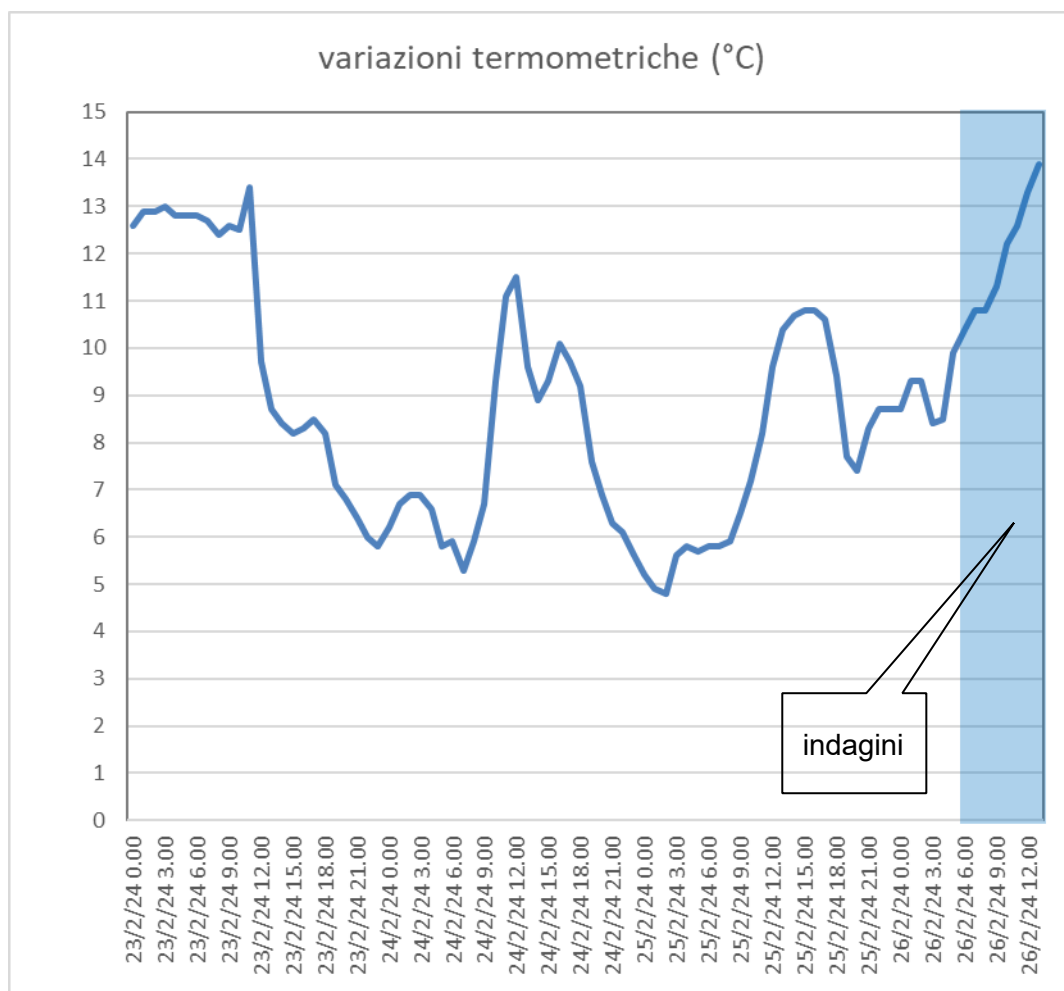
Le indagini sono state svolte valutando attentamente le condizioni ambientali presenti al momento del rilievo (26/02/2024) e nelle ore precedenti ad esso, per tale motivo si è provveduto all'acquisizione di alcuni dati meteorologici incidenti al momento del rilievo.

Al momento dei rilievi le condizioni meteo erano di cielo coperto ed a tratti piovoso. Per la valutazione delle variazioni intercorse prima dello svolgimento dell'indagine sono stati raccolti ed elaborati i dati della Centrale Meteo in dotazione alla stessa discarica.

La prima osservazione riguarda la barometria durante e prima le indagini; dal grafico seguente si evidenzia una consistente oscillazione della pressione atmosferica, specialmente nelle 24 ore prima dei rilievi con una regressione di ben 11 hPa. Tale variazione negativa può avere favorito un fenomeno emissivo spontaneo dovuto alle compensazioni dei gradienti pressori.



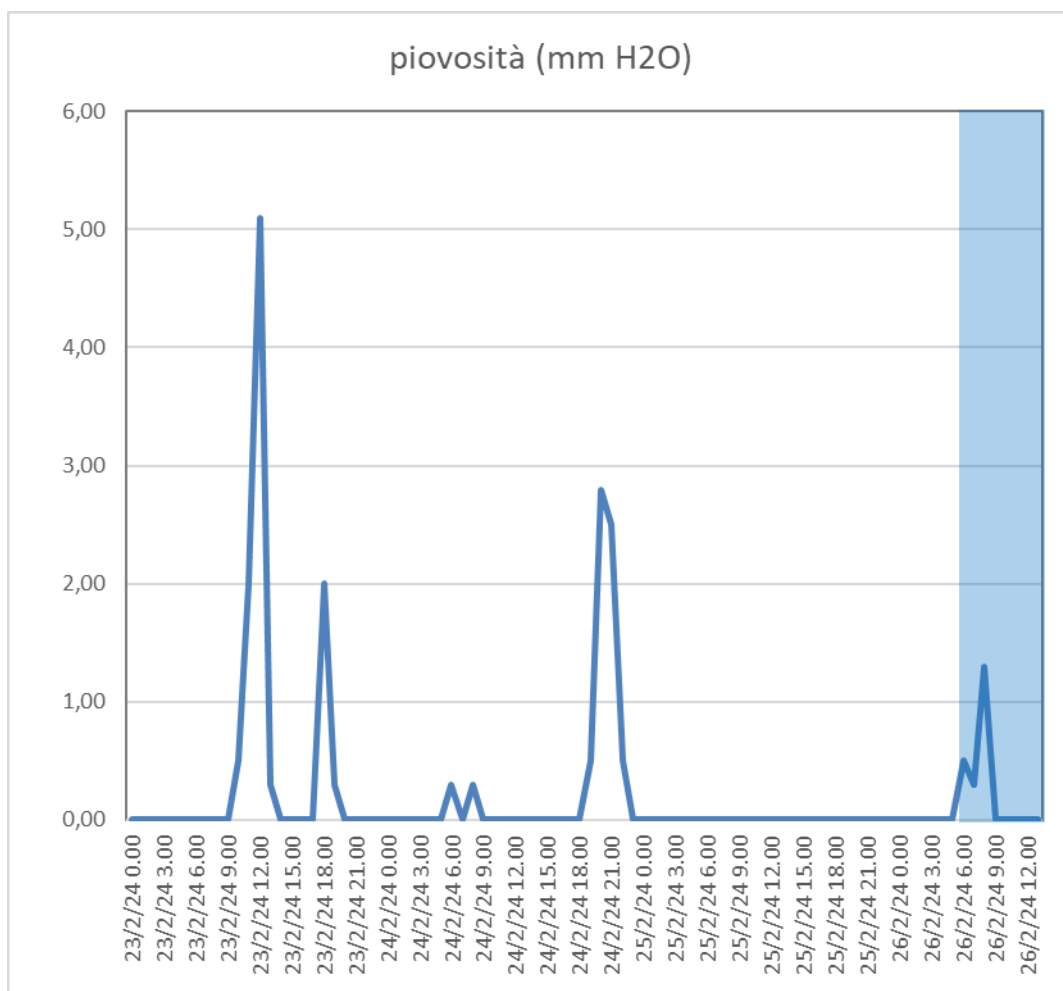
La seconda valutazione riguarda la valutazione delle temperature le quale non evidenziano particolari condizioni anomale od estreme; si osserva un valore di temperatura durante le indagini oscillante tra 10 e 14°C.



Infine, si valuta la piovosità del periodo. I dati raccolti evidenziano fenomeni limitati nella consistenza (massimo 5 mm H₂O) e distribuiti.

Durante i rilievi sono state osservate leggere precipitazioni.

Tali fenomeni, abbinati alle temperature non elevate, favoriscono il mantenimento di una ottimale umidità del terreno di copertura, incrementandone le capacità di tenuta alla diffusione dei gas.



Complessivamente le condizioni osservate, in particolare il calo barometrico, si ritiene possano avere leggermente incrementato il fattore potenziale di emissione diffusa del biogas.

5.10 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.

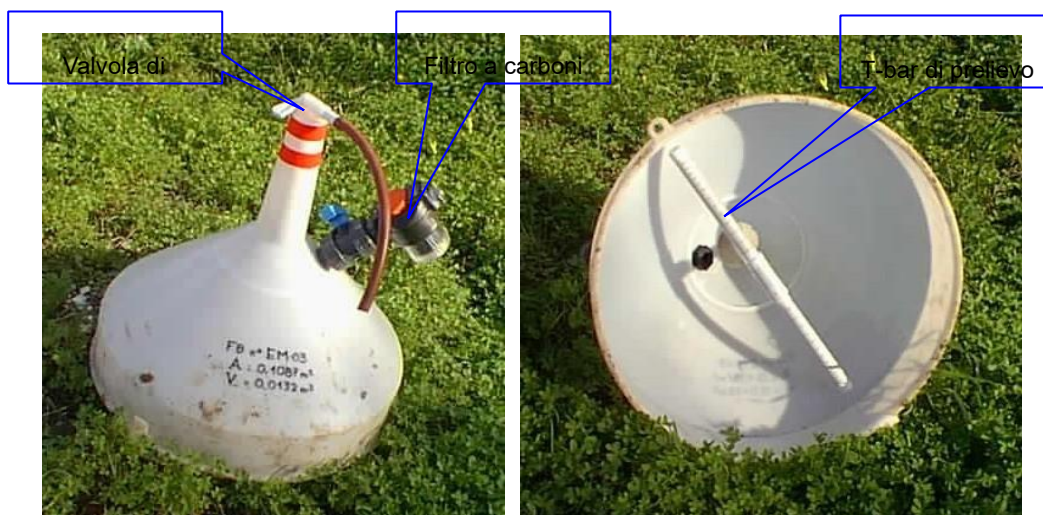
Occorre pertanto definire:

- 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.
- 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 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 utilizzata per i rilievi ha le seguenti dimensioni:

- Sigla convenzionale: FB-EM05

- Superficie di contatto: • 0,11040 m²
- Volume confinato: • 0,01104 m³



Esempio di Flux-box



Fase di rilievo e registrazione con Flux-box

5.10.1 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 **GASTEC** commercializzato dalla *LabService Analitica*.

Tale specifico strumento è ritenuto come idoneo dalla stessa Normativa Inglese. In generale il rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID) è uno dei rivelatori più diffusi e di uso più comune nella 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

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: 0-1.000 ppm, 0-10.000 ppm;
- 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 GASTEC MK5 utilizzato nei rilievi era dotato del numero di serie GT-248.

Al momento dell'analisi era coperto da certificato di calibrazione numero 01691818 del 17/01/2024 rilasciato dalla ION Science Italia e riferito alle concentrazioni di 10, 100 e 1.000 ppm di metano in aria.

L'errore di taratura era di circa 0,8%, inferiore alla accuratezza dichiarata del 10%.

5.10.2 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 **GA-2000 plus**.

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

6 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.

Le coordinate geografiche erano state memorizzate sullo strumento e comunque trascritte sulle schede per evitare la perdita del dato in memoria.

Nel corso di eventuali successivi rilievi sarà quindi sufficiente seguire l'indicazione del GPS per localizzare i punti di indagine.

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:

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

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

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 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$)

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 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$).

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 26) 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).

Si precisa che tale valutazione correttiva non è stata applicata quando i valori rilevati sono stati complessivamente inferiori a 10 ppm (0,1% del fondo scala). Per completezza i dati e le elaborazioni raccolti sul campo (senza variazione) sono riportati in tabella nella colonna "unità in volume".

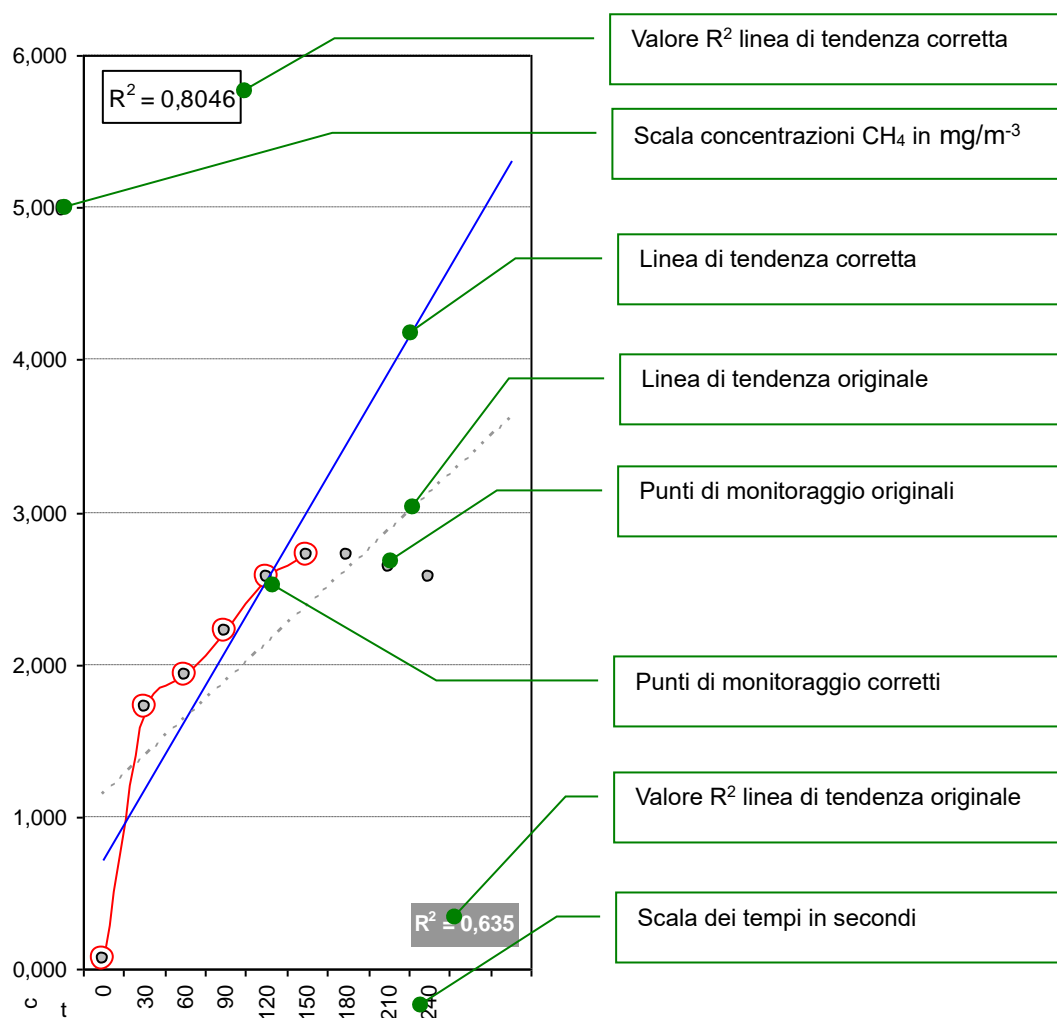
Tali dati volumetrici sono trasformati in concentrazione ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) e riportati nella colonna "unità di massa". L'elaborazione dei dati di massa viene riportata nel grafico con il simbolo rotondo più piccolo (○) e la linea di tendenza di tale curva viene rappresentata come tratteggiata, 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, ed i valori rilevati complessivamente superiori a 10 ppm, 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.

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 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{s}$

7.3 Risultati delle elaborazioni

I risultati delle 26 elaborazioni svolte hanno evidenziato concentrazioni di metano generalmente basse, mai superiori a 50 ppm.

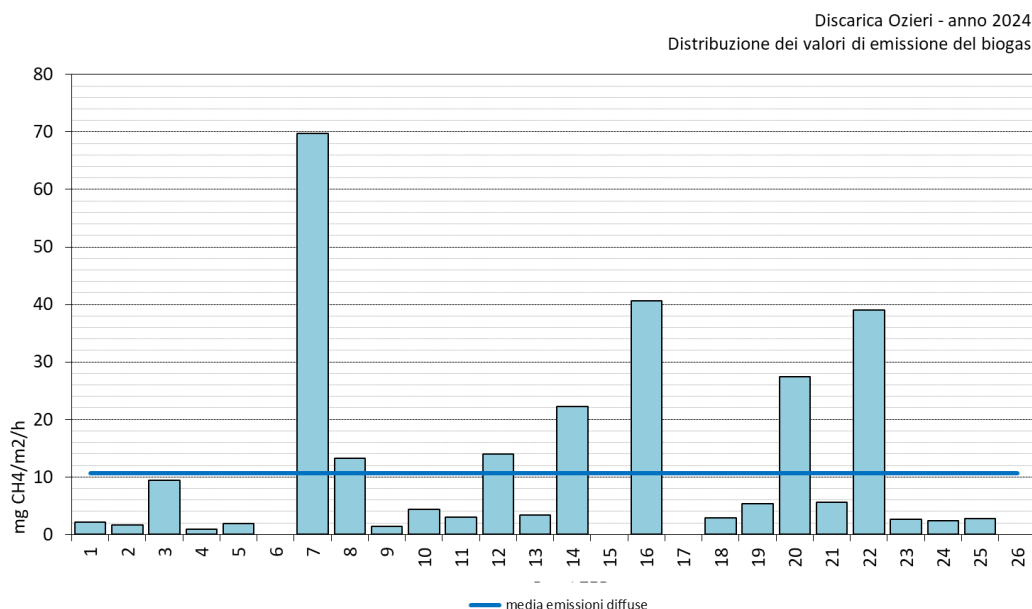
Sono state riscontrate alcune emissioni concentrate anomale riferibili a picchi isolati.

Occorre osservare che i dati anomali, qualora presenti ed inseriti nella media, tendono a fornire una valutazione complessiva non conforme alla realtà.

Si evidenzia inoltre che 4 rilievi (15%) hanno dato indicazione di emissione nulla.

La media dei 26 rilievi evidenzia un valore di emissione di **$2,95 \cdot 10^{-3} \text{ mg/m}^2/\text{s}$ (10,61 mg/m²/h).**

Nel grafico di seguito riportato si evidenziano le variazioni dei dati analizzati e la media reale delle emissioni.



È possibile confrontare questa media con i valori di riferimento proposti dalla Norma EA di riferimento:

- discariche con capping definitivo = $1 \cdot 10^{-3} \text{ mg/m}^2/\text{s}$ (3,60 mg/m²/h)
- discariche con capping provvisorio = $1 \cdot 10^{-1} \text{ mg/m}^2/\text{s}$ (360 mg/m²/h)

Osservando che le coperture presenti sono definibili “definitive”, e che non sono presenti superfici “provvisorie”, emerge che le emissioni osservate sono prossime ai limiti indicati per una copertura “definitiva”.

Occorre però evidenziare la presenza di alcuni dati decisamente più elevati rispetto alla media e tali da alterarne la significatività.

Sospendendo i soli dati eccedenti al 90^{mo} percentile (eliminazione dei 3 rilievi più elevati) si è rielaborata la considerazione di riscontro al limite proposto.

Dati eccedenti al 90° percentile:

□ Punto 07: $1,94 \cdot 10^{-2} \text{ mg/m}^2/\text{s}$

□ Punto 16: $1,13 \cdot 10^{-2} \text{ mg/m}^2/\text{s}$

□ Punto 22: $1,08 \cdot 10^{-2} \text{ mg/m}^2/\text{s}$

Questi soli tre punti (11% del totale) rappresentano, da soli, il 54% delle emissioni osservate.

Sospendendo l'analisi dei tre punti anomali si osserva che l'emissione complessiva scende a **$1,35 \cdot 10^{-3} \text{ mg/m}^2/\text{s}$ (4,86 mg/m²/h)**, valore quasi coincidente con la soglia identificata.

8 SINTESI ED ANALISI DEI DATI

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

8.1 Emissioni Diffuse

L'emissione media reale di metano della discarica, relativa a tutte le superfici osservate, è stata valutata come pari a $2,95 \cdot 10^{-3} \text{ mg/m}^2/\text{s}$.

Sospendendo i tre dati anomali (punti 7, 16 e 22) si osserva che il dato medio emergente si riduce a $1,35 \cdot 10^{-3} \text{ mg/m}^2/\text{s}$.

Per le discariche dotate di una **copertura definitiva** la Norma EA propone un riferimento di $1,0 \cdot 10^{-3} \cdot \text{mg/m}^2/\text{s}$.

Applicando i dati di emissione media all'estensione della discarica (15.540 m^2) si desumono i valori complessivi di emissione diffusa:

- Emissione media di metano: 46 mg/s

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.

Per volume orario si intende un flusso misurabile in m^3/h .

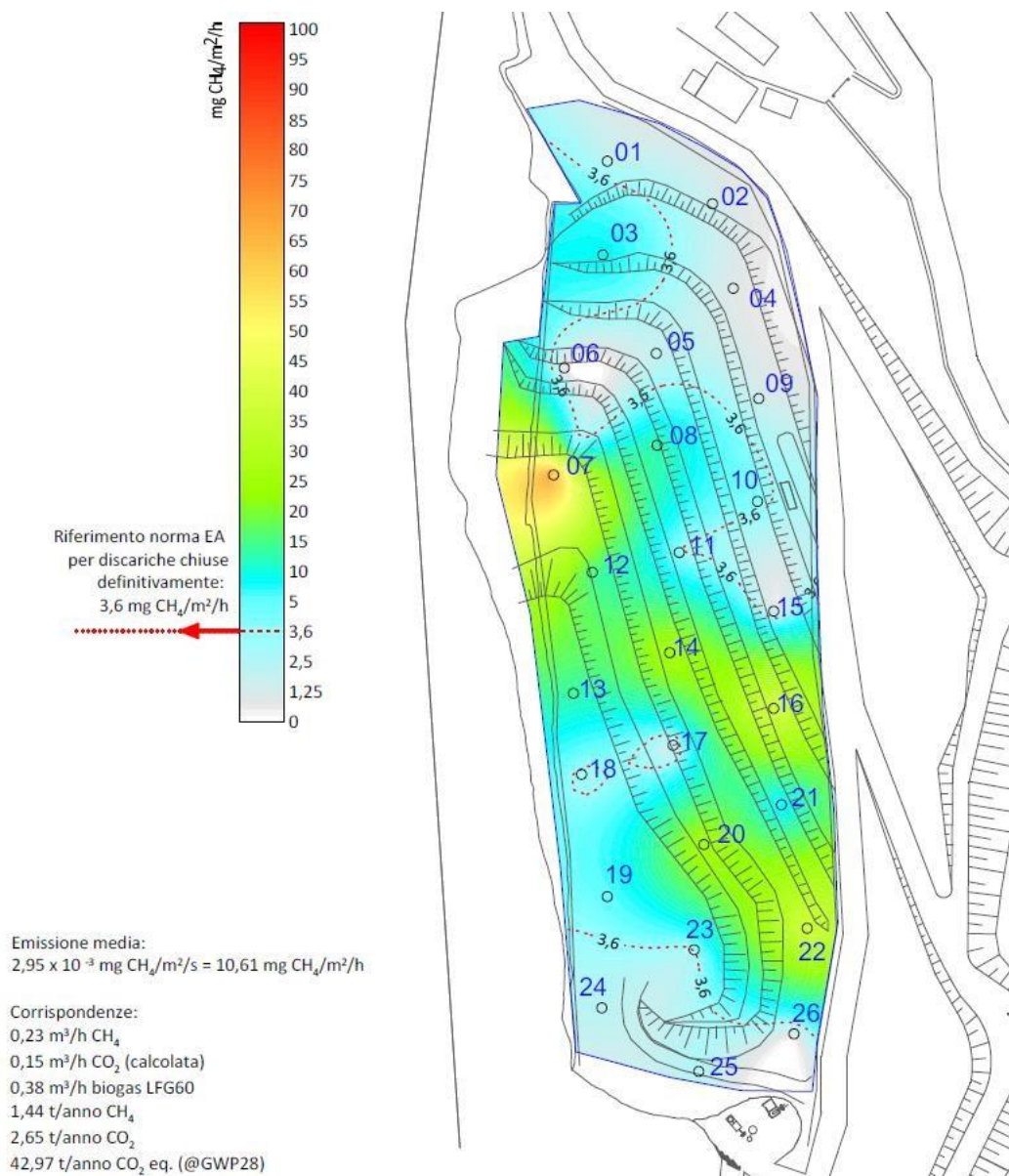
Dall'elaborazione dei precedenti dati è possibile definire tale dato come corrispondete a:

- Emissione media di metano: $0,23 \text{ m}^3/\text{h}$

Imponendo una presenza del metano nella miscela del biogas come pari al 60% e considerando la rimanente porzione (40%) come anidride carbonica è possibile calcolare l'emissione complessiva di biogas:

- Emissione media di anidride carbonica: 0,15 m³/h
- Emissione media di Biogas LFG60: 0,38 m³/h

Si riporta di seguito una rappresentazione isopotenziale delle emissioni di biogas.



Rappresentazione isopotenziale emissioni biogas (S-24413)

8.2 Riferimento IPPC

Come precisato nelle premesse la Norma IPPC (Registro 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 mg/s a t/anno:

- | | |
|-------------------------------|-----------------|
| • Emissione di metano: | 1,44 t/anno |
| • Valore di riferimento IPPC: | 100 t/anno |
| • Valutazione conformità: | CONFORME |

Ne risulta quindi che **la situazione osservata risulta essere ampiamente inferiore al riferimento IPPC** di emissione diffusa per quanto riguarda il quantitativo di metano emesso **e non risulta quindi necessario procedere all’iscrizione del Registro PRTR.**

Per quanto riguarda la soglia di riferimento del biossido di carbonio (100.000 t/anno) indicata dall’IPPC non si ritiene ci siano problemi in quanto, pur essendo la CO₂ dotata di massa maggiore del CH₄, il riferimento è comunque 1.000 volte superiore a quello del metano. Sviluppando analiticamente tale concetto e assumendo come riferimento una miscela standard di biogas composta al 60% da metano e al 40% da anidride carbonica si desume, per calcolo, l’emissione media di anidride carbonica annua:

- | | |
|------------------------------------|-----------------|
| • Emissione di anidride carbonica: | 2,64 t/anno |
| • Valore di riferimento IPPC: | 100.000 t/anno |
| • Valutazione conformità: | CONFORME |

Tale verifica conferma quindi l'ampio margine rispetto alla soglia di riferimento della Norma IPPC per la dichiarazione PRTR.

8.3 Linee Guida Discariche Regione Lombardia e D.L. 121/20

Come premesso, sono utilizzabili come riscontro di sostenibilità ambientale, le linee Guida pubblicate dalla Regione Lombardia per la costruzione e gestione di discariche.

L'argomento biogas viene affrontato attentamente e 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 $0,001 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{m}^2/\text{h}$.

Lo stesso limite è stato recentemente ripreso e confermato dal D.Lgs 121/20 che introduce modifiche al Disciplinare Discariche (D.Lgs 36/03).

Per la superficie osservata di 15.540 m^2 l'emissione limite sarebbe quello di **$15,54 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{h}$** ($31,08 \text{ Nm}^3/\text{h}$ biogas LFG50).

Il riscontro dovrebbe però essere riferito alla produzione teorica, adeguatamente calcolata nella prima parte della presente relazione tecnica. Da tale calcolo emerge che la massima produttività prevedibile per il corrente anno dovrebbe essere pari a circa $26 \text{ Nm}^3/\text{h}$ biogas LFG50, già inferiore alla soglia indicata dalla Normativa vigente per il trattamento bio-ossidativo.

Ne consegue che **la normativa vigente ammetterebbe una bio-ossidazione in situ.**

Tale azione di trattamento viene generalmente svolta per tramite di alcuni elementi di ossidazione ed adsorbimento realizzabili direttamente (in situ) sulla copertura della discarica denominati BOIS (bio-ossidatori in situ).

8.4 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 (CH_4 e 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 (valore medio di letteratura) 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 ponderati elaborati precedentemente espressi si valutano pertanto:

$$\begin{aligned}\text{impatto annuo GHG} &= \text{t CO}_2 \text{ eq} = (\text{t CO}_2 + (\text{t CH}_4 * 28)) = = \\ &2,65 + (1,44 * 28) = 42,97 \text{ t CO}_2 \text{ eq}\end{aligned}$$

8.5 Altre equivalenze

Al fine di fornire altri riferimenti di comparazione meno analitici, ma di maggiore comprensione "non scientifica", si comparano le emissioni osservate con le

emissioni di due altri impatti generici presenti su tutto il territorio Nazionale: quello della zootecnia e quello del traffico veicolare.

Assumendo che un bovino di media taglia (manzo 500 kg) ha un'emissione media di metano in atmosfera di 500 litri/giorno è possibile calcolare che l'intera discarica ha un'emissione equivalente a quella di circa 11 bovini.

Assumendo invece che un'autovettura di media cilindrata e vetustà costruttiva ha una emissione media di 140 gr/km di anidride carbonica e che abbia una percorrenza media di 15.000 km/anno è possibile stimare una emissione annua di circa 2,1 tonnellate/anno di anidride carbonica equivalente.

Di conseguenza è possibile osservare che l'intera emissione di CO₂ osservata dall'indagine equivale al traffico di circa 21 autovetture.

9 CONCLUSIONI

Si ritiene che lo studio commissionato abbia adeguatamente sviluppato la tematica della prospezione produttiva del biogas e svolto sul campo l'indagine per la valutazione delle emissioni diffuse.

L'indagine ha evidenziato una presenza di emissioni diffuse di biogas molto limitata. La risoluzione della strumentazione utilizzata è stata comunque in grado di riscontrare le tracce di metano.

La media delle emissioni diffuse osservate evidenzia una situazione di bassa emissività, quasi conforme alla soglia proposta dalla Norma inglese di riferimento. La soglia di emissione osservata è inoltre nettamente inferiore al parametro IPPC e pertanto non è necessaria l'iscrizione al registro e-PRTR.

Le numerose comparazioni con Linee Guida, Normative vigenti ed altri parametri hanno confermato il basso impatto ambientale nelle condizioni osservate.

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