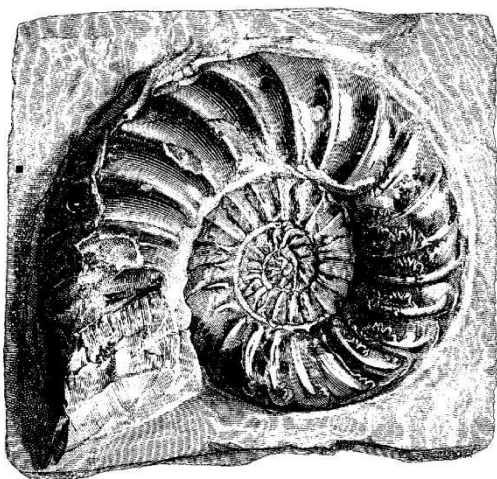




emendo



**CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE**

Consorzio Industriale Provinciale Oristanese
Via Marongiu – Porto Industriale
09096 Santa Giusta (OR)

**Discarica di servizio CIPOR
Località Masangionis - Arborea (OR)**

**Servizio di supporto tecnico-specialistico per la
valutazione, il monitoraggio e l'ottimizzazione
della gestione dell'impianto biogas**

**Det. 418/2025
CIG:BC08000282**

Relazione R-26527-01
Sarezzano 05/06/2026

Emendo s.r.l. Società Unipersonale

Capitale Sociale: € 10.000 i.v.

Sede legale ed operativa: Via Rocca Grue, 17 - 15050 Sarezzano (AL)

Codice Fiscale e Partita IVA 02352400069

Codice univoco destinatario del Sistema Di Interscambio (SDI): M5UXCR1
Italiana

Registro Imprese Alessandria 02352400069 R.E.A. n. 248240

e-mail certificata: emendo@legalmail.it

www.emendosrl.it - e-mail: info@emendosrl.it

tel./fax: +39-0131-884596

Associata Unione

Consulenti Ambientali





Indice:

1.	Premesse.....	3
2.	Attività di consulenza	4
3.	Descrizione generica dei siti.....	5
3.1.	Localizzazione geografica.....	5
4.	Generalità autorizzative e logica della sperimentazione.....	9
5.	Normativa di riferimento	12
5.1.	Applicazioni soglie di riferimento normativo.....	15
6.	Descrizione dell'impianto biogas	16
6.1.	Rete di captazione	16
6.2.	Rete di trasporto (secondaria e primaria).....	17
6.3.	Stazioni di regolazione.....	18
6.4.	Centrale di Estrazione.....	20
6.4.1.	Aspiratore	20
6.4.2.	Torcia di combustione.....	22
6.4.3.	Sistema di monitoraggio	24
7.	Analisi funzionamento pregresso.....	26
8.	Studio produzione del biogas.....	29
8.1.	Cenni descrittivi del fenomeno.....	29
8.1.1.	Fase aerobica	29
8.1.2.	Fase facoltativa anaerobica.....	30
8.1.3.	Fase metanigena anaerobica	30
8.2.	Caratteristiche chimico fisiche del biogas.....	31
8.3.	Prospezione produttiva - Modello BIO-8	35
8.4.	Caratterizzazione merceologica rifiuti smaltiti	36
9.	Conferimento rifiuti	41
10.	Umidità della discarica	42
11.	Variabili soggettive.....	45
12.	Produttività specifiche	48
13.	Produzione totale biogas	51
14.	Captabilità del biogas	56
15.	Prestazioni di captazione effettive	60
16.	Sperimentazione svolta.....	61
16.1.	Valutazioni sulla regolazione nel corso della sperimentazione	61
16.2.	Valutazioni sulla portata oraria nel corso della sperimentazione.....	64
16.3.	Valutazioni qualità del biogas nel corso della sperimentazione	68
16.4.	Valutazioni rapporto CH ₄ /CO ₂ nel corso della sperimentazione	70
16.5.	Valutazioni temperatura torcia nel corso della sperimentazione.....	72
16.6.	Valutazioni portata LFG50 nel corso della sperimentazione.....	74
16.7.	Conclusioni.....	76
17.	Opzioni di trattamento del biogas	77
17.1.	Scenario 1: recupero energetico del biogas.....	77
17.2.	Scenario 2: combustione in torcia del biogas	78
17.3.	Scenario 3: ossidazione biologica centralizzata del biogas (BOC).....	79
17.4.	Scenario 4: ossidazione biologica in situ del biogas (BOIS).....	80
17.5.	Scenario 5: libera esalazione del biogas	81
17.6.	Raffronto scenari	84
18.	Proposta di trattamento del biogas	87
18.1.	Proposta gestionale e di monitoraggio	89
18.2.	Proposta di modifica impiantistica per il funzionamento ciclico	90
18.2.1.	Temporizzatore funzionamento.....	90
18.2.2.	Controllo temperatura di combustione	90
18.2.3.	Controllo pressione rete biogas	91
19.	Conclusioni.....	93



1. Premesse

La scrivente Società di servizi EMENDO s.r.l., con sede in Sarezzano (AL), ha ricevuto incarico dal Consorzio Provinciale Industriale Oristanese con sede Via Marongiu – Porto Industriale 09096 Santa Giusta (OR) - mediante Determina n° 418/2025 del 01/12/2025 (CIG: BC08000282) per l'esecuzione di un servizio di supporto tecnico-specialistico per la valutazione, il monitoraggio e l'ottimizzazione della gestione dell'impianto biogas prodotto dalla discarica di servizio consortile sita in località Masangionis nel Comune di Arborea (OR).

Presso la discarica in oggetto è in esercizio un impianto di gestione del biogas dotato di 32 pozzi di captazione connessi a due stazioni di regolazione e ad una Centrale di estrazione e combustione in torcia ad alta temperatura.

L'impianto biogas, dopo circa quattro anni dal termine dei conferimenti in discarica, risulta manifestare difficoltà di funzionamento continuativo, per tale motivo il Consorzio CIPOR ha richiesto in data 06/06/2025 alla Provincia di Oristano ed alla ARPAS una autorizzazione temporanea per il funzionamento "discontinuo" verificabile con sperimentazione.

Tale Autorizzazione è stata concessa con Nulla Osta - DETERMINAZIONE N. 712 del 01/08/2025 – da parte del Settore Ambiente della Provincia di Oristano.

Successivamente, a seguito della volontà di estendere il periodo sperimentale per poter simulare più condizioni operative, l'Ente Provinciale, con DETERMINAZIONE 202 del 06/03/2026 prorogava di altri tre mesi (a far data dall'adozione del presente atto, la tempistica indicata all'art. 1 della determinazione n. 710 del 01/08/2025).

Ne consegue che il nuovo termine delle sperimentazioni sia stato prorogato al 06/06/2026.

La scrivente Società EMENDO ha specifica esperienza nel settore del biogas da discarica maturata in circa 50 anni di attività applicata su oltre 800 casistiche operative e servizi di consulenza svolti in quattro continenti.

Si ritiene pertanto di poter prestare adeguatamente il servizio di seguito dettagliato.



2. Attività di consulenza

Volontà del CIPOR è confermare la fattibilità tecnica di **una tipologia gestionale “discontinua” dell’impianto di estrazione e trattamento del biogas** mediante una oggettiva valutazione della situazione di fatto al fine di proporre agli Enti una soluzione tecnica operativa e gestionale adeguata alle esigenze ambientali e consortili e condivisibile con gli Enti di controllo ambientale.

L’attività di assistenza svolta per conto di CIPOR ha compreso le seguenti fasi:

- Analisi della situazione di fatto mediante lo studio dei documenti gestionali e della valutazione della consistenza impiantistica;
- Elaborazione di una prospezione produttiva del biogas basata sui conferimenti effettivi di rifiuti e sulla loro merceologia; definizione della produzione teorica attuale e futura e della captabilità;
- Assistenza alla conduzione sperimentale definendo le attività di gestione, monitoraggio e controllo dell’impianto biogas mediante schede di acquisizione dati da utilizzare nel corso del periodo di studio. Le attività sono state svolte dal personale CIPOR con la strumentazione già in loro possesso valutata come adeguata allo scopo specifico;
- Elaborazione dei dati raccolti e sintesi delle risultanze.

Al termine del periodo di studio tutte le informazioni sono state elaborate, tabulate e rappresentate con grafici ed ulteriori elementi di rappresentazione.

E’ stata quindi elaborata la seguente relazione tecnica conclusiva contenente:

- La descrizione dell’impianto biogas;
- La descrizione del periodo di monitoraggio e controllo precedente al periodo di studio;
- La descrizione delle attività di gestione, monitoraggio e controllo condotte nel periodo di studio;
- La rappresentazione dei risultati delle attività di gestione, monitoraggio e controllo condotte nel periodo di studio;
- La rappresentazione dello studio di produttività teorica del biogas e della sua captabilità con prospezione futura;
- La valutazione delle tecnologie gestionali applicabili in riferimento alle normative vigenti, alla autorizzazione AIA ed allo stato dell’arte;
- La proposta operativa per il periodo successivo per l’utilizzo del sistema “discontinuo” od altre attività complementari o alternative in funzione degli scenari produttivi e temporali.



La presente relazione viene redatta e consegnata al Committente (CIPOR) entro 30 giorni dal termine delle attività gestionali in modo da poter rispettare il termine dei 40 giorni concesso dalla determina provinciale.

3. Descrizione generica dei siti

L'impianto di trattamento dei rifiuti sito in località "Masangionis" nel Comune di Arborea.

3.1. Localizzazione geografica

L'area complessiva è localizzata a circa 6 km a Nord-Est del centro Comunale di Arborea e circa 13 Km a sud del capoluogo provinciale ad una quota sul livello del mare di circa 16 m s.l.m.

Le coordinate geografiche del sito (torcia biogas) sono le seguenti:

- Latitudine Nord: 39° 47' 41,11"
- Longitudine Est: 8° 38' 34,88"

Si riportano di seguito alcune immagini satellitari per un migliore inquadramento del sito.



emendo

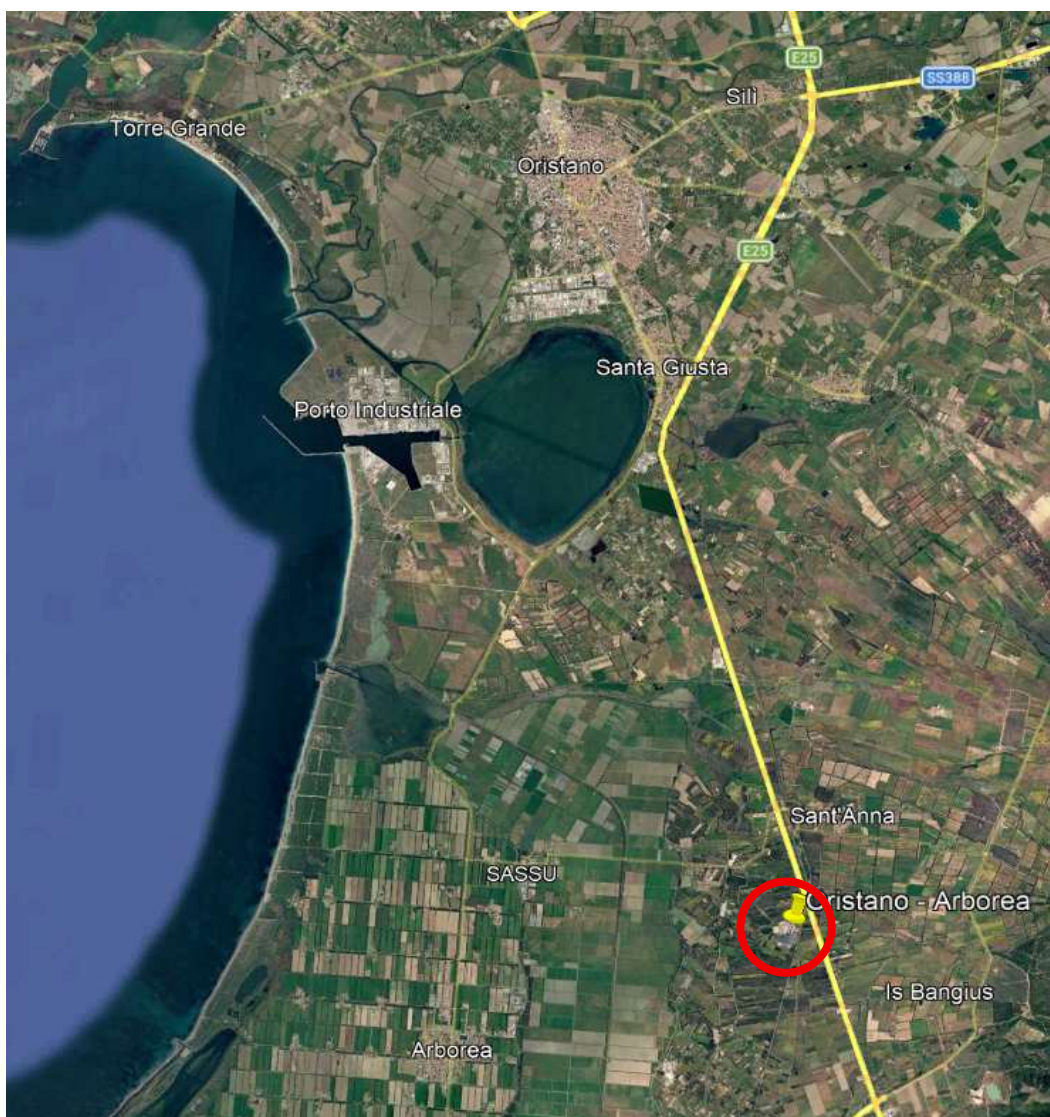


Foto satellitare Google Earth® - 40.000 m

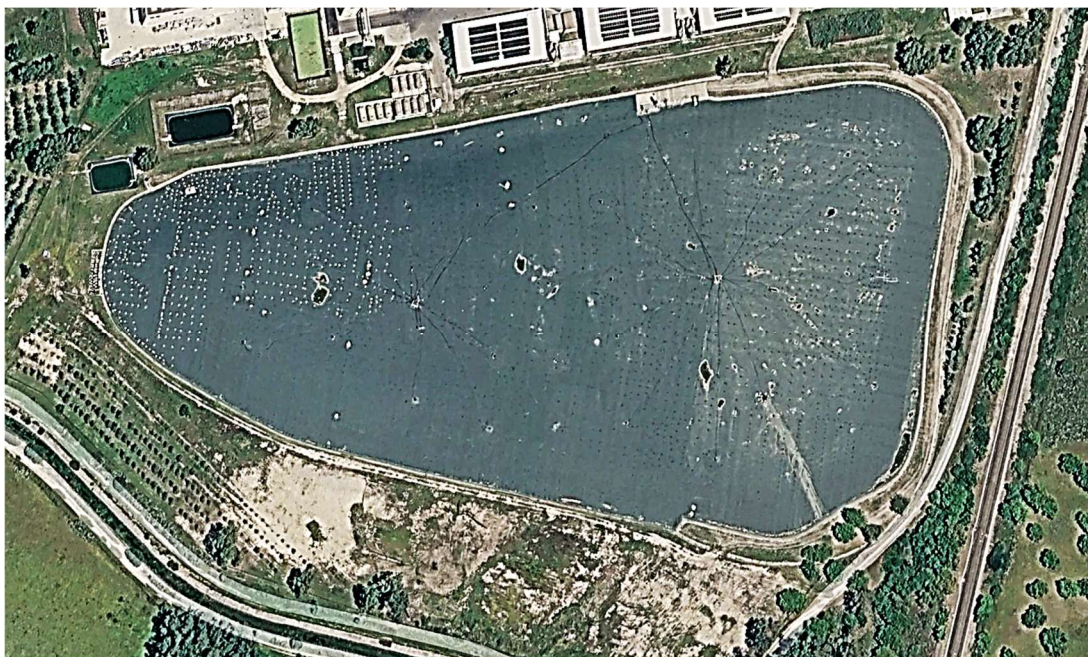


Foto satellitare Google Earth® - 1/5/2025 - 500 m



Foto aerea discarica in fase di copertura

La discarica, definita “di servizio”, è stata classificata e autorizzata ai sensi del D. Lgs. N° 36/2003 come discarica per rifiuti non pericolosi.

L’impianto è stato destinato allo stoccaggio dei residui di processo dei rifiuti non riutilizzabili o riciclabili a valle delle raccolte differenziate e dei processi di selezione.



I rifiuti smaltiti nel corso dei 10 anni di coltivazione (periodo 2012/2022) sono costituiti prevalentemente da: sovrvallo e sotto-vaglio stabilizzato provenienti dal trattamento del secco residuo avviato alla linea del TMB, scarti del compostaggio stabilizzati, ingombranti a smaltimento, scarti della piattaforma di valorizzazione e spazzamento delle strade.

In misura minimale sono stati anche smaltiti rifiuti provenienti da impianti di depurazione.

In considerazione della natura dei rifiuti smaltiti (biologicamente inerti in quanto secchi per natura o stabilizzati con processi aerobici), la quantità attesa di biogas era stata, fin in fase di progetto, limitata e di scarsa qualità.

Anche il modello previsionale sviluppato in un antecedente studio indicava una produzione moderata che avrebbe raggiunto il suo picco produttivo poco dopo la chiusura della discarica per poi calare progressivamente.



4. Generalità autorizzative e logica della sperimentazione

Con determinazione dirigenziale n. 131 del 18/02/2022 è stato adottato il provvedimento di riesame con valenza di rinnovo dell'autorizzazione integrata ambientale n° 248 del 31/01/2014 rilasciata al Consorzio Industriale Provinciale Oristanese.

Con successiva determinazione n. 436 del 20/05/2024 è stata aggiornata, per modifica non sostanziale, l'AIA n. 131 del 18/02/2022, con l'approvazione della linea di biodigestione ed è stata rilasciata l'autorizzazione alla realizzazione dell'impianto. Nell'allegato A "Norme Generali" della stessa D.D. n. 436, veniva riportata la prescrizione di seguito specificata:

"... comunicare alla Provincia, all'Arpas e al Comune di Arborea, entro 8 ore dall'evento, eventuali casi di anomalia di funzionamento e/o guasto dei sistemi di abbattimento e di emissioni in atmosfera accidentali. Nella comunicazione dovranno essere indicati:

- *il tipo di azione intrapresa al fine di ripristinare la corretta funzionalità dell'impianto;*
- *il tipo di lavorazione collegata;*
- *data e ora presunta di riattivazione. "*

Tale condizione, se riferita all'impianto di gestione del biogas, è abbastanza ricorrente **e non identificabile come anomalia o guasto**.

Per regolamentare più dettagliatamente questo tipo di evento, CIPOR, con nota trasmessa agli Enti (prot. n. 11670 del 06/06/2025) ha richiesto una sperimentazione semestrale **per documentare e sostenere scientificamente la pratica del funzionamento ciclico del sistema di captazione del biogas**.

La Provincia di Oristano, con determinazione n. 712 del 01/08/2025, ha rilasciato un Nulla Osta della durata di 6 mesi a procedere con il funzionamento intermittente della torcia di combustione del biogas prodotto dalla discarica di servizio senza la necessità di effettuare la comunicazione prescritto nel sopra riportato art. 7 – comma D – dell'Allegato A -Norme Generali – approvato con determinazione AIA n. 436 del 20/05/2024.

Nella sopramenzionata determinazione è stato richiesto uno studio specialistico dell'andamento della concentrazione del biogas, monitorato durante i 6 mesi, che proponesse **un sistema alternativo al funzionamento in continuo della torcia** e che prevedesse il sistema da adottare per la gestione futura del biogas quando lo stesso non raggiungerà più il tenore minimo per la combustione.

In un primo periodo di sperimentazione è stata definita e stabilita la programmazione degli interventi; sono stati predisposti ed attrezzati i vari punti di monitoraggio affini allo studio in oggetto.

Nel mese di settembre 2025, si è proceduto all'avviamento delle attività sperimentali.



Dai primi di ottobre 2025 si è proceduto con un monitoraggio settimanale della qualità del biogas nei 32 pozzi presenti in discarica al fine di verificarne l'incidenza sul sostentamento della combustione.

Con l'utilizzo di un rilevatore di Biogas 5000 della Geotech, ed indipendentemente dalla situazione operativa (aperto o chiuso) di ogni singolo pozzo si è monitorata la qualità del Biogas.

Il monitoraggio è stato effettuato sia sulla testa pozzo che sulle linee in ingresso alla stazione di regolazione presenti nei due collettori. I dati sono stati misurati anche sul collettore principale della stazione di regolazione, in maniera tale da monitorarne una media dei valori in uscita da entrambi i collettori.

In funzione della regolazione di ogni valvola e quindi dell'apertura, o meno, di ogni singolo pozzo, sono state monitorate la depressione e la qualità del biogas per ognuno dei 32 pozzi esistenti.

Dal 13 novembre 2025 si è convenuto di provare ad aprire anche i pozzi ritenuti "poco produttivi" in base ai dati riscontrati precedentemente purché avessero una ragionevole percentuale di metano.

Decorso il primo periodo di monitoraggio a cadenza settimanale si è ritenuto di ridurre tale frequenza nel caso non ci fossero variazioni di "allargamento" del numero di pozzi osservati.

Al termine di questa fase preliminare di regolazione ed osservazione di tutti i pozzi facenti parte della rete di estrazione del biogas si è concluso che **solo alcuni pozzi avevano la capacità di captare flussi variabili di biogas**. Si è pertanto deciso di escludere dalla captazione i pozzi assolutamente non produttivi (assenza di metano) mantenendoli in ogni caso sotto osservazione per valutare cenni di "ripresa".

A seguito di tale impostazione della logica sperimentale **si è potuto osservare che escludendo i pozzi non produttivi e tenendo gli altri pozzi in depressione e collegati alla centrale di aspirazione lo spegnimento della torcia avveniva ugualmente ed inevitabilmente**.

Dopo lo spegnimento del combustore necessitavano non meno di dieci ore affinché la concentrazione di metano ritornasse a crescere nel biogas tanto da consentire un riavvio della torcia. In questo caso l'impianto sosteneva la combustione solo per qualche giorno per poi tornare a spegnersi, nonostante la "selezione" dei pozzi più produttivi.

Occorre precisare che il combustore in oggetto è dotato di un sistema di sicurezza che blocca l'aspirazione dei gas quando la temperatura di combustione scende al di sotto di 850 °C, limite di legge previsto dal D. Lgs. 36/2003.



Inoltre, quale predisposizione temporanea alla sperimentazione, l'impianto è stato dotato di un temporizzatore che gestisce, dopo un certo intervallo di tempo programmabile, la riaccensione della torcia in totale autonomia.

Queste attività, pur istruttive e determinanti per il raggiungimento dei risultati della sperimentazione, hanno però comportato dei tempi operativi tali da superare la prevista durata semestrale.

Stante quanto sopra detto e al fine di procedere ulteriormente con lo studio, CIPOR ha richiesto con nota prot. n. 2238 del 29/01/2026 una ulteriore e temporanea modifica dell'Autorizzazione Integrata Ambientale, per prolungare di circa tre mesi, dalla data di scadenza precedente, la scadenza del termine sperimentale.

Nella richiesta si precisava in ogni caso che l'azione condotta, seppure sperimentale, **garantiva il trattamento del biogas evitando diffusioni incontrollate in atmosfera**, anche grazie al totale ricoprimento della discarica con telo in HDPE impermeabile.

Vista la richiesta trasmessa dal CIPOR, la Provincia di Oristano, constatando che lo studio specialistico affidato alla scrivente Società necessitava di ulteriori analisi quali-quantitative da effettuare in campo al fine di poter essere ultimato, con Determina Dirigenziale n. 202 del 06/03/2026 accoglieva la richiesta di proroga di ulteriori 3 mesi sulla tempistica indicata nella determinazione n. 712 del 01/08/2025, definendo inoltre che la relazione tecnica avrebbe dovuto essere trasmessa entro 40 giorni dal termine della sperimentazione.



5. Normativa di riferimento

Allargando il campo dei riferimenti normativi si ritiene utile valutare, oltre che le prescrizioni descritte nel precedente capitolo, anche le leggi e le regolamentazioni vigenti.

L'ambito dello studio sviluppato nella presente relazione si colloca nell'assetto normativo delle discariche, ovvero:

- la Direttiva Comunitaria 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti;
- il D. Lgs. 13 gennaio 2003, n° 36 “Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti” ed il suo aggiornamento D. Lgs. 03 settembre 2020, n° 121: “Attuazione della direttiva (UE) 2018/850, che modifica la direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti”;
- il D. Lgs. n. 152/2006 e s.m.i. “Testo Unico delle Norme in materia ambientale.

In particolare, in merito al D.Lgs 36/03 e 121/20, si fa riferimento alla gestione operativa e post-operativa delle discariche in relazione alla tematica “**biogas**” ed in particolare al punto 2.5 dell'allegato 1:

- “... Le discariche che accettano rifiuti biodegradabili devono essere dotate **di impianti per l'estrazione dei gas** che garantiscano la massima efficienza di captazione e il conseguente utilizzo energetico, ove questo venga ritenuto tecnicamente fattibile.”
- “... La gestione del biogas deve essere condotta in modo tale da ridurre al minimo **il rischio per l'ambiente e per la salute umana**; l'obiettivo è quello di non far percepire la presenza della discarica al di fuori di una ristretta fascia di rispetto.”
- “... Poiché il **naturale assestamento** della massa dei rifiuti depositati può danneggiare il sistema di estrazione del biogas, è indispensabile un piano di mantenimento dello stesso, che preveda anche l'eventuale sostituzione dei sistemi di captazione deformati in modo irreparabile.”
- “... È inoltre indispensabile mantenere al minimo il livello del percolato all'interno dei pozzi di captazione del biogas, per consentirne la continua funzionalità, anche con sistemi di estrazione del percolato eventualmente formatosi; tali sistemi devono essere compatibili con la natura di gas esplosivo, e rimanere efficienti anche nella fase post-operativa.”
- “... Il sistema di estrazione del biogas deve essere dotato di sistemi **per l'eliminazione dell'acqua di condensa, che può essere reimmessa nel corpo dei rifiuti**, in caso contrario, andrà trattata e/ o smaltita come rifiuto liquido in idoneo impianto.”
- “... Il biogas deve essere **di norma utilizzato per la produzione di energia**, anche a seguito di un eventuale trattamento, senza che questo pregiudichi le condizioni di sicurezza per la salute dell'uomo e per l'ambiente. **Nel caso di impraticabilità del recupero energetico la termodistruzione del biogas deve avvenire in idonea camera di**



combustione a temperatura $T > 850$ °C, concentrazione di ossigeno maggiore o uguale a 3% in volume e tempo di ritenzione maggiore o uguale a 0,3 s.”

- ***“... L’effettivo riutilizzo energetico è subordinato ad una produzione minima del biogas realmente estraibile caratterizzata da una portata non inferiore a 100 Nm³/h e da una durata del flusso previsto ai valori minimi non inferiore a 5 anni.”***
- ***“... Il sistema di estrazione e trattamento del biogas **deve essere mantenuto in esercizio per tutto il tempo in cui nella discarica è presente la formazione del gas** e comunque per il periodo necessario, come indicato all’articolo 13, comma 21;”***
- ***“... In presenza di una produzione di metano inferiore a 0,001 Nm³/m²/h, **sarà possibile far ricorso alla ossidazione biologica in situ, mediante l’utilizzo di biofiltri o l’allestimento di coperture biossidative** adeguatamente progettate e dimensionate.”***

Si osserva che il D.Lgs 121/20 introduce, rispetto al D.Lgs 36/03, due importanti concetti in riferimento alla gestione dei biogas delle discariche, specialmente per quelle nella fase di avanzata gestione post operativa (GPO).

Il primo concetto è quello del **“limite” dell’obbligatorietà al recupero energetico** definendo una portata minima di biogas “captabile” (*realmente estraibile*) di 100 Nm³/h a sua volta condizionato da un periodo di “disponibilità” di 5 anni necessari a verificarne (specialmente per gli impianti nuovi o i rifacimenti) la sostenibilità economica.

Il secondo concetto, basilare per lo scopo della presente relazione, è la **considerazione di sistemi alternativi alla combustione** (ossidazione termica) quando la produzione di metano raggiunge una soglia minima riferita alla unità di superficie.

In considerazione della “anzianità” della discarica è utile ricordare una regolamentazione, abbastanza recente, proprio sulla gestione delle discariche chiuse da tempo.

La Regione Lombardia, in riferimento all’art. 17-ter della l.r. n. 26/2003, introdotto con l.r. n. 18/2020, che definisce: *“... la disciplina tecnico-operativa per le discariche ante-norma, cessate, abusive, in gestione operativa o post-operativa e con gestione post-operativa terminata, nel rispetto dei principi di prevenzione e precauzione, di sostenibilità e proporzionalità, di ‘chi inquina paga’, di tutela dell’ambiente e della salute, nonché di corretta gestione del territorio, al fine di assicurare il coordinamento, da parte delle autorità competenti, della correlata attività amministrativa, secondo criteri di efficienza, efficacia ed economicità, fermo restando il rispetto dei principi generali di cui all’articolo 1 della legge 241/1990”*, con **deliberazione regionale n° XI/4423 (Seduta del 17/03/2021)**, ha approvato gli *“Indirizzi tecnico-amministrativi per la gestione delle discariche ante-norma, cessate, abusive, in gestione operativa o post-operativa.”*

In particolare, è di somma importanza il riferimento estrapolato da tale Norma, all’allegato di indirizzo, punto 2.2 “indirizzi tecnici” che definisce: *“... Laddove ci sia una emissione superficiale, ad impianto di estrazione spento o assente, di **biogas indicativamente pari o***



inferiore a $0,2 \text{ NI CH}_4/(\text{m}^2 \text{ h})$ e non ci siano accumuli in aree esterne potenzialmente pericolosi (con creazione di situazioni di rischio di esplosione), si può ritenere che il biogas sia scarsamente significativo”;

Un precedente riferimento alle emissioni di biogas “residue” era stato fornito sempre dalla Regione Lombardia In data 7/10/2014, con **DGR n° X/2461**, con **“le Linee Guida per la progettazione e gestione sostenibile delle discariche.”**

Tali Linee Guida (anche se poi state annullate dal TAR Lombardia con sentenza n° 522 del 17/03/2016) contenevano due elementi relativi a controllo delle emissioni del biogas.

Il primo elemento è 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 **$0,001 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{m}^2/\text{h}$** .

Si osserva che tale prescrizione è stata integralmente ripresa ed inserita nell’aggiornamento al D.L. 36/03 emesso con il D.L. 121/20, come sopra riportato.

La seconda nota , più affine alla tematica della presente relazione, è il limite ammesso come emissione “finale” (a copertura definitiva realizzata) di biogas in atmosfera pari a **$0,5 \text{ NI CH}_4/\text{m}^2\text{h}$** ($0,0005 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{m}^2/\text{h}$).

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

Come evidente il limite QFD della DGR 2461/14 ($0,5 \text{ NI CH}_4/\text{m}^2/\text{h}$) era poco maggiore al limite riproposto nella più recente DGR 4423/21 di ($0,2 \text{ NI CH}_4/\text{m}^2/\text{h}$).

Risalendo nel tempo in relazione alle regolamentazioni della gestione del biogas sulle vecchie discariche, occorre ricordare la **DGRV della Regione Veneto n° 995 del 2000** (oramai molto datata) la quale evidenzia che la libera emissione di biogas in atmosfera è ammissibile solo se **il flusso è inferiore a $10 \text{ m}^3/\text{h}$** .

Tale indicazione è però generica in quanto non fa riferimento al tipo di biogas (concentrazione di metano) né alla dimensione e superficie e tipo della discarica.

Il concetto interessante è comunque **la possibilità di una libera esalazione in presenza di modesti flussi di biogas.**

In riferimento al tema trattato, potrebbero essere ricordate anche le condizioni individuate dalle «Linee guida per le discariche controllate di rifiuti solidi urbani» (CISA, 1997) per poter considerare ultimata la gestione post operativa in termini di captazione del biogas ovvero: ***“... in tal senso l'estrazione del biogas deve continuare finché la concentrazione di metano risulti inferiore o almeno uguale allo 0,1% nell'atmosfera al contorno della discarica in almeno sei punti individuati in base alle condizioni meteorologiche prevalenti e per un***



periodo di almeno sei mesi; caratterizzazione analitica e quantitativa, effettuata con cadenza semestrale, del biogas in corrispondenza dei punti di “emissione” (in tal senso l’estrazione di biogas, quantificata da contatori volumetrici dell’aspirato e contatore di funzionamento del motore di aspirazione, dovrà continuare finché sia tecnicamente possibile).”

Questa valutazione è molto datata (29 anni) ed anacronistica, inoltre **il limite proposto è molto elevato** (1.000 ppm CH₄) in considerazione che trattasi di metano diffuso in atmosfera (fallout) e non in emissione.

5.1. Applicazioni soglie di riferimento normativo

In considerazione alle soglie espresse dalle diverse Normative e Linee Guida sopra esposte si sviluppano di seguito i flussi di riferimento relativi alla superficie esposta della discarica.

La superficie determinata è pari a 45.000 m² misurata sulle tavole di progetto e verificate sulle immagini satellitari di Google Earth®.

Le valutazioni di flusso sono espresse in Nm³CH₄/h/m², unità di misura ricorrente nelle varie Norme ed elaborata nei modelli di calcolo di seguito elaborati.

▪ Superficie emissiva:	45.000 m ²
▪ Soglia per la bio-ossidazione (0,001 Nm ³ CH ₄ /h/m ²):	45 Nm ³ CH ₄ /h
<i>equivalenti a LFG50 (CH₄ 50%):</i>	90 Nm ³ LFG50/h
▪ Soglia QFD – Quality Finale Discarica (0,5 NICH ₄ /h/m ²):	22,50 Nm ³ CH ₄ /h
<i>equivalenti a LFG50 (CH₄ 50%):</i>	45 Nm ³ LFG50/h
▪ Soglia significatività (0,2 NICH ₄ /h/m ²):	9,0 Nm ³ CH ₄ /h
<i>equivalenti a LFG50 (CH₄ 50%):</i>	18,0 Nm ³ LFG50/h

Si precisa che tutti i sopracitati riferimenti **sono riferiti alla “produzione”** del biogas riscontrabile con le varie tecniche di misura, calcolo o stima.

Per la sola soglia del recupero energetico viene invece fatto riferimento **alla “effettiva captabilità”** del biogas introducendo il concetto di “efficienza di captabilità” più avanti approfondito.

Come evidente l’applicazione delle varie soglie proposte dalle normative e regolamentazioni regionali consentono pienamente la disponibilità di un ampio scenario di confronti per la fattibilità di soluzioni differenti di trattamento dei biogas prodotti.



6. Descrizione dell'impianto biogas

Il sistema di captazione del biogas è basato su una filiera di dotazioni e reti con lo scopo di aspirare i gas dall'interno del corpo dei rifiuti della discarica e convogliarlo fino all'impianto di trattamento finale di ossidazione termica (combustione) presso una torcia ad alta temperatura.

Il sistema è composto da:

- Rete di captazione (pozzi);
- Rete di trasporto (secondaria e primaria);
- Stazioni di regolazione;
- Centrali di estrazione;
- Dotazioni di trattamento finale.

6.1. Rete di captazione

Come definizione, la rete di captazione è composta da tutte le dotazioni che, a contatto (diretto o indiretto) con i rifiuti, hanno lo scopo di applicare una depressione necessaria a richiamare e convogliare i flussi di biogas generati dalla fermentazione anaerobica degli stessi rifiuti.

La rete di captazione comprende quindi i pozzi specificatamente realizzati durante la costruzione delle discariche o successivamente mediante trivellazione.

Questi pozzi hanno diametri variabili normalmente compresi tra 600 e 800 mm all'interno dei quali sono state poste tubazioni in HDPE adeguatamente fessurate e allettate con ghiaia in funzione di dreno per la cattura dei gas ed il deflusso di eventuali liquidi (percolati).

La parte superiore dei pozzi è raccordata ad una "testa di pozzo" che si congiunge alla sonda in HDPE e che è attentamente sigillata agli strati superiori di copertura.

La testa di pozzo è dotata di una flangia cieca sommitale per l'ispezione del pozzo e da una derivazione laterale (DN80) dotata di valvola a farfalla per l'intercettazione dei flussi nei casi di manutenzione. Il controllo locale della funzione del pozzo è possibile mediante più punti di misura posti sulla flangia cieca o sulla derivazione laterale.

Mediante flangia e contro-flangia (DN80) la testa di pozzo è connessa alla rete di trasporto secondaria del biogas.

La rete di captazione complessiva è dotata di 32 pozzi

Si riporta di seguito una foto tipica del pozzo di captazione del biogas.



Testa di pozzo biogas emergente dalla copertura

6.2. Rete di trasporto (secondaria e primaria)

La rete di trasporto del biogas è generalmente suddivisa in due sezioni distinte: la rete secondaria, che collega le singole dotazioni di captazione alle stazioni di regolazione e monitoraggio, e la rete primaria, che collega le stazioni alle dotazioni di recupero energetico e trattamento.

La rete di trasporto secondaria è organizzata “in parallelo”, cioè ogni singolo pozzo è collegato alla stazione di regolazione.

La rete di trasporto secondario è generalmente costituita da tubazioni in HDPE De90 mm posate sulla copertura della discarica al fine da semplificarne la manutenzione.

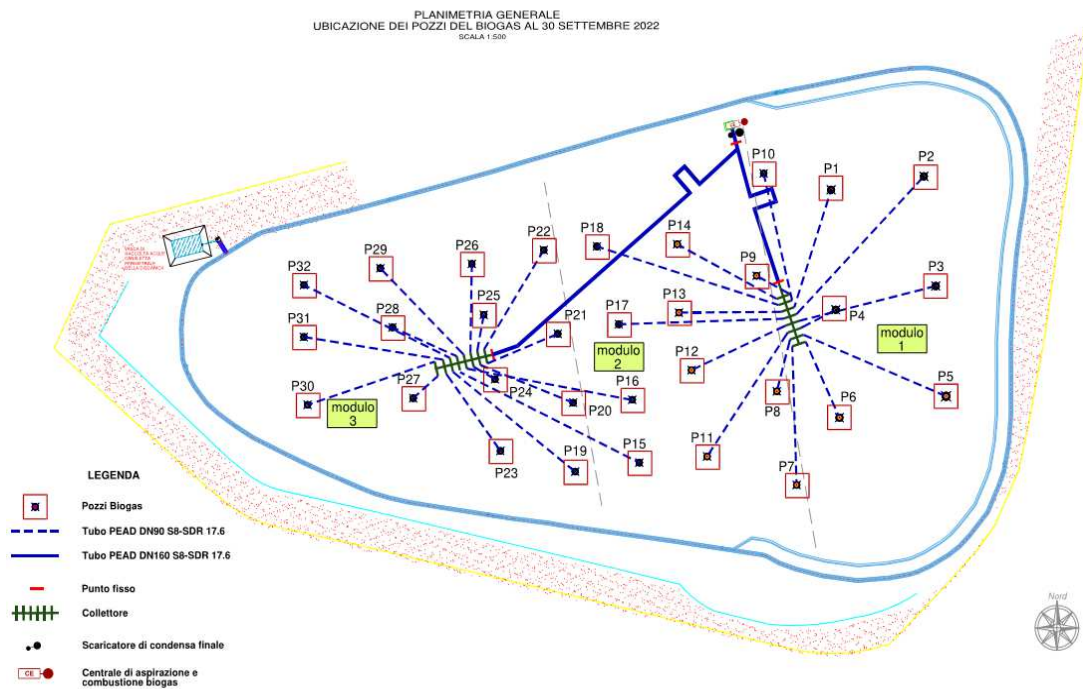
Le stazioni di regolazione sono tutte poste sulla sommità morfologica dell’impianto e i punti di captazione sono localizzati generalmente a quote inferiori; pertanto, le tubazioni della rete secondaria hanno tutte pendenza verso i pozzi.

Questa osservazione è importante poiché evidenzia che il deflusso dei liquidi formati all’interno delle tubazioni dal fenomeno di condensazione (il biogas captato è generalmente saturo di vapore), tendono a ritornare ai pozzi, in contro-corrente con il flusso del biogas.



Ne consegue che particolare attenzione dovrà essere applicata alle condizioni di deflusso (pendenze) di tali condense nel pozzo stesso.

Nella foto precedente si osserva infatti il particolare dello scaricatore di condense al piede della testa di pozzo.



Planimetria rete di captazione, trasporto e regolazione del biogas

La rete primaria invece ha lo scopo di trasportare il biogas dalle due stazioni di regolazione alla Centrale di Estrazione (CE).

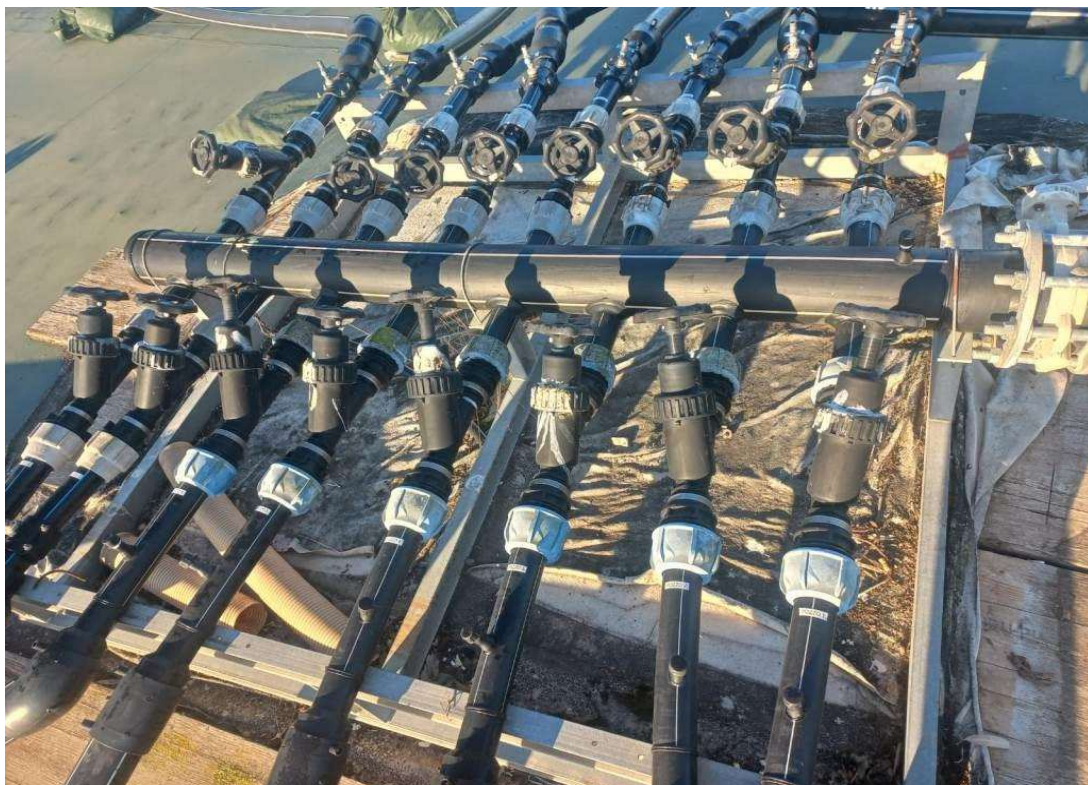
In questo caso le tubazioni sono di diametro maggiore ma sempre in HDPE.

6.3. Stazioni di regolazione

Alle stazioni di regolazione sono collegate in parallelo le singole dotazioni di captazione del biogas, presso tali stazioni sono quindi accentrate tutte le funzioni di monitoraggio, analisi e regolazione della depressione applicata ai pozzi che determina il flusso estrattivo.

Le due stazioni esistenti sono simili tra loro: l'ingresso delle linee secondarie avviene mediante un raccordo a compressione nel quale è interposta la valvola di regolazione per la modulazione del flusso.

Si riportano di seguito alcune foto del sistema di regolazione descritto.



Stazione di regolazione del biogas



Stazione di regolazione del biogas

Data la posizione sopraelevata rispetto ai pozzi delle stazioni queste non necessitano di un separatore di condense.



Ogni ingresso delle linee secondarie è dotato di un punto di misura al quale gli operatori di gestione collegano la strumentazione portatile per il monitoraggio della qualità del gas estratto e della depressione applicata.

Anche sul collettore primario della stazione è presente una serie di punti per il controllo dei parametri funzionali di captazione.

6.4. Centrale di Estrazione

L'impianto di estrazione è posto sul settore nord della discarica ed è collegato alle due stazioni di regolazione mediante i due collettori primari in HDPE che confluiscono in un unico separatore di condense in HDPE con funzionamento in depressione a sua volta connesso ad un filtro a coalescenza in acciaio inox.



Centrale di Estrazione del biogas

6.4.1. Aspiratore

Dai dati di targa della macchina installata sull'impianto si apprende che l'aspiratore è stato prodotto dalla SAVIO, modello MICO 90K/6 ATEX abbinato ad un motore CEMP ATEX da 11 kW di potenza ed un numero di giri massimo di 7000 rpm dotata di INVERTER.

**TECHNICAL DATA SHEET**

Customer	CONVECO SRL		
Offer No	4371	Date	Sep-30-2025

Performance requested:			
Capacity	394,83 m ³ /h	Inlet fluid density	0,9484 Kg/m ³
Differential pressure	320 mBar	Fluid density in Normal conditions	1,2136 Kg/m ³
Suction pressure	893,8 mBar	Ambient Fluid density	1,0758 Kg/m ³
Discharge pressure	1213,8 mBar	Altitude h.a.s.l.	0 m
Fluid inlet temperature	35 °C		

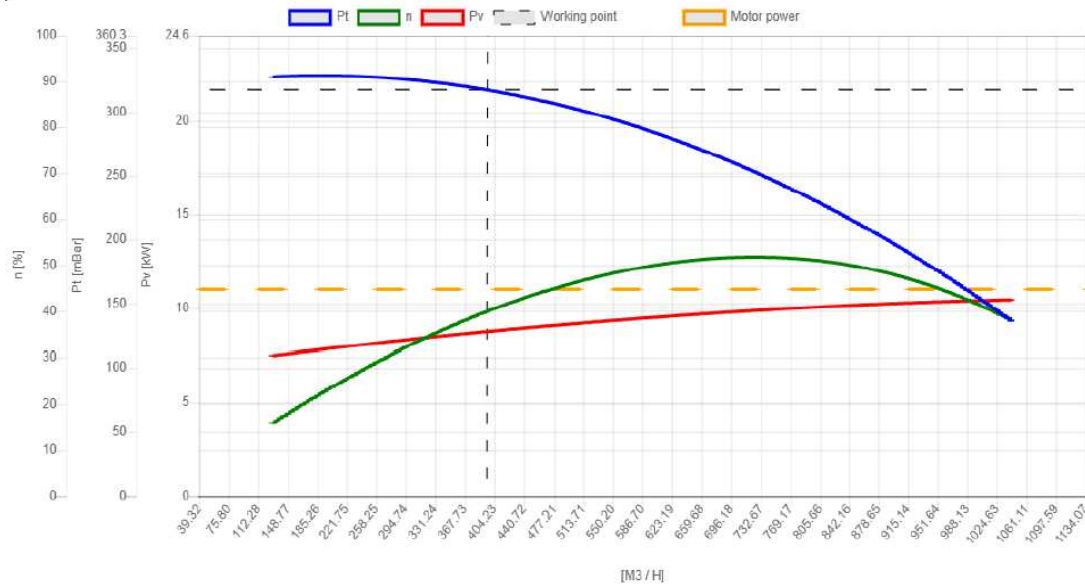
Offer selection:			
Model	MICO 90K/6 ATEX	Rpm	6398 RPM
Capacity	394,83 m ³ /h	Normal Capacity	350 N m ³ /h
Absorbed power	8,73 kW	Efficiency	39,88
Differential pressure	320 mBar	Altitude h.a.s.l.	0 m
Inlet fluid density	0,9484 Kg/m ³	Inlet fluid temperature	35 °C
Motor	Motor explosion-proof CEMP 11 kW - 2P-B3-Volt 400/690 50 Hz - IP55 – Cl. F		

Construction characteristic:			
Model	MICO 90 ATEX	Max Rpm	7000
Inlet flange	DN 80 PN6	Bearing 1	6208 C3
Outlet flange	DN 80 PN6	Bearing 2	NU 2208 C3
Housing material	Aluminium Al Si9	Impeller material	Aluminium alloy
Basement material	FE 360	Shaft material	AISI 431

Il modello MICO 90K/6 a sei stadi abbinato ad un motore da 11 kW è in grado di garantire flussi di circa 400 m³/h con pressione differenziale di 320 mBar.

Nel diagramma seguente si evidenziano le caratteristiche nominali di prevalenza, le quali variano in funzione della portata: se a 400 m³/h la prevalenza è di circa 320 mBar, alla portata di 150 m³/h la prevalenza può salire fino a 330 mBar mentre alla portata di 600 m³/h la prevalenza è di circa 280 mBar.

Come evidente questa potente macchina può estrarre portate fino a circa 1.000 m³/h mantenendo una pressione differenziale ancora di 150 mBar.

**Performance curve:****Curva caratteristica aspiratore**

In conclusione, si ritiene di assumere, per le successive verifiche, la seguente prestazione dell'aspiratore CE:

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------|
| ▪ Costruttore e Modello: | SAVIO MICO 90K/6 |
| ▪ Portata nominale: | 400 Nm ³ /h; |
| ▪ Portata minima senza inverter: | 80 Nm ³ /h; |
| ▪ Portata minima con inverter: | <80 Nm ³ /h; |
| ▪ Potenza installata: | 11 kW |
| ▪ Potenza assorbita con inverter: | <11 kW |
| ▪ Frequenza nominale senza inverter: | 50 Hz |
| ▪ Tensione esercizio: | 400 VAC |
| ▪ Prevalenza nominale senza inverter: | 320 hPa |
| ▪ Prevalenza nominale con inverter: | <320 hPa |

6.4.2. Torcia di combustione

La torcia a servizio dell'impianto CE è di tipo ad "alta temperatura" dotata di coibentazione completa e sistema di carburazione automatica in eccesso di comburente.

La capacità di una torcia è normalmente calcolata in base alla potenza termica. Il modello installato ha una potenza di circa 1900 kWt equivalente ad una portata di biogas LFG50



(metano al 50%) di 400 Nm³/h. La portata minima è valutata in un quinto di quella nominale e pari a 380 kWt (80 Nm³/h LFG50)

Occorre precisare che il dimensionamento (o verifica di dimensionamento) di un aspiratore ed una torcia sono completamente differenti. Per un aspiratore vale il criterio volumetrico mentre per una torcia si applica il criterio di potenza termica.

Questa analisi ha senso se si considera la variabilità della percentuale di metano nel biogas partendo dal concetto che il pci del metano puro sia 9,58 kWh/ Nm³.

Con un biogas con percentuale di metano al 50% il potere calorifico è pari a 4,79 kWh/ Nm³ ma con un biogas più povero, ad esempio con metano al 30% il potere calorifico scende a 2,87 kWh/ Nm³.

Ne consegue che una torcia con potenza termica di 1900 kWt può trattare indicativamente le seguenti quantità di biogas:

- 80 - 400 Nm³/h di biogas LFG50 (50% CH₄)
- 100 - 500 Nm³/h di biogas LFG40 (40% CH₄)
- 133 - 660 Nm³/h di biogas LFG30 (30% CH₄)
- 160 - 800 Nm³/h di biogas LFG25 (25% CH₄)

Considerando che **il 25% rappresenta normalmente il limite minimo di operatività di una torcia adiabatica ad alta temperatura** ne consegue che il combustore in oggetto abbia una variabilità di utilizzo tra 160 Nm³/h di biogas LFG50 e 800 Nm³/h di biogas LFG25 (25% CH₄). Al di sotto della portata minima l'impianto continua a funzionare ma non sono garantite le prestazioni di trattamento, in particolare la temperatura di combustione.

Elemento determinante per il monitoraggio della torcia è la temperatura di combustione misurata in continuità tramite termocoppia, evidenziata a display e registrata nel data-base.

Gli altri requisiti della combustione in torcia sono: il tempo di residenza (>0,3 secondi) e l'ossigeno residuo (>3%). Tali dati sono funzione della costruzione e delle caratteristiche dimensionali della macchina. Si ritiene pertanto che questi parametri vengano certificati dal Costruttore CONVECO oppure calcolati in modo scientifico. In ogni caso l'ossigeno residuo della combustione è rilevato in continuo mediante una sonda all'ossido di zirconio.

La torcia in servizio è dotata di una rampa gas dotata degli elementi necessari per il suo funzionamento normale quali:

- Filtro rompifiamma;
- Linea fiamma pilota;
- Fotocellula controllo presenza fiamma pilota;
- Accenditore fiamma pilota;
- Solenoide intercettazione fiamma pilota;



- Valvola elettrocomandata a semplice effetto per l'interruzione del flusso primario;

In conclusione, si ritiene di assumere, per le successive verifiche, la seguente prestazione della torcia a servizio della CE-STR:

- | | |
|--------------------------------------|--|
| ▪ Costruttore: | CONVECO |
| ▪ Potenza termica: | 1900 kWt; |
| ▪ Portata nominale di biogas LFG50 | 400 Nm ³ /h |
| ▪ Portata minima di biogas LFG50 | 80 Nm ³ /h (1/5 della nominale) |
| ▪ Temperatura di combustione: | > 850 °C |
| ▪ Tempo di residenza fiamma: | > 0,3 secondi |
| ▪ Ossigeno residuo alla combustione: | > 3% |
| ▪ Visualizzazione parametri: | a pannello digitale con registrazione |

6.4.3. Sistema di monitoraggio

L'impianto è dotato di un sistema di analisi per la misura del metano, dell'anidride carbonica e dell'ossigeno con evidenziazione a display e registrazione in data base.



Pannello di controllo

Mediante un processore locale SIEMENS è possibile visualizzare, gestire e memorizzare i parametri di monitoraggio.

I dati sono scaricabili in formato excel su drive portatile.



In conclusione, si ritiene di assumere, per le successive verifiche, la seguente prestazione dell'impianto di monitoraggio e misura:

- | | |
|-------------------------------|--|
| ▪ Costruttore: | CONVECO - SIEMENS |
| ▪ Analisi biogas: | metano, anidride carbonica ed ossigeno |
| ▪ Analisi fumi: | ossigeno residuo |
| ▪ Portata: | istantanea e totalizzata |
| ▪ Ore di servizio: | totalizzate; |
| ▪ Temperatura di combustione: | con termocoppia, continua; |
| ▪ Visualizzazione: | a pannello digitale; |
| ▪ Memorizzazione: | su file excel scaricabile |



7. Analisi funzionamento pregresso

Dal momento della sua messa in servizio (nel 2018), la torcia ha sempre funzionato adeguatamente fino a fine gennaio dell'anno 2025.

Da tale periodo la torcia ha iniziato ad evidenziare spegnimenti autonomi a causa di criticità quasi sempre legate alla carenza di metano.

Dai primi di febbraio 2025, la causa più ricorrente del fermo del ventilatore di aspirazione è stata la diminuzione della temperatura di combustione in torcia. Il combustore adiabatico è stato infatti provvisto di un sistema di sicurezza che blocca l'aspirazione quando la temperatura scende al di sotto di 850 °C, limite normativo.

Immediatamente è stata attivata una campagna di osservazione che ha visto coinvolti i tecnici dell'Impianto di Trattamento RSU e della ditta costruttrice dell'impianto di aspirazione e combustione del biogas.

Con frequenza quasi quotidiana è stata rilevata la qualità del biogas direttamente ai pozzi al fine di determinare la concentrazione di metano e di ossigeno che incidono sul sostentamento della fiamma e per escludere anomalie o difetti (infiltrazioni di aria) sulla rete di trasporto e regolazione.

Tali potenziali cause di spegnimento sono state escluse mentre **è stata confermata la scarsa qualità del biogas estratto.**

Per quanto riguarda la concentrazione di metano nei pozzi di captazione (unico elemento che consente l'ossidazione termica al combustore) al termine del periodo di attenta osservazione sono state determinate delle condizioni di estrazione costanti e ricorrenti.

Le analisi condotte dai tecnici di gestione con la strumentazione portatile in loro dotazione hanno evidenziato la seguente situazione:

- 11 pozzi erano totalmente non produttivi (concentrazione di metano inferiore al LIE);
- per 14 pozzi la concentrazione di metano era inferiore al 20% (non combustibile in torcia);
- per 7 pozzi la concentrazione di metano era compresa tra il 20% e il 30%;
- in nessun pozzo si era osservata, con la rete in esercizio, una concentrazione di metano superiore al 30%;
- la concentrazione di metano "media" inviata alla torcia era variabile tra il 15 e 20%, condizione al limite di funzionalità della torcia e causa di frequenti spegnimenti.

In pratica su 25 pozzi, il 78% del totale, **le condizioni del gas estratto erano inadeguate alla combustione in torcia** mentre la sostenibilità potenziale della ossidazione termica era assicurata solo dal 22% dei pozzi.



Nel corso degli approfondimenti è stata anche verificata la modalità di funzionamento escludendo completamente i pozzi non produttivi mediante le valvole di intercettazione e tenendo i rimanenti pozzi collegati alla centrale di aspirazione. In questo caso, concentrando l'estrazione solo sui pozzi idonei, è stata osservata una capacità di "prolungamento" del periodo di funzionamento della torcia. Ma, **anche con questa configurazione, si verificava lo spegnimento dopo pochi giorni.**

Una volta spento l'impianto (generalmente per l'abbassamento della temperatura di combustione ed il conseguente intervento dell'allarme) necessitavano alcune ore per consentire alla concentrazione di metano di tornare a crescere nel biogas tanto da consentire il riavvio della torcia.

Il riavvio dell'impianto era ovviamente "manuale", eseguito dal personale di CIPOR, e consentiva la successiva combustione per qualche giorno prima di tornare in "allarme bassa temperatura torcia".

Nel periodo successivo di osservazione (primavera - estate 2025) il tenore di metano si è ulteriormente abbassato e solo 6 pozzi su 32 (19%) riuscivano a mantenere, provvisoriamente, un flusso di metano superiore al 20%.

Nei mesi estivi del 2025 la struttura tecnica CIPOR si è concentrata maggiormente sul modo di tenere accesa il più a lungo possibile la torcia eseguendo una attenta regolazione sui pozzi che avevano un tenore di metano adeguato al suo funzionamento.

Contestualmente ci si rendeva conto che della rete di captazione di 32 elementi solo 6 erano operativi ed i rimanenti 26 erano quasi totalmente intercettati.

Ovviamente presso questi pozzi la qualità del biogas era molto bassa e non adeguata al sostentamento della torcia **ma non completamente assente.**

Dai frequenti controlli eseguiti su questa porzione di pozzi non sono state osservate pressioni relative significative e quindi tali da far supporre un rischio di esalazione.

La struttura tecnica CIPOR ha comunque ritenuto che **la condizione di continuità di servizio della torcia non dovesse essere prevalente all'azione di captazione diffusa** a tutta la rete di captazione e quindi a tutta la discarica di servizio.

Lo scopo prioritario dell'impianto di trattamento è infatti quello di ossidare termicamente la maggior quantità di biogas possibile rispetto a quella effettivamente prodotta, non quella di garantire una continuità di servizio.

Se in un anno la discarica produce, ad esempio, circa 270.000 Nm³ di metano, lo scopo dell'impianto è quello di bruciarne la massima porzione di tale flusso e non quello di



bruciarlo con continuità. In pratica non è prioritario bruciare metano a $30 \text{ Nm}^3/\text{h}$ per 8.760 ore, sarebbe lo stesso adeguato bruciare $60 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (il doppio) per 4.380 ore (la metà del tempo).

Con questa logica CIPOR ha avviato istanza per un utilizzo “ciclico” del sistema di captazione e trattamento del biogas proponendo una sperimentazione adeguata a sostenere tale tecnica di esercizio.

Il vantaggio di questa tecnica, rispetto a quella che privilegia la “continuità”, è che lo spegnimento per esaurimento temporaneo del biogas nella rete di captazione viene considerato come una condizione “normale” e prevista, ne consegue che l’estensione della captazione a “tutti” i pozzi del biogas (con adeguate parzializzazioni) permette un maggiore controllo ambientale di tutta la rete e quindi di tutta la discarica.

L’estensione di una minima depressione a tutti i pozzi implica ovviamente una possibile anticipazione dello spegnimento della torcia, ma nella logica “ciclica” questa evenienza non è un problema poiché il biogas formatosi nelle fasi di “riposo” verrà in ogni caso captato nelle fasi di “lavoro”.

Con queste finalità si è impostato il piano di sperimentazione di seguito descritto.



8. Studio produzione del biogas

La fase determinante della presente relazione tecnica riguarda lo studio della produzione di biogas attuale e nei prossimi anni sui quali occorrerà valutare l'impegno da parte di CIPOR nella conduzione.

8.1. Cenni descrittivi del fenomeno

Nel seguito vengono accennati 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; ha 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.

8.1.1. 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.

8.1.2. 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.

8.1.3. 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; peraltro, 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: 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.

8.2. 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 rilevabili anche l'ossigeno (O_2) e l'azoto (N_2) in quanto presenti sotto forma 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 macro-componenti del biogas.

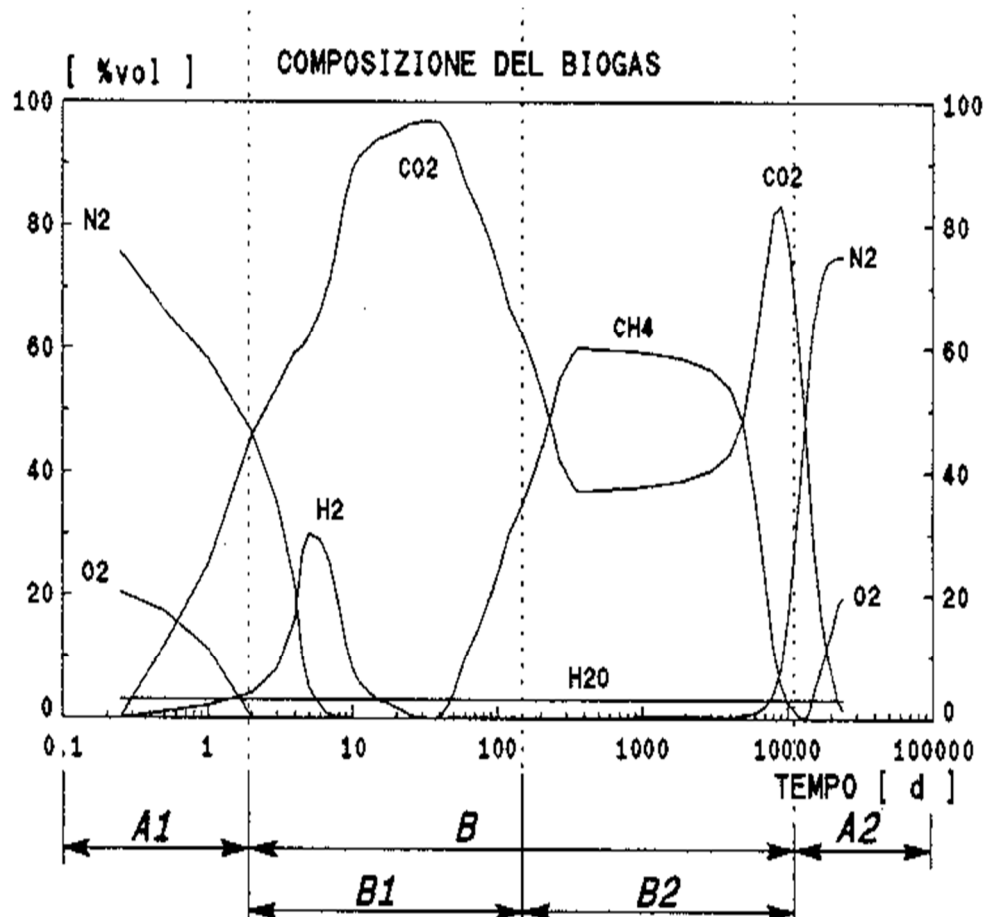


Grafico indicativo della fermentazione dei rifiuti
(A.Damiani, M.Gandolla – 1992)

- A1: fase aerobica
- B: fase anaerobica
- B1: fase anaerobica acida
- B2: fase anaerobica metanigena
- A2: fase conclusiva aerobica

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 in fase operativa” – LFG50

	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 ASPIRATO			100	0,955 (aria = 1)	4.125 (4,79 KWh)

La tipologia di biogas sopra rappresentata viene normalmente definita dall'acronimo LFG50 (LandFill Gas @ 50% metano). Questa tipologia di biogas è facilmente recuperabile energeticamente.

Occorre però precisare che l'azione di captazione forzata, specialmente nelle fasi più avanzate di post-chiusura, **può imporre maggiori diluizioni con aria** che tendono a ridurre la percentuale di metano ben al di sotto del 50%.

Si riporta di seguito una tabella caratteristica che identifica il caso “LIMITE” di captabilità forzata con destinazione alla combustione in torcia. Come evidente il rapporto tra metano ed anidride carbonica tende ad eguagliarsi e le porzioni di aria si incrementano. Anche la densità relativa rispetto all'aria cresce. Si osserva inoltre che tale tipologia di biogas è **difficilmente destinabile al recupero energetico** a causa del suo basso tenore di metano.

Composizione tipica di un biogas “aspirato in fase post - operativa” – LFG25

	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	25	0,140	2.062
Anidride carbonica	1,53	0	30	0,459	0
Azoto	0,97	0	36	0,349	0
Ossigeno	1,11	0	8	0,089	0
Altri gas	-	0	1	0.001	0
BIOGAS ASPIRATO			100	1,038 (aria = 1)	2.062 (2,39 KWh)



Confrontando le due tabelle precedenti si evidenzia che la possibilità del recupero energetico è direttamente proporzionale al tenore di metano.

Il recupero è facilmente gestibile fino al 40% circa di metano.

Al di sotto di tale soglia le difficoltà crescono molto anche per l'incremento, non proporzionale, dei gas inerti ($\text{CO}_2 + \text{N}_2$) che tendono ad assumere l'incidenza fino a due terzi nel caso limite del metano al 25%.

Per completezza di analisi si riporta di seguito 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" – LFG60

	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 ESALATO			100	0,928 (aria = 1)	4.950 (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, ed essendo lo stato gestionale "a cavallo" tra la fase operativa e post-operativa, si assumerà come riferimento per le valutazioni successive, un contenuto intermedio tra le tabelle LFG50 e LFG25 precedenti.

Come premesso nel biogas originato da rifiuti sono presenti anche altri gas microcomponenti, normalmente non superiori all'1%, 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”.

8.3. Prospezione produttiva - Modello BIO-8

Al fine di aggiornare la curva di produttività del biogas della discarica in oggetto si è ritenuto di utilizzare il modello probabilistico “BIO-8” che risulta essere un aggiornamento più specialistico dei modelli “BIO” precedenti.

La versione “8” risulta essere una ottimizzazione dell’approccio del modello previsionale BIO sviluppato in oltre 40 anni ed applicato in centinaia di casistiche.

Questa più recente versione consente di considerare più approfonditamente tre importanti elementi:

- L’inserimento del massimo numero di variabili effettivamente rappresentative dell’ambiente di fermentazione e della tipologia del sistema di captazione;
- La variabilità della tipologia dei rifiuti smaltiti anno per anno ed anche nel corso degli anni futuri;
- La variabilità probabilistica degli elementi di input inseriti nel modello di calcolo. In particolare, la possibilità di valutare “anno per anno” la composizione dei rifiuti evita di mediare alcuni aspetti merceologici determinanti.

Le moderne discariche ricevono oramai rifiuti selezionati e provenienti da altri tipi di impianti di selezione e trattamento. Non sempre tale tipologia di rifiuti è assimilabile a quelle smaltite nella stessa discarica del passato. Specialmente discariche molto grandi e con vita molto lunga sono state a disposizione di “generazioni” di produzione dei rifiuti.

Normalmente i modelli semplificati “mediano” tali composizioni e tecniche di smaltimento identificando “una media rappresentativa di rifiuto”. Ma con questo approccio non vengono considerate le numerose mutazioni intervenute in decenni di attività e malamente considerata la specifica cinetica di trasformazione che è determinante nella fenomenologia in oggetto.

Il modello BIO-8 intende ridurre tali problematiche prevedendo un elevato numero di variabili differenziate nelle distinte epoche storiche dell’impianto.

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. Un ulteriore approccio particolare del modello BIO-8 è quello della valutazione “probabilistica”.

Molte delle informazioni necessarie al calcolo emergono da valutazioni non certe, da analisi interpretative o da informazioni “soggettive” assunte cercando la maggiore “aderenza” alla realtà. Del resto, molte informazioni **non sono analiticamente determinabili** ed è pertanto necessario fornire una “fascia di valori” piuttosto che un valore puntuale.

Ovviamente per i dati “certi”, quali ad esempio i quantitativi di rifiuti smaltiti, questa logica non viene applicata.

Per ogni dato “incerto” inserito nel modello BIO-8 viene quindi considerato in una “forchetta” di considerazione probabilistica delimitata da due estremi:

- **Best Case:** Valutazione “ottimistica” del dato intesa come incremento di produzione di gas;
- **Worst Case:** Valutazione “pessimistica” del dato intesa come incremento di produzione di gas;

8.4. Caratterizzazione merceologica rifiuti smaltiti

Uno dei vantaggi più determinanti del modello BIO-8 è quello di seguire con attenzione la variabilità merceologica dei conferimenti in discarica.

Questa opzione consente di differenziare la composizione dei rifiuti smaltiti nel corso di circa 11 anni di vita dell'impianto.

La discarica di servizio è stata operativa dal 2012 al 2022

In questo periodo il conferimento dei rifiuti è stato suddiviso in otto categorie EER tipiche di seguito elencate:

190501 – parte di rifiuti non compostati (strutturante)	0,55%
190503 – compost fuori specifica	0,96%
190801 – vaglio	0,16%
190802 – eliminazione sabbia	0,23%
191212 - secco	82,24%
191212 – scarti della lavorazione del compost	7,77%
200301 - secco indifferenziato	0,62%
200303 - spazzamento	5,21%
200307 - ingombranti	2,25%



Come evidente solo quattro categorie superano l'incidenza dell'1%, da sole esse rappresentano oltre il 97% dei conferimenti.

Si ritiene pertanto di valutare esclusivamente tale porzione di afflussi.

Il modello di calcolo BIO-8 prevede una “differenziazione per assimilabilità” a 11 categorie pilota di rifiuti:

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

Le categorie dei rifiuti sono poi accorpate in funzione della cinetica di degradazione:

- **RVP – Rifiuti Velocemente Putrescibili:** le porzioni di rifiuto in grado di dare luogo ad una rapida fermentazione, considerando quindi i rifiuti organici da mensa, vegetali, di lavorazione agro-alimentare e tutto quanto altro potenzialmente simile;
- **RLP – Rifiuti Lentamente Putrescibili:** le porzioni di rifiuto in grado di dare luogo ad una lenta e prolungata fermentazione, considerando quindi i rifiuti cellulosici quali carta, cartone), tessili, legno e tutto quanto altro potenzialmente simile;

Una terza porzione RNP (Rifiuti Non Putrescibili) completa la ripartizione tipica, ma ovviamente questa parte dei rifiuti non interessa al fenomeno di decomposizione.

Come premesso la vita operativa della discarica è stata attiva per circa 11 anni (dal 2012 al 2022).

Di seguito si sviluppano le analisi di caratterizzazione svolte.



anni	191212 secco e ingombranti triturati	191212 scarto compost	200303 Spazzamento	200307 ingombranti	Totali espressi In tonnellate
2012	19.932,38	530	1.701,66	0	22.164,04
2013	20.082,6	872	1.565,88	0	22.520,48
2014	18.808,5	2.402,26	1.998,18	0	23.208,94
2015	9.037,84	263,98	875,91	11,59	10.189,32
2016	16.369,77	790,02	1.205,32	0	18.365,11
2017	17.172,1	3.351,06	632,36	0	21.155,52
2018	21.726,34	2.559,55	1.072,73	1.413,18	26.771,80
2019	11.222,72	2.432,76	725,72	1.383,92	15.765,12
2020	4.412,58	938,94	413,58	0	5.765,10
2021	15.876,74	833,9	0	1.544,94	18.255,58
2022	6.221,12	229,04	0	50,9	6.501,06
Totali	160.862,69	15.203,51	10.191,34	4.404,53	190.662,07

nota: il totale dei conferimenti al lordo della sottrazione delle categorie <1% risulta essere di 197.684,76 tonnellate.

Come evidente la maggior parte dei rifiuti proviene da trattamenti preliminari che ne riducono l'incidenza della sostanza organica putrescibile.

Per ognuna delle quattro categorie EER indicate nelle sopraindicate tabelle è stata applicata una caratterizzazione merceologica mediante la ripartizione nelle 11 componenti pilota elencate di seguito:

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

Dal prodotto dei conferimenti annuali e l'incidenza delle ripartizioni è stato possibile calcolare la proporzione delle categorie di putrescibilità.



Definita la ripartizione per codice e l'attribuzione delle varie aliquote di putrescibilità è stato possibile determinare, anno per anno, la singola porzione RVP e RLP nelle due casistiche Best Case e Worst Case.

Ripartizione merceologica discarica – Best Case

	2.012	2.013	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022
Componente velocemente putrescibile (% RVP)	14,38%	14,49%	14,54%	16,57%	14,54%	15,21%	14,13%	13,73%	14,84%	13,87%	14,99%
Componente lentamente putrescibile (% RLP)	32,41%	32,40%	30,95%	29,11%	32,45%	31,76%	31,51%	29,86%	30,48%	32,88%	34,34%
Totale porzione putrescibile (% RP)	46,80%	46,89%	45,49%	45,69%	46,99%	46,96%	45,64%	43,59%	45,32%	46,74%	49,33%

Ripartizione merceologica discarica – Worst Case

	2.012	2.013	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022
Componente velocemente putrescibile (% RVP)	13,28%	13,38%	13,35%	14,88%	13,43%	14,02%	13,05%	12,62%	13,61%	12,91%	13,96%
Componente lentamente putrescibile (% RLP)	25,83%	25,83%	24,65%	22,76%	25,88%	25,37%	25,05%	23,66%	24,29%	26,14%	27,46%
Totale porzione putrescibile (% RP)	39,11%	39,21%	37,99%	37,64%	39,31%	39,38%	38,10%	36,28%	37,90%	39,05%	41,42%

Ovviamente nelle categorie di putrescibilità vengono compresi anche i rifiuti (RLP) cellulosici che concorrono ad una produzione (più lenta) di biogas.

Come evidente nelle tabelle l'incidenza dei rifiuti organici putrescibili (RVP) non supera il 16% mentre le incidenze di quelli a lenta fermentazione (RLP) raggiunge anche il 34%.

Nelle considerazioni di assimilazione è stato sempre applicato un criterio di massima prudenzialità preferendo l'eccesso di valutazione (maggiore produzione di biogas) rispetto alla sottovalutazione.

Si riportano i due grafici (Best e Worst Case) che evidenziano le variazioni annuali della composizione dei rifiuti sulla base della presunta putrescibilità. Nei grafici sono indicate inoltre le valutazioni di umidità dei rifiuti più avanti trattate.

Come ben evidente la variazione è tendenzialmente stabile.

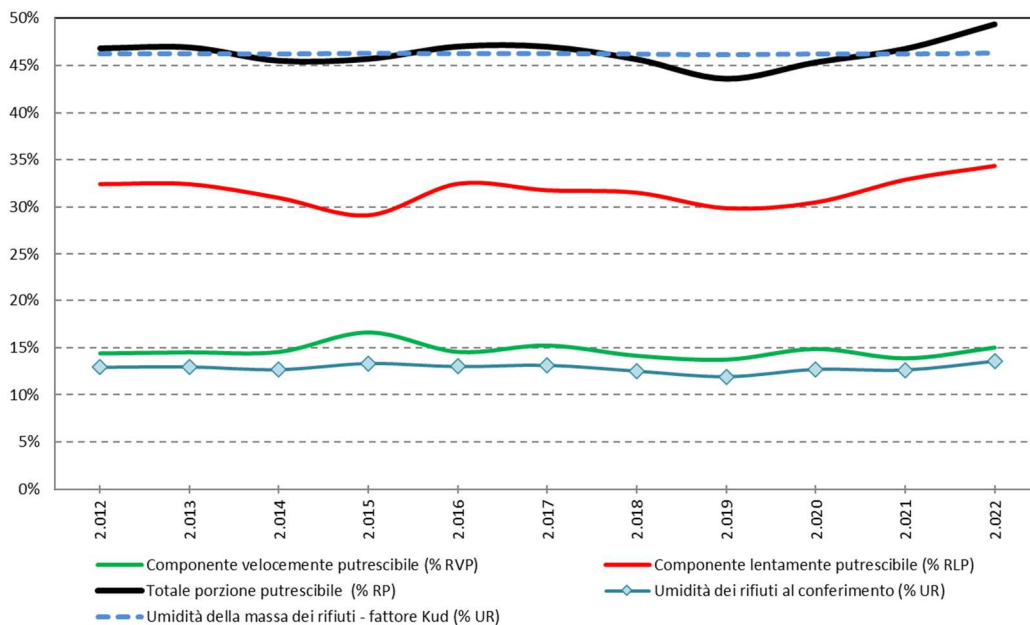
Occorre precisare che le valutazioni di "putrescibilità" qui espresse non hanno nulla a che vedere con i criteri di classificazione dei rifiuti (indice respirometrico - IRD) che sono basati su altri e diversi criteri.



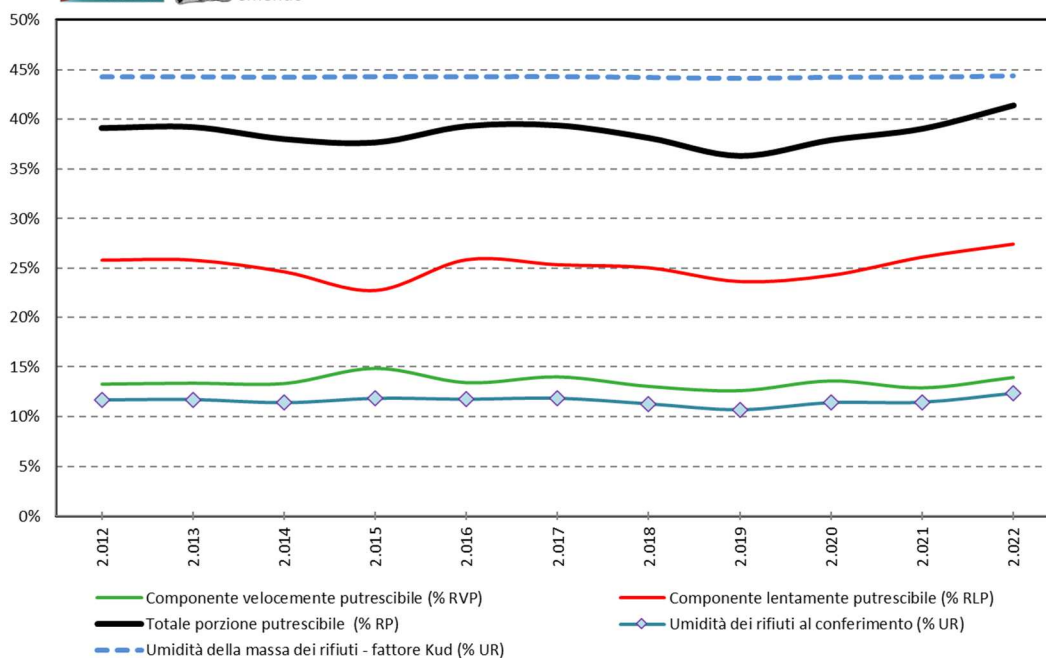
emendo



**Variazione dei parametri di calcolo - 1
Best Case**



**Variazione dei parametri di calcolo - 1
Worst Case**





9. Conferimento rifiuti

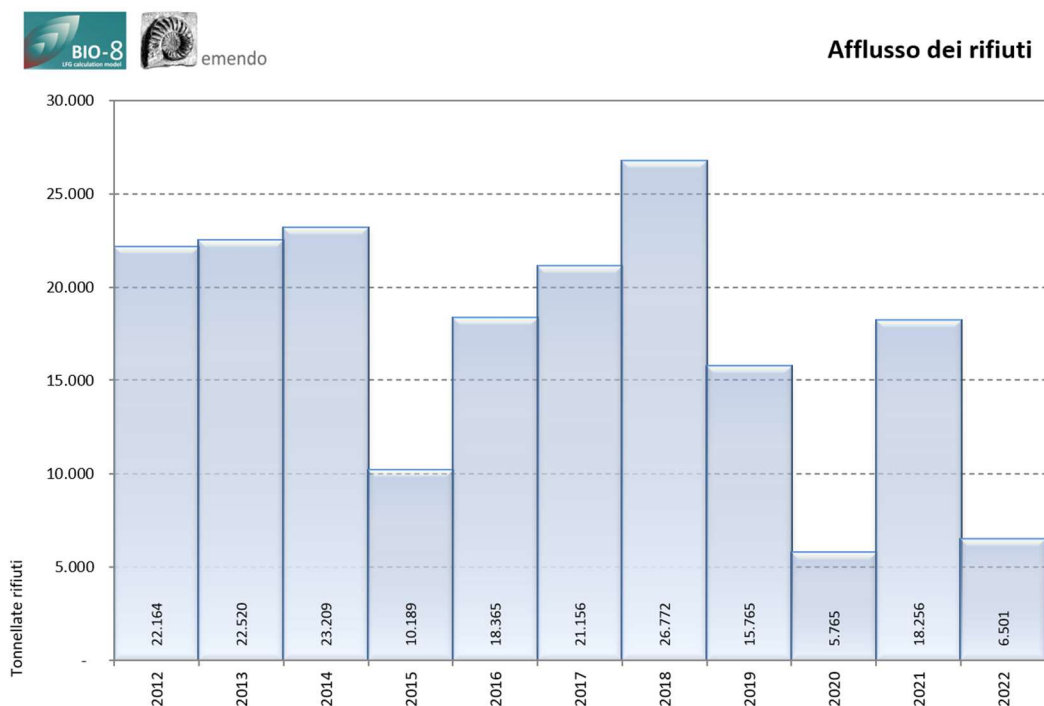
Per questa informazione sono disponibili dati analitici precisi e pertanto si è potuta “ricostruire” una cronologia adeguata degli smaltimenti.

Da tale analisi si evidenzia uno smaltimento complessivo pari a 197.685 tonnellate di rifiuti dei quali 190.662 considerati nel calcolo.

Tabella conferimenti considerati (tonnellate rifiuti)

anno	Discarica di servizio
2012	22.164
2013	22.520
2014	23.209
2015	10.189
2016	18.365
2017	21.156
2018	26.772
2019	15.765
2020	5.765
2021	18.256
2022	6.501
Totali	190.662

Nell’istogramma seguente si riportano le variazioni dei conferimenti annuali ripartiti sui due moduli.





10. Umidità della 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 di questo 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.

In prima approssimazione è stata considerata, l'umidità del rifiuto smaltito in funzione delle componenti merceologiche e successivamente valutato l'incremento di umidità acquisito all'interno della discarica a causa degli eventi meteorologici.

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 quanto riguarda l'umidità dei rifiuti al momento del conferimento si osservano campi di variazioni abbondanti, da valori prossimi all'1 – 2% (legno, plastica, metalli) a valori molto più elevati, nell'ordine del 50 – 70% (rifiuti umidi urbani).

Si riporta di seguito una utile tabella che riporta, oltre al campo di variazione, anche il valore medio (adottato nella prospezione BIO-8) e la capacità di campo

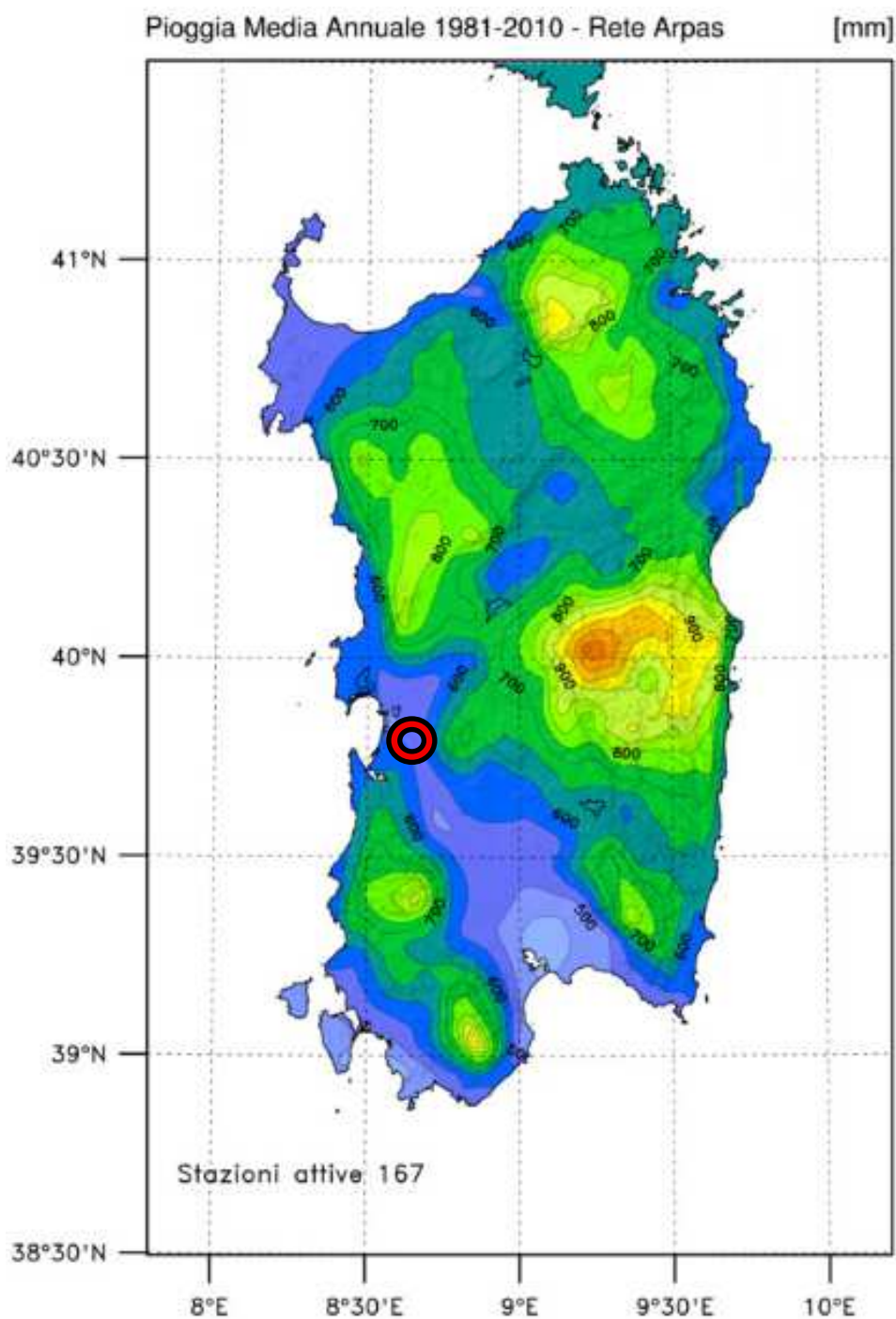
Tab. 2.5 - Campo di variazione, valore medio e livello di saturazione capillare tipici per le diverse componenti dei RSU, espressi in percentuale sul peso umido (Andreottola e Cossu 1988).

Componente	Umidità %		
	Campo di variazione	Valore medio	Capacità di campo
Rifiuti alimentari	50-70	60	70
Carta	4-12	8	70
Cartone	4-10	7	70
Plastica	1-4	2	4
Tessuti	6-15	10	50
Gomma	1-4	2	4
Cuoio	8-12	10	50
Scarti di giardino	30-60	50	60
Legno	1-4	2	20
Vetro	2-4	3	4
Lattine	2-4	3	4
Metalli non ferrosi	2-4	2	4
Metalli ferrosi	2-4	3	4

Tabella Umidità tipica dei rifiuti – A. Damiani M. Gandolla – Gestione del biogas da discariche controllate – Istituto per l'ambiente 1992



Per la valutazione dell'umidità "apportata" dalle precipitazioni meteo sono stati osservati e valutati i dati pluviometrici medi disponibili sulla rete ARPAS che evidenziano una piovosità media di circa 550 mm risultando essere tra le zone più "secche" della Sardegna.



Mapa iso-precipitazioni Sardegna – Fonte ARPAS



Si riporta di seguito gli estratti dal foglio di calcolo BIO-8 dei dati relativi alla umidità (dei rifiuti al conferimento e complessiva Kud) e dei tempi di semi-trasformazione, intesi come indicatore della cinetica di decomposizione e rappresentanti il tempo necessario a ridurre la metà della sostanza organica putrescibile.

Umidità– Best Case

	2.012	2.013	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022
Umidità dei rifiuti al conferimento (% UR)	12,92%	12,97%	12,67%	13,33%	13,00%	13,14%	12,52%	11,92%	12,70%	12,64%	13,59%
Umidità della massa dei rifiuti - fattore Kud (% U)	46,25%	46,26%	46,22%	46,31%	46,26%	46,28%	46,20%	46,11%	46,22%	46,21%	46,35%
Tempo di semi-degradazione RVP (anni)	3,35	3,35	3,35	3,34	3,35	3,35	3,35	3,36	3,35	3,35	3,34
Tempo di semi-degradazione RLP (anni)	10,05	10,05	10,06	10,03	10,04	10,04	10,06	10,09	10,06	10,06	10,02

Umidità – Worst Case

	2.012	2.013	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022
Umidità dei rifiuti al conferimento (% UR)	11,67%	11,71%	11,39%	11,83%	11,74%	11,83%	11,28%	10,69%	11,40%	11,44%	12,33%
Umidità della massa dei rifiuti - fattore Kud (% U)	44,25%	44,26%	44,21%	44,27%	44,26%	44,27%	44,19%	44,10%	44,21%	44,22%	44,35%
Tempo di semi-degradazione RVP (anni)	3,56	3,56	3,56	3,56	3,56	3,56	3,57	3,57	3,56	3,56	3,55
Tempo di semi-degradazione RLP (anni)	10,68	10,67	10,69	10,67	10,67	10,67	10,70	10,72	10,69	10,69	10,64

Come evidente il fattore Kud, che definisce l'umidità interna alla discarica, non è elevato, compreso tra il 44 e il 46%.

Anche in questo caso si è valutata una condizione “ottimistica” in termini di produzione di biogas poiché la copertura completa della discarica con geomembrana impermeabile, anche se non definitiva, riduce drasticamente l'afflusso delle (poche) acque meteoriche alla massa dei rifiuti.

Si ricorda inoltre che il processo fermentativo “consuma” acqua e che l'estrazione dei biogas saturi di vapore riduce ulteriormente l'umidità interna della massa dei rifiuti.

In conclusione, si valuta che l'umidità effettiva della massa dei rifiuti possa essere più bassa di quella considerata dal modello.

Questa considerazione non modifica la capacità produttiva specifica dei rifiuti ma incide drasticamente sulla cinetica del fenomeno rallentandolo e posticipando nel tempo la produzione del biogas.

I tempi di semi-trasformazione indicati tra 3 anni (per i rifiuti RVP) e 10 anni (RLP) possono quindi allungarsi nel tempo.



11. Variabili soggettive

L'elaborazione del modello di calcolo richiede l'inserimento di alcune informazioni soggettive che determinano alcuni coefficienti correttivi sui parametri di elaborazione. Tali parametri sono stati indicati dal Gestore CIPOR nella compilazione di uno specifico questionario.

Piovosità media della zona

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- 300 – 600 mm H₂O/m² per anno.

Temperatura media della zona

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- 14 – 18 °C.

Caratteristiche climatiche della zona

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- Clima temperato: estati calde ed inverni miti.

Caratteristiche morfologiche della zona

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- Zona di pianura.

Caratteristiche morfologiche della discarica

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- Forma regolare in scavo su terreno pianeggiante.

Elevazione fuori terra della discarica

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- Tra 40 e 70 %.

Spessore dei rifiuti

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- 10 ÷ 20 m

Densità dei rifiuti dopo lo scarico

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- Densità variabile tra 0,6 ÷ 0,8 t/m³

Informazioni sulla compattazione dei rifiuti

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- I rifiuti vengono conferiti in balle legate.

Informazioni sulla infra-copertura giornaliera dei rifiuti



Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- I rifiuti sono stati coperti regolarmente con materiale permeabile.

Informazioni sulle superfici di gestione dei rifiuti

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- Superfici dotate di pendenza verso l'esterno della coltivazione.

Informazioni sulla copertura finale (capping) dei rifiuti

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- Attualmente una copertura provvisoria con geomembrana sintetica.

Impermeabilizzazione della base della discarica

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- Impermeabilizzata con materiali naturali (argilla o limi) ed artificiali (geomembrana LDPE).

Infiltrazioni di corpi idrici in discarica

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- Non ci sono infiltrazioni.

Ricircolo del percolato in discarica

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- Il ricircolo non è mai stato applicato.

Presenza del percolato in discarica

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- Dato non disponibile.

Gestione del percolato in discarica

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- Esistono più punti di raccolta.
- Il percolato viene estratto per pompaggio.

Attività di recupero manuale dei rifiuti

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- Mai praticato.

Incendi in discarica

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche:

- Non ci sono mai stati incendi importanti in discarica.

Animali in discarica

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche.
L'informazione riguarda la presenza di animali selvatici o randagi in discarica

- Non risultano uccelli o animali selvatici in discarica



Tipologia del sistema di captazione

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche.

- Perforazioni verticali diametro 300 – 600 mm.

Densità del sistema di captazione (raggi di influenza)

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche.

- Raggio variabile, distanza tra i pozzi circa 20 m;

Tipologia della rete di trasporto secondaria

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche.

- Collegamenti prevalentemente in parallelo.

Tipologia della rete di trasporto primaria

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche.

- Collegamenti prevalentemente in parallelo.

Tipologia della rete di regolazione secondaria

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche.

- Stazioni di regolazione con separazione condense centrale.

Tipologia della rete di regolazione primaria

Questo parametro è stato inserito univocamente per le due ipotesi probabilistiche.

- regolazione mediante inverter aspiratore.



12. Produttività specifiche

Applicando le variabili precedentemente descritte all'algoritmo di calcolo BIO-8 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 determinate ogni singolo anno nelle due ipotesi probabilistiche.**

Il dato ottenuto dal modello di calcolo BIO-8, o da eventuali sperimentazioni svolte in laboratorio dai ricercatori, è però riferito al rifiuto specifico ed 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, localizzazione geografica, meteorologica ed ambientale è in grado di produrre differenti quantità di biogas.

Il modello di prospezione BIO-8, a seguito della definizione delle variabili probabilistiche inserite, è quindi in grado di elaborare anche un coefficiente di produttività (K_p) della discarica in oggetto.

Di seguito si riportano i valori di produzione specifica ed i coefficienti correttivi elaborati.

Nelle seguenti tabelle tratte dal foglio di calcolo:

- La prima riga corrisponde alla produzione specifica, espressa in Nm^3/t , di biogas per singola tonnellata di rifiuto della sola componente RVP (Rifiuti Velocemente Putrescibili), riferita esclusivamente al rifiuto conferito nell'anno di riferimento;
- La seconda riga corrisponde alla produzione specifica, sempre espressa in Nm^3/t , di biogas per singola tonnellata di rifiuto della sola componente RLP (Rifiuti Lentamente Putrescibili), riferita esclusivamente al rifiuto conferito nell'anno di riferimento;
- La terza riga indica la somma delle prime due righe (RVP+RLP) e quindi la capacità complessiva di produrre biogas di una tonnellata di rifiuto.
- La quarta riga indica sempre la produzione specifica totale ma espressa nel rapporto di produzione $\text{kggas} / \text{kgrs}$ (kilo gas su kilo rifiuto).
- La quinta riga indica il coefficiente costante di produzione K_p emerso dalla elaborazione del questionario specifico (variabili soggettive);
- La sesta ed ultima riga riporta infine la produzione specifica complessiva (Nm^3/t) corretta con il K_p .

**Produzioni specifiche – Best Case**

	2.012	2.013	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022
Produzione specifica RVP (Nm ³ /t)	22,67	22,98	23,71	22,56	23,09	25,20	22,89	22,82	24,74	21,90	23,60
Produzione specifica RLP (Nm ³ /t)	79,17	79,21	76,13	78,43	79,35	78,29	77,26	73,60	75,31	80,14	83,74
Produzione specifica TOTALE (Nm ³ /t)	101,84	102,19	99,83	100,99	102,44	103,49	100,15	96,43	100,05	102,04	107,34
Produzione specifica LFG50 (kkgas - kgr)	0,138	0,139	0,135	0,137	0,139	0,140	0,136	0,131	0,135	0,139	0,145
Coefficiente di produttività - Fattore Kp	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%
Produzione specifica TOTALE - corretta (Nm ³ /t)	98,69	99,03	96,74	97,87	99,27	100,29	97,05	93,44	96,95	98,88	104,01

Produzioni specifiche – Worst Case

	2.012	2.013	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022
Produzione specifica RVP (Nm ³ /t)	19,05	19,31	19,81	18,92	19,41	21,17	19,25	19,11	20,66	18,59	20,04
Produzione specifica RLP (Nm ³ /t)	55,89	55,95	53,74	55,33	56,07	55,52	54,49	51,76	53,25	56,53	59,39
Produzione specifica TOTALE (Nm ³ /t)	74,93	75,26	73,54	74,25	75,48	76,69	73,74	70,87	73,90	75,11	79,44
Produzione specifica LFG50 (kkgas - kgr)	0,111	0,112	0,109	0,110	0,112	0,113	0,109	0,105	0,109	0,112	0,118
Coefficiente di produttività - Fattore Kp	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%	96,90%
Produzione specifica TOTALE - corretta (Nm ³ /t)	72,61	72,93	71,27	71,95	73,14	74,32	71,46	68,68	71,62	72,79	76,98

Nei grafici successivi si riportano le variabilità dei parametri di calcolo emersi dalla prospezione per evidenziare come possano mutare nel tempo tali elementi.

Di particolare interesse la variazione della produzione specifica del biogas, tale parametro, determinante nella successiva prospezione, indica la capacità di produzione di biogas di una singola tonnellata di rifiuto.

Come evidente la produzione specifica di biogas della discarica varia tra 75 e 100 Nm³/t RS con una netta preponderanza di produzione a causa dei rifiuti lentamente putrescibili (RLP)

Il coefficiente di produttività viene determinato in funzione dell'ambiente di fermentazione (bio-digestore) considerato ed è stato valutato senza variazioni (BC/WC) nel 96,90% riducendo di poco la produttività specifica.



emendo

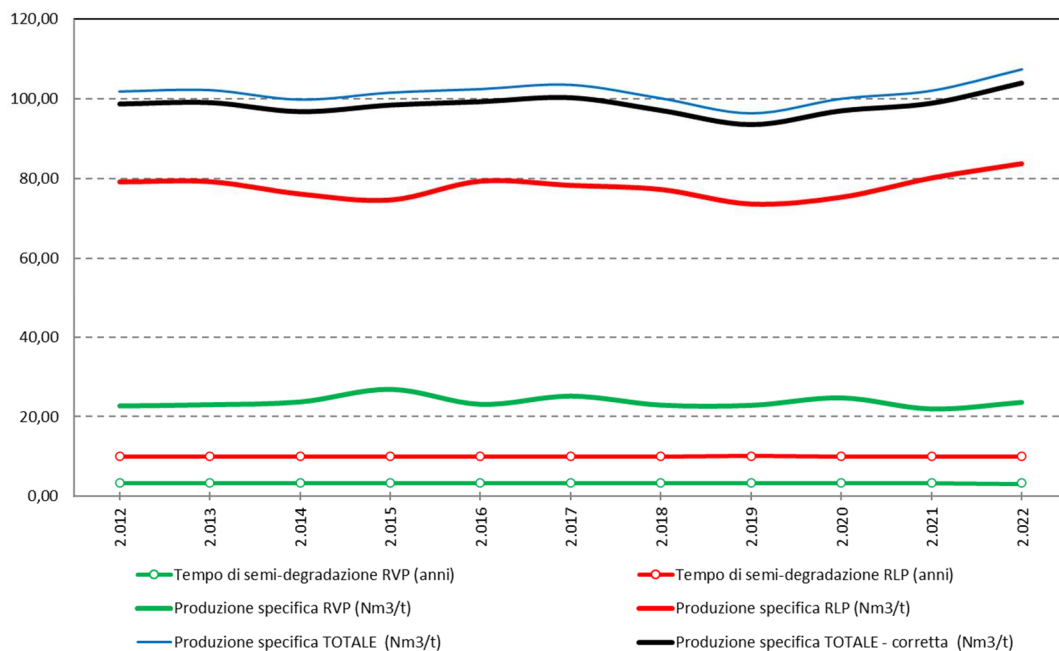


CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE



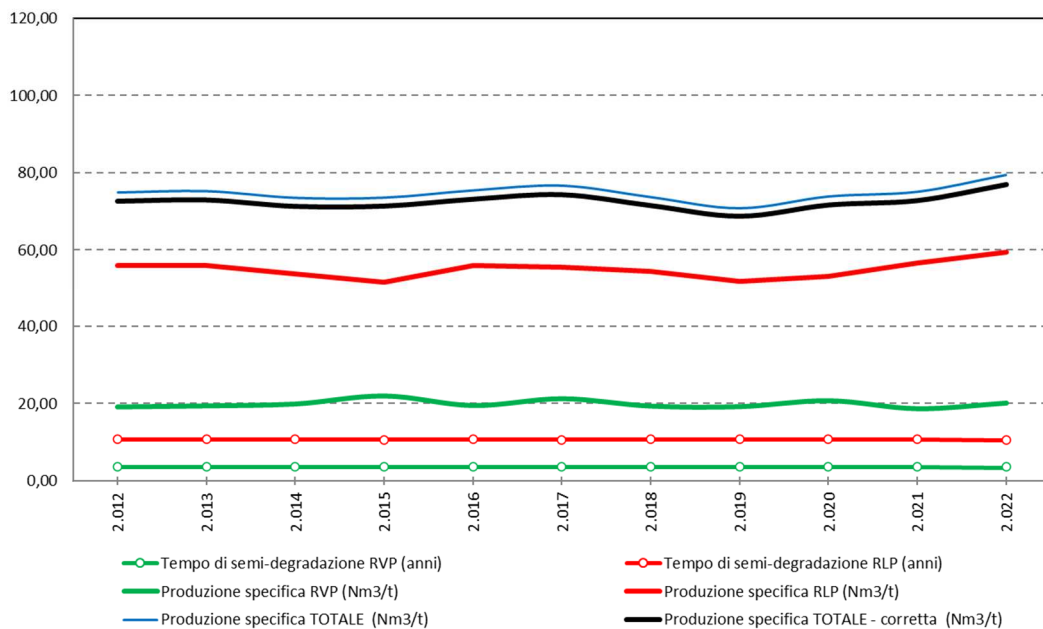
emendo

Variazione dei parametri di calcolo - 2 Best Case



emendo

Variazione dei parametri di calcolo - 2 Worst Case



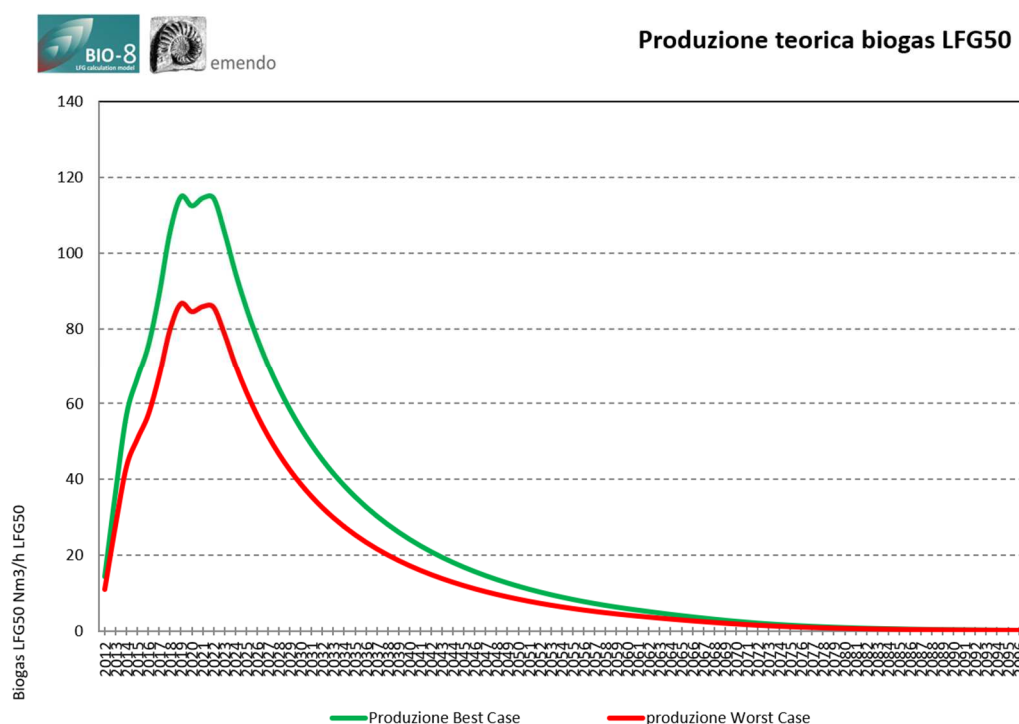


13. Produzione totale biogas

Con l'applicazione del criterio di sovrapposizione degli effetti è possibile determinare le produzioni di biogas attese per l'impianto, definite dai due estremi probabilistici Best e Worst Case, moltiplicando le varie produzioni specifiche per gli anni di conferimento. Nel modello BIO-8 ogni singolo anno di conferimento viene considerato come modulo univoco e pertanto viene sviluppato uno specifico criterio di sovrapposizione.

Si riportano di seguito i grafici che meglio evidenziano lo sviluppo di sovrapposizione svolto dal modello BIO-8 e la tabella di riepilogo della produzione complessiva del biogas. Occorre precisare che l'unità di misura volumetrica (normalizzata) del biogas (Nm^3/h) è espressa ad una concentrazione tipica di metano pari al 50%, con acronimo LFG50 (LandFill Gas @ 50% CH_4).

La curva rappresentata di seguito è la somma delle singole curve annuali di produzione teorica espresse nei due casi Best e Worst Case.



Nei due grafici seguenti (Best Case e Worst Case) si evidenzia invece l'apporto produttivo di ogni singolo anno.

Questa rappresentazione ben illustra quanto sia stata variabile l'incidenza della produzione dei primi anni relativi della discarica rispetto agli anni successivi.



emendo

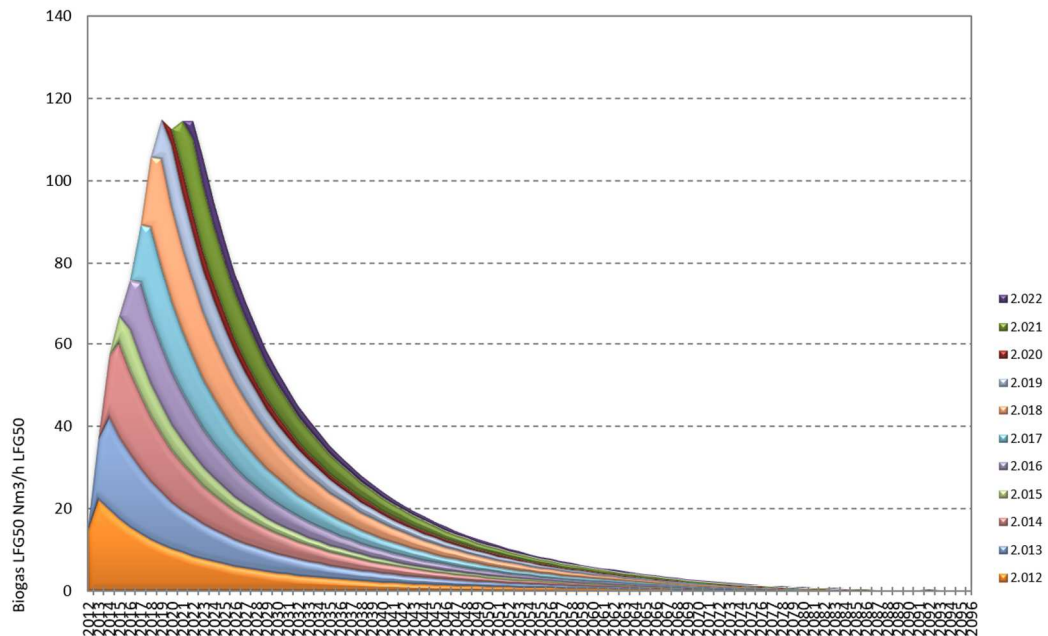


CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE



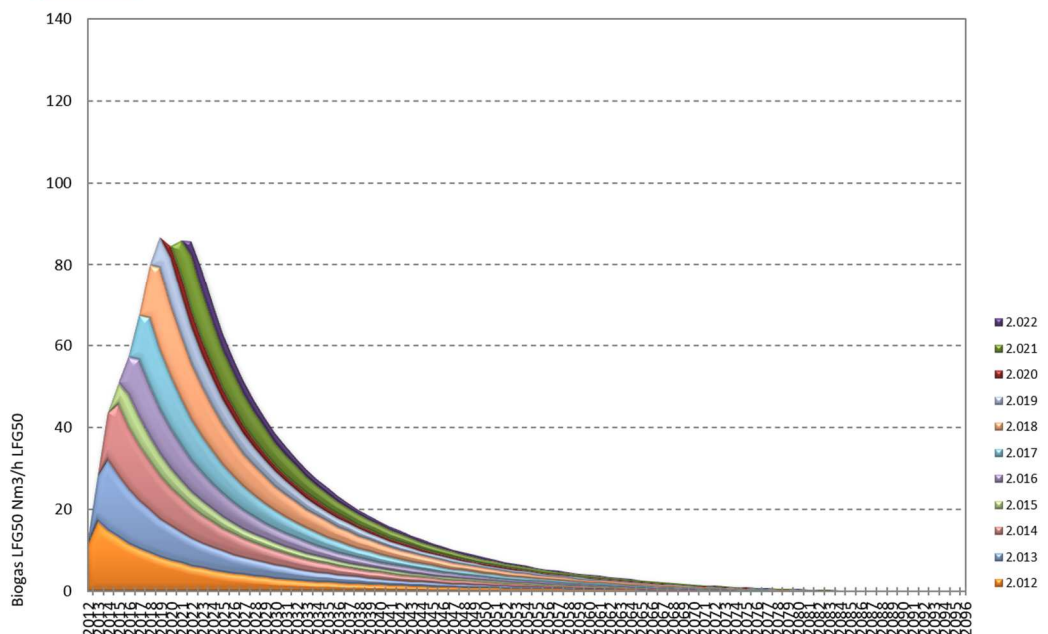
emendo

Produzione teorica di biogas LFG50 Best Case



emendo

Produzione teorica di biogas LFG50 Worst Case





Si riporta di seguito la tabella riassuntiva delle produzioni elaborata fino all'anno 2095, con una prospezione fino a 85 anni dall'inizio dei conferimenti e circa 70 anni dall'anno attuale 2026.

Produzione teorica biogas

Anno	Totale	
	Best Case	Worst Case
	Nm ³ /h LFG50	Nm ³ /h LFG50
2012	14	11
2013	37	28
2014	57	43
2015	67	51
2016	75	57
2017	89	67
2018	106	80
2019	115	87
2020	112	85
2021	115	86
2022	115	86
2023	106	79
2024	95	70
2025	86	63
2026	77	57
2027	70	51
2028	64	47
2029	58	42
2030	54	39
2031	49	35
2032	45	33
2033	42	30
2034	38	27
2035	35	25
2036	33	23
2037	30	22
2038	28	20
2039	26	19
2040	24	17
2041	22	16
2042	21	15
2043	19	14
2044	18	13
2045	17	12
2046	16	11
2047	15	10
2048	14	10
2049	13	9
2050	12	8



emendo

2051	11	8
2052	10	7
2053	10	7
2054	9	6
2055	8	6
2056	8	5
2057	7	5
2058	7	5
2059	6	4
2060	6	4
2061	5	4
2062	5	4
2063	5	3
2064	4	3
2065	4	3
2066	4	3
2067	3	2
2068	3	2
2069	3	2
2070	3	2
2071	2	2
2072	2	1
2073	2	1
2074	2	1
2075	2	1
2076	1	1
2077	1	1
2078	1	1
2079	1	1
2080	1	1
2081	1	1
2082	1	1
2083	1	0
2084	1	0
2085	1	0
2086	0	0
2087	0	0
2088	0	0
2089	0	0
2090	0	0
2091	0	0
2092	0	0
2093	0	0
2094	0	0
2095	0	0



Il picco di produzione è avvenuto tra gli anni 2019 e 2022 con un flusso variabile tra circa 90 e 115 Nm³/h di biogas LFG50.

Per l'anno corrente, il 2026, la produzione attesa è variabile tra circa 57 e 77 Nm³/h.

Dal 2075 la produzione di biogas sarà inferiore a 1 Nm³/h di biogas LFG50.

Occorre precisare che nella valutazione dei flussi e specialmente nel confronto con le captazioni effettive deve essere attentamente valutata la concentrazione di metano nel gas; ad esempio, un metro cubo di biogas con metano al 25% (LFG25) corrisponde (volumetricamente) a circa il doppio di un metro cubo di biogas con metano al 50% (LFG50).

I flussi di biogas estratti con metano al 15% (più o meno quelli più recenti) sono invece circa oltre 3 volte i volumi LFG50 considerati nel modello quindi 10 Nm³/h di LFG50 corrispondono a circa 33 Nm³/h di LFG15 o circa 20 Nm³/h a LFG25.



14. Captabilità del biogas

Il criterio di captabilità (fattore K_c nel modello BIO-8) è inteso come il rapporto tra la produzione del biogas e la sua effettiva captazione.

Non tutto il biogas prodotto è ovviamente captabile, specialmente nelle fasi di coltivazione della discarica quando non è ancora presente una copertura definitiva e la rete di captazione e trasporto è ancora provvisoria.

In bibliografia, e come dato di default di numerosi modelli di calcolo, viene indicato il coefficiente di captabilità (K_c) “fisso” del 70%, ma è ovvio che le prestazioni non possono essere costanti nel tempo

Nel modello BIO-8 questo fattore viene quindi aggiornato su base annua.

Tale flessibilità consente di distinguere l'efficienza di captazione tra gli anni di coltivazione e quelli successivi alla chiusura quando la copertura definitiva tenderà all'ottimizzazione dell'azione estrattiva.

Anche per questo parametro (K_c) il calcolo viene eseguito automaticamente dal modello BIO-8 sulla base dei parametri precedentemente descritti e valutati.

Un moderno sistema di captazione dovrebbe essere già efficiente nelle fasi di coltivazione consentendo di raggiungere le massime prestazioni dopo il completamento della rete estrattiva e la copertura della discarica o porzioni della stessa.

La valutazione di massima captabilità è quindi riferita alla maggiore prestazione prevedibile che si ritiene possa essere raggiunta dopo la chiusura (e copertura) completa dell'impianto.

Ovviamente l'efficienza di captazione è influenzata dalla consistenza e tipologia del sistema di captazione (tipo e densità spaziale dei pozzi), la loro condizione di parziale saturazione da parte dei percolati, la qualità della regolazione, la loro sigillatura, l'efficienza e precisione del sistema di regolazione e la qualità e competenza del personale di gestione della rete stessa.

Sulla base del calcolo precedentemente esposto si è determinata **la massima efficienza di captazione nel periodo 2019-2022** e coincidente con la copertura con il telo impermeabile in LDPE su tutta la discarica.

A tali periodi di picco è stata attribuita dal modello una massima captabilità variabile tra l'80% (Worst Case) ed l'85% (Best Case).

Le prestazioni di picco non possono però essere mantenute costantemente prima e dopo l'anno di riferimento di massima captabilità.

Prima di tale anno è infatti prevedibile che le condizioni di gestione della discarica, di completamento della rete di captazione ed estrazione e della copertura definitiva possano ridurre l'efficienza di captabilità.



Dopo il raggiungimento del picco di efficienza è invece prevedibile che le progressive condizioni di vetustà possano limitare, anche se modestamente, lo stesso fattore.

Applicando i coefficienti variabili di captabilità Kc nella due casistiche Best e Worst Case è possibile definire quindi la produzione captabile del biogas anno per anno.

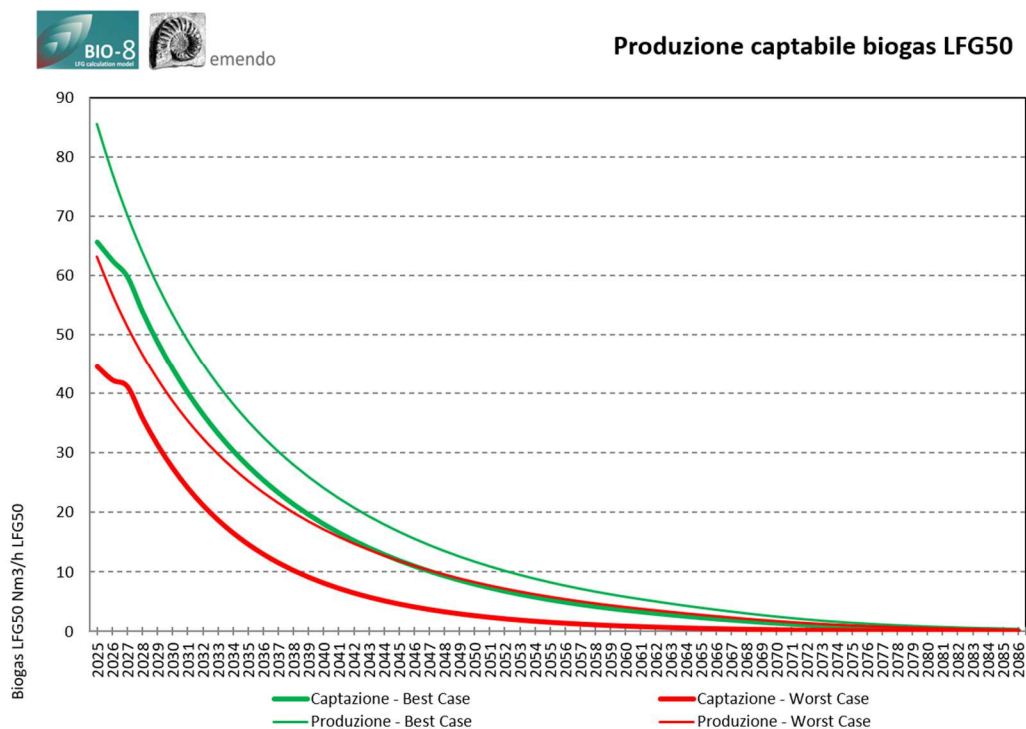
Si riporta di seguito la tabella con la produzione captabile ed il relativo grafico considerati a partire dallo scorso anno 2025.

Produzione captabile biogas

Anno	Totale	
	Best Case	Worst Case
	Nm ³ /h LFG50	Nm ³ /h LFG50
2025	66	45
2026	63	42
2027	60	41
2028	54	36
2029	49	31
2030	44	27
2031	40	24
2032	36	21
2033	33	19
2034	30	17
2035	28	15
2036	25	13
2037	23	12
2038	21	10
2039	20	9
2040	18	8
2041	17	7
2042	15	6
2043	14	6
2044	13	5
2045	12	5
2046	11	4
2047	10	4
2048	9	3
2049	9	3
2050	8	3
2051	7	2
2052	7	2
2053	6	2
2054	6	2
2055	5	1
2056	5	1
2057	5	1



2058	4	1
2059	4	1
2060	4	1
2061	3	1
2062	3	1
2063	3	1
2064	3	1
2065	2	0
2066	2	0
2067	2	0
2068	2	0
2069	2	0
2070	1	0
2071	1	0
2072	1	0
2073	1	0
2074	1	0
2075	1	0
2076	1	0
2077	1	0
2078	1	0
2079	0	0
2080	0	0
2081	0	0
2082	0	0
2083	0	0
2084	0	0
2085	0	0
2086	0	0
2087	0	0
2088	0	0
2089	0	0
2090	0	0
2091	0	0
2092	0	0
2093	0	0
2094	0	0
2095	0	0



Come evidente per l'anno corrente (2026) è prevista una captabilità tra 42 e 63 Nm³/h di biogas LFG50.



15. Prestazioni di captazione effettive

I dati di captazione effettiva rappresentano un'utilissima verifica consuntiva dell'affidabilità dei calcoli proposti.

La situazione pregressa è però poco applicabile in tal senso poiché i dati di estrazione, pur disponibili, sono molto variabili nella composizione (tenore di metano) e nella continuità di servizio (interruzioni a cadenza e durata variabile).

Tale verifica verrà quindi traslata al periodo di osservazione sperimentale di seguito esposto.



16. Sperimentazione svolta

La sperimentazione formale è stata condotta dal 15/10/2025 al 18/05/2026 per circa 215 giorni (oltre 7 mesi), in effetti i primi dati sono stati raccolti dal 10/10/2025 ma questo primo periodo di due settimane è servito per assestare i criteri sperimentali ed i format di raccolta dati.

Nel corso della sperimentazione sono stati raccolti i funzionamenti a cadenza oraria, ne consegue che sono stati 4.918 record di dati ognuno dei quali conteneva le seguenti informazioni:

- Data e ora del rilievo;
- Concentrazione percentuale di metano;
- Concentrazione percentuale di anidride carbonica;
- Concentrazione percentuale di ossigeno;
- Rapporto tra metano ed ossigeno;
- Concentrazione di ossigeno residuo allo scarico della torcia;
- Le ore di lavoro dell'aspiratore;
- Le ore di lavoro della torcia;
- La portata istantanea (Nm^3/h);
- La portata totalizzata dell'impianto (Nm^3);
- La temperatura di combustione della torcia;
- Lo stato operativo della torcia (on/off);
- La portata oraria di metano (dato calcolato);
- La portata oraria di biogas LFG50 (dato calcolato);

Complessivamente sono stati raccolti ed elaborati ben 68.852 dati di seguito esposti.

Come premesso nei precedenti capitoli lo scopo della sperimentazione era quello di verificare e quindi confermare l'utilità di un funzionamento "ciclico" dell'impianto di estrazione e trattamento del biogas.

Nel seguito si riportano le sintesi delle informazioni raccolte e l'elaborazione del risultato sperimentale.

16.1. Valutazioni sulla regolazione nel corso della sperimentazione

La regolazione della portata complessiva della Centrale di Estrazione è basata essenzialmente sull'impostazione della frequenza (Hz) di alimentazione della soffiante.

Più interessante, rispetto alle premesse fatte è la regolazione della rete di captazione. Nella scheda seguente si riporta la situazione all'inizio della sperimentazione (13/10/2025) mentre in quella successiva quella alla fine delle stesse (18/05/2026). nel periodo intercorrente sono state acquisite e valutate numerose schede simili.



emendo



CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE

CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE

Discarica Mesangionis - Arborea (OR)

Rilievi eseguiti presso la rete di captazione biogas

RS-01-25

scheda n°

rilievi eseguiti il

pressione atmosferica hPa

temperatura atmosferica °C

13-ott-25

1013.3

24,00

Stazione di regolazione

pozzo

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

17

18

15

16

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

SRA

SRB

<



emendo



CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE

CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE

Discarica Mesangionis - Arborea (OR)

Rilievi eseguiti presso la rete di captazione biogas

RS-08-25

scheda n°

rilievi eseguiti il

18-mag-26

pressione atmosferica hPa

10,00

temperatura atmosferica °C

Stazione di regolazione		SRA												SRB																			
pozzo		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	17	18	15	16	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
pressione misurata al pozzo hPa		-7,00	-5,00		-10,00		-10,00							-2,00				-2,00								-1,00		-1,00		-1,00		-1,00	-1,00
pressione pozzo (v. chiusa) hPa			0,0		0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
metano al pozzo %		10,6	8,6	0,2	21,1	5,4	27,6	0,6	10,4	1,2	0,5	4,8	0,8	13,4	3,7	3,4	6,2	9,1	11,6	1,6	7,1	1,3	1,0	6,6	0,2	18,1	0,1	29,1	0,4	13,9	18,3	31,6	13,6
an.carbonica al pozzo %		21,2	18,5	0,3	25,9	13,8	28,7	10,9	20,1	1,8	2,0	7,2	2,0	19,5	20,1	6,5	20,4	9,5	15,2	3,6	15,3	6,4	9,4	16,2	0,7	22,4	0,3	30,4	0,8	20,5	24,7	27,0	17,6
ossigeno al pozzo %		0,9	2,9	20,9	1,0	5,9	0,5	10,2	5,5	20,1	19,9	10,7	19,7	7,0	1,3	13,3	1,4	14,8	9,0	18,6	8,3	15,4	11,4	5,9	20,5	3,8	20,9	0,7	20,5	4,2	1,8	2,5	6,7
idrogeno solforato al pozzo ppm		0	1	0	8	0	11	0	0	0	0	0	0	7	1	0	0	2,0	4	1	0	0	0	0	0	7	1	1	0	2	0	1	2,0
pressione collettore SR hPa		-14,0												-10,0																			
metano totale alla SR %		10,1												18,1																			
an.carbonica totale alla SR %		16,1												23,2																			
ossigeno totale alla SR %		7,3												3,1																			
idrogeno solforato alla SR ppm		3,0												5,0																			
pressione misurata alla SR hPa		-8,0												-2,0																			
metano alla SR %		10,2	4,7	0,1	21,2	0,1	27,1	0,4	17,1	6,6	1,3	4,4	15,2	4,9	3,9	0,5	6,3	0,4	10,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	21,1	0,1	4,1	7,0	14,7	0,4	16,5	15,1
an.carbonica alla SR %		20,8	10,6	0,2	26,2	0,3	28,2	5,8	18,2	17,1	5,6	6,5	17,5	7,1	11,6	1,0	17,9	0,5	13,7	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,7	26,4	0,7	4,9	5,3	22,6	0,6	15,2	20,0
ossigeno alla SR %		0,9	11,5	20,9	1,0	21,2	1,0	14,2	7,1	5,9	14,7	16,8	8,0	16,3	10,1	20,7	2,4	21,4	11,8	21,4	21,4	21,8	20,8	21,3	20,9	0,9	20,8	19,5	19,2	2,6	21,2	8,7	5,2
idrogeno solforato alla SR ppm		0	0	0	9	0	12	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	2	0	0	2
reg. valvola manuale SR %		12,5%	12,5%	0%	100%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12,5%	0,0%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	100%	0%	12,5%	0%	100%	12,5%
Regolazioni, note ed osservazioni																																	
rilevatore (sigla)																																	



Come evidente nella scheda più recente il numero dei pozzi “operativi” si è raddoppiato anche se la qualità del biogas estratto si è ridotta.

16.2. Valutazioni sulla portata oraria nel corso della sperimentazione

Nel corso della sperimentazione sono stati estratti e trattati 1.324.720 Nm³ di biogas composto da diverse concentrazioni di metano nell’arco di 5.159 ore di tempo intercorso (tempo reale) e di 3.472 di tempo di lavoro effettivo.

Ne consegue che l’impianto ha estratto 381,54 Nm³/h di biogas durante le ore lavorative e 256,78 Nm³/h durante le ore reali con una incidenza di operatività (ore lavoro/ore reali) del 67,30%.

Nei grafici seguenti si riportano i grafici che evidenziano le portate ed i periodi operativi.



emendo



CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE

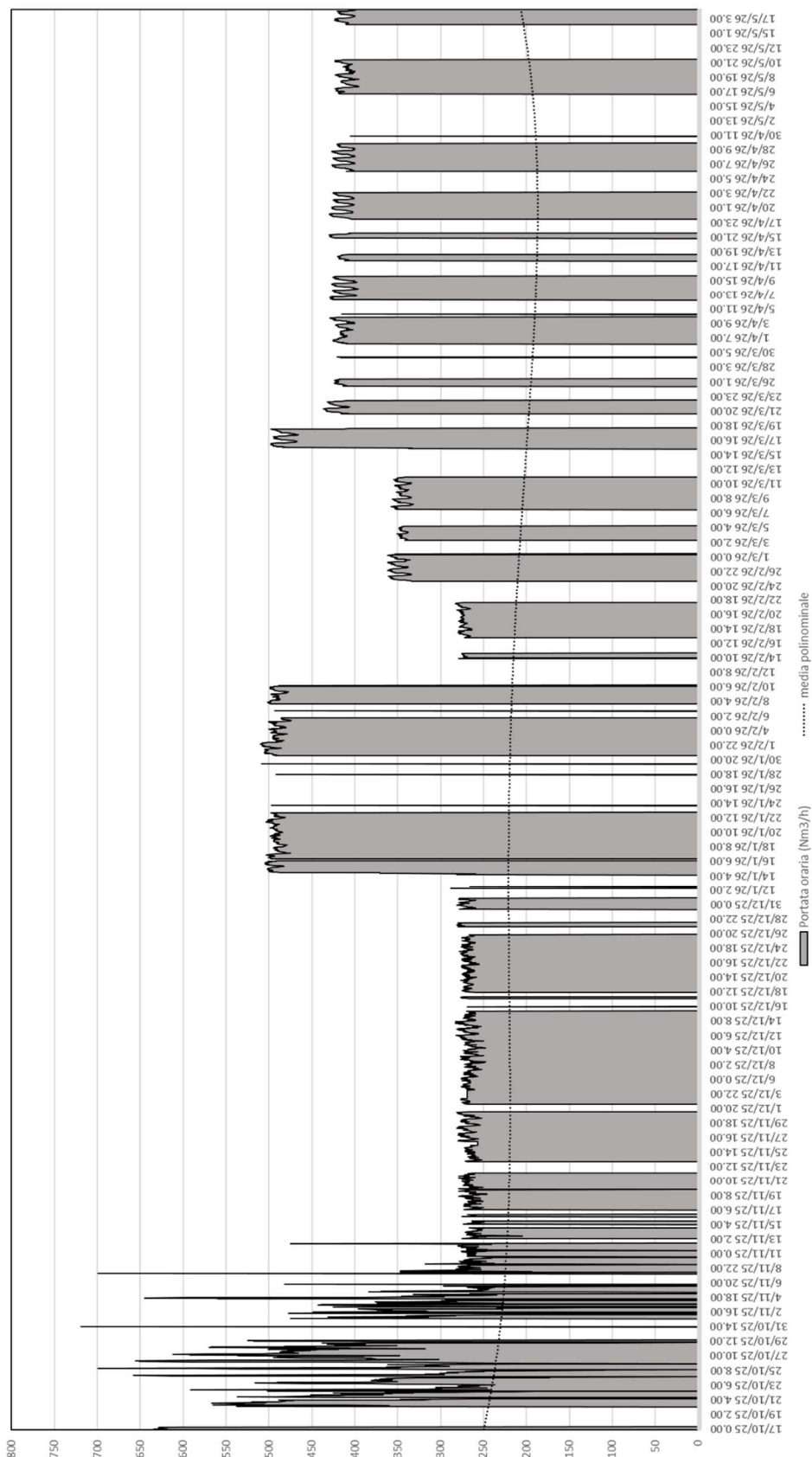
CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE



Discarica Mesangionis - Arborea (OR)
Sperimentazione biogas
Variazione della portata oraria biogas



emendo

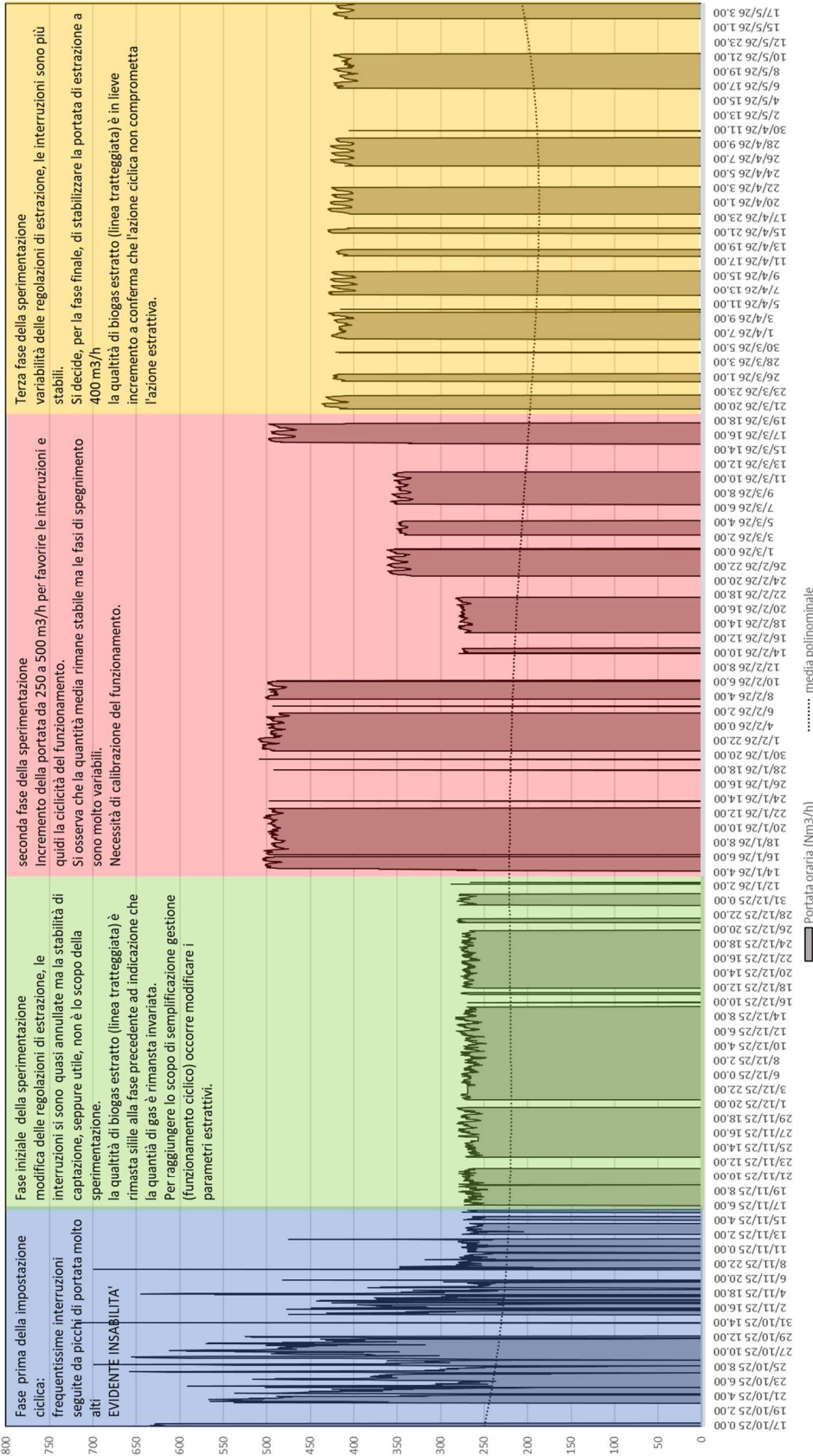




Discarica Mesangionis - Arborea (OR)
Sperimentazione biogas
Variazione della portata oraria biogas



CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE





Nel primo grafico di dati sono riportati in modo grezzo senza commento mentre nel secondo grafico ai periodi operativi sono stati sovrapposti dei campi che “commentano” la fase sperimentale condotta.

La fase iniziale (campo azzurro) evidenzia la situazione presente “prima” della sperimentazione osservata e registrata al fine di determinare un elemento di confronto allo studio vero e proprio. Come evidente le oscillazioni sono molto notevoli: si alternano picchi di portata anche molto elevata (oltre $650 \text{ Nm}^3/\text{h}$) immediatamente seguiti da “crolli” e numerosissimi spegnimenti. Questa situazione, specialmente del primo periodo, era considerata molto instabile e difficile da gestire.

Le fasi di riaccensione (manuale) erano legate solo all’impegno degli operatori CIPOR che monitoravano l’impianto.

Nella parte finale, dall’inizio novembre 2025, le portate sono state limitate a circa $250 - 270 \text{ Nm}^3/\text{h}$, con qualche modesto risultato.

La prima fase della sperimentazione (campo verde: da metà novembre 2025) la modifica imposta alla regolazione di captazione ha permesso una evidente stabilizzazione, in alcuni casi prolungata, mantenendo la portata sempre su flussi di $250 - 270 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Il dato di portata media (linea tratteggiata) si è stabilizzato su valori medi di circa $230 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Questi risultati sono evidentemente incoraggianti circa il criterio di regolazione **ma contrastano con lo scopo della sperimentazione** che è quello di verificare un funzionamento ciclico.

Nella seconda fase (campo rosso da metà gennaio 2026) si è incrementata la portata di estrazione (fino a circa $500 \text{ Nm}^3/\text{h}$) ottenendo inizialmente tempi soddisfacenti di funzionamento continuo, seguito però da tempi altrettanto lunghi di “ricarica”.

Anche questa tipologia di gestione poteva rappresentare una soluzione operativa ma si è ritenuto **che periodi alternati troppo lunghi di lavoro e riposo (circa una settimana!) non fossero in linea con la filosofia di cicli brevi e fitti.**

Abbassando la portata a circa $350 \text{ Nm}^3/\text{h}$ si sono ottenuti cicli alternati più brevi di due o tre giorni al massimo.

Anche la portata media effettiva non è cambiata di molto mantenendosi su valori tra $200 / 230 \text{ Nm}^3/\text{h}$

La terza fase, quella finale, (campo giallo) è iniziata il 20/03/2026 ed è proseguita fino al 18/05/2026. La portata è stata mantenuta costante a $400 \text{ Nm}^3/\text{h}$ e, come evidente sul grafico, l’alternanza si è manifestata molto più stabile. La lunghezza dei periodi di “riposo”, in alcuni casi più lunghi, è stata condizionata da piccole problematiche funzionali del sistema intervenute in un paio di occasioni. Anche in questo caso la media effettiva di flusso è rimasta abbastanza stabile con una leggera tendenza all’incremento: da 180 a $210 \text{ Nm}^3/\text{h}$ di biogas.



Si ritiene che il risultato finale della terza fase possa ben rappresentare la finalità sperimentale.

16.3. Valutazioni qualità del biogas nel corso della sperimentazione

Come premesso il biogas continua a modificare la sua concentrazione di metano, quindi i dati precedentemente rappresentati non sempre evidenziano una condizione reale poiché, prima dello spegnimento della torcia, la concentrazione di ossigeno sale, quella di metano scende ed il flusso di biogas è poco indicativo.

Per una analisi più rappresentativa dell'azione di estrazione applicata è quindi necessario evidenziare la porzione dei diversi gas.

Nel grafico seguente i tre gas principali (metano, anidride carbonica ed ossigeno) sono sovrapposti per evidenziare la variazione qualitativa osservata.

Il metano (linea azzurra) è molto instabile ed evidenzia spegnimenti alle concentrazioni di circa il 14%. Nella prima fase tende a stabilizzarsi su valori minimi, appena prima dello spegnimento.

Nella seconda fase, con l'incremento elevato della portata (e della depressione applicata alla rete) il metano raggiunge picchi maggiori (35 – 40%) alla riaccensione ma altrettanto rapidamente “crolla” su tenori del 10%.

Nella terza fase si osserva invece **una alternanza ciclica più costante nel tempo e nell'escursione.**

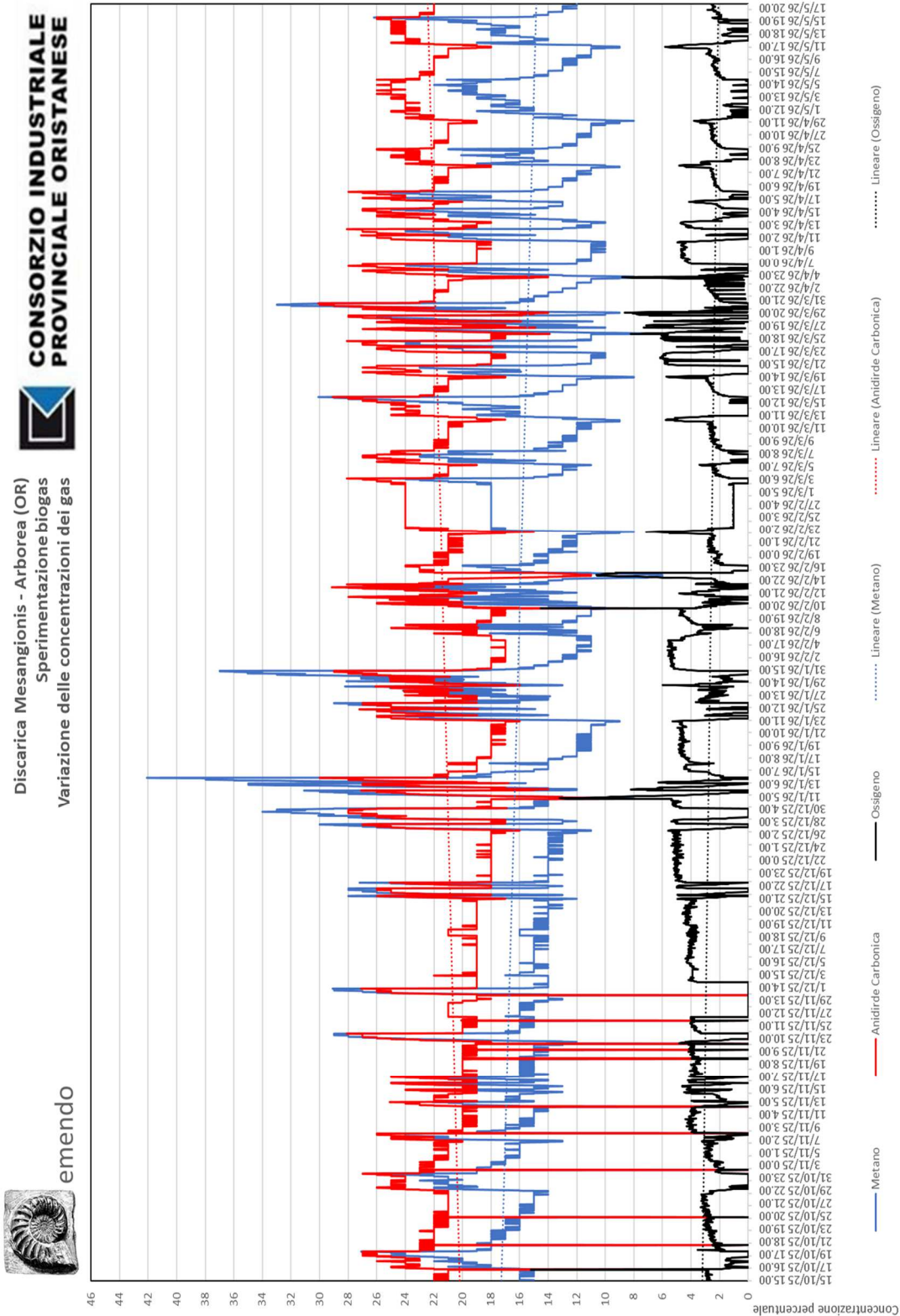
I valori massimi di metano raggiungono il 20% e quelli minimi rimangono bassi ad indicazione dell'estensione dell'azione di captazione anche presso i pozzi meno produttivi.



emendo



CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE





16.4. Valutazioni rapporto CH_4/CO_2 nel corso della sperimentazione

Ulteriore elemento di interesse è il rapporto tra il metano e l'anidride carbonica, i due principali elementi del biogas.

In un biogas "puro" (vedere capitolo 8.2 della presente relazione) il rapporto tra CH_4 e CO_2 è circa di 1,5, quando questo fattore scende vuole dire che la fermentazione anaerobica non è più completamente stabile, sia per esaurimento della matrice di carbonio biogassificabile che per il restaurarsi di una condizione aerobica.

Considerando però che la concentrazione di ossigeno nel biogas è nota (2 – 3%) e non è indicatrice di una grande infiltrazione di aria (anche per la presenza di una adeguata copertura) **si ritiene che la variabilità del rapporto, ben rappresentata nel grafico seguente, evidenzia una fase di tendenza alla fine (o sospensione) della fenomenologia.**

Nel grafico le variazioni del rapporto sono variabili ma con una tendenza regressiva ben evidente e comunque inferiore al valore standard.

All'inizio della sperimentazione il rapporto era di circa 0,8, quasi la metà di quello tipico, mentre alla fine della terza fase il dato ha raggiunto valori di 0,65.

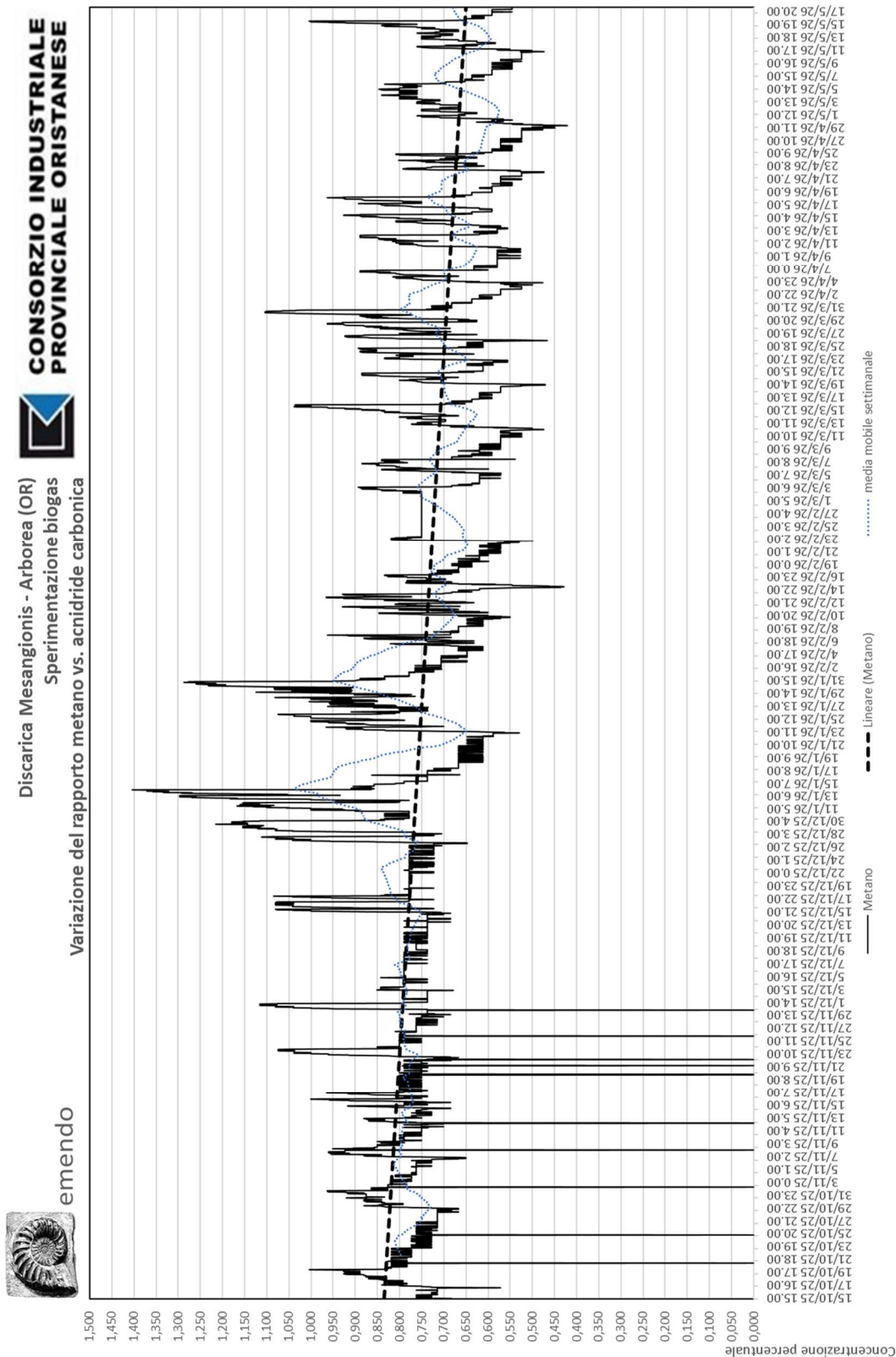
Questa situazione evidenzia, a nostro parere, una tendenza alla netta riduzione di umidità nella massa dei rifiuti.



emendo



CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE





16.5. Valutazioni temperatura torcia nel corso della sperimentazione

La temperatura di combustione del biogas evidenzia un aspetto molto importante: quello della capacità di svolgere un'azione di ossidazione termica in condizioni ottimali capace di ridurre quasi completamente le porzioni di idrocarburi.

Come premesso l'impianto è stato modificato per interrompere la sua azione di estrazione (spegnimento aspiratore) quando la temperatura scende al di sotto di 850°C.

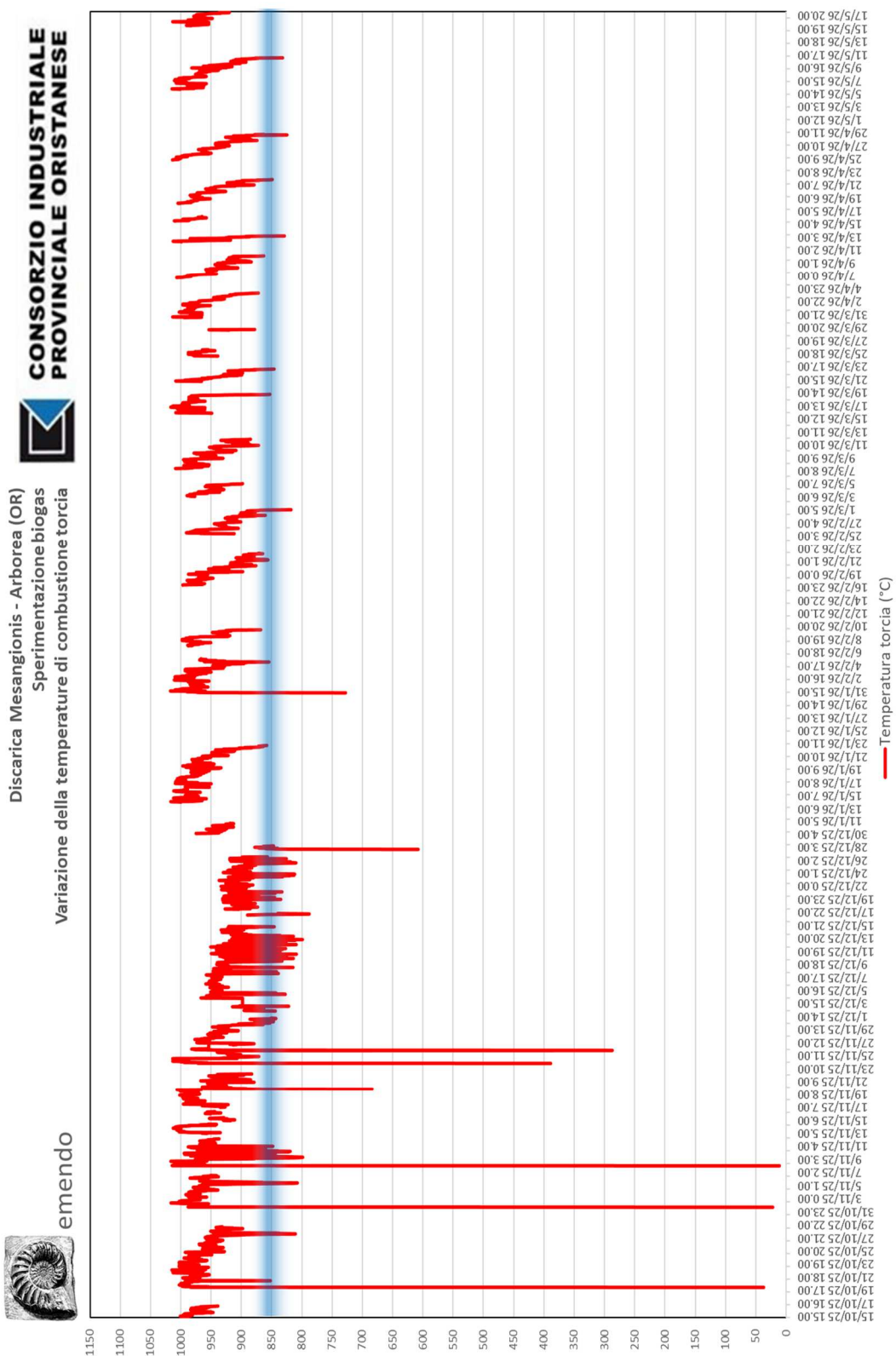
Nel grafico successivo si evidenzia che la combustione è sempre stata superiore alla soglia di 850°C ma che nella fase terminale della sperimentazione, con un equilibrio ciclico applicato all'azione estrattiva, le temperature sono sempre state contenute tra circa 1000 °C (avviamento torcia) alla soglia minima di 850°C.



emendo



CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE





16.6. Valutazioni portata LFG50 nel corso della sperimentazione

L'ultima valutazione considera la portata oraria di biogas equiparato a LFG50, quindi con concentrazione stabile al 50% del metano.

Il grafico seguente è quindi la sintesi di quello delle portate orarie del biogas "tal-quale" (metano variabile) e la concentrazione di metano.

Anche in questo caso si osserva una fase iniziale molto instabile con portata estremamente oscillante.

La prima fase sperimentale evidenzia periodi di accensione più lunghi e stabili dove la portata media effettivamente estratta è nell'ordine dei 60 Nm³/h di LFG50.

La seconda fase sperimentale incrementa le portate istantanee ma allunga i periodi di riposo. Il risultato della portata media cambia di poco (50-60 Nm³/h LFG50) ma, come premesso, questa ciclicità non è stata ritenuta adeguata.

La terza fase evidenzia un aspetto importante: i tentativi di accensione tra un ciclo ed il successivo: spesso questi tentativi sono stati infruttuosi ma comunque dimostrano la costanza dell'azione estrattiva od almeno il tentativo di esserla.

Quando l'accensione avviene e probabilmente le condizioni ambientali (barometria principalmente) sono favorevoli, il ciclo operativo si mantiene, con rapida regressione, fino allo spegnimento.

Questo equilibrio ciclico ottenuto nella terza fase evidenzia una stabilizzazione della portata complessiva media estratta con una tendenza al recupero su flussi di 50 Nm³/h di LFG50.



emendo



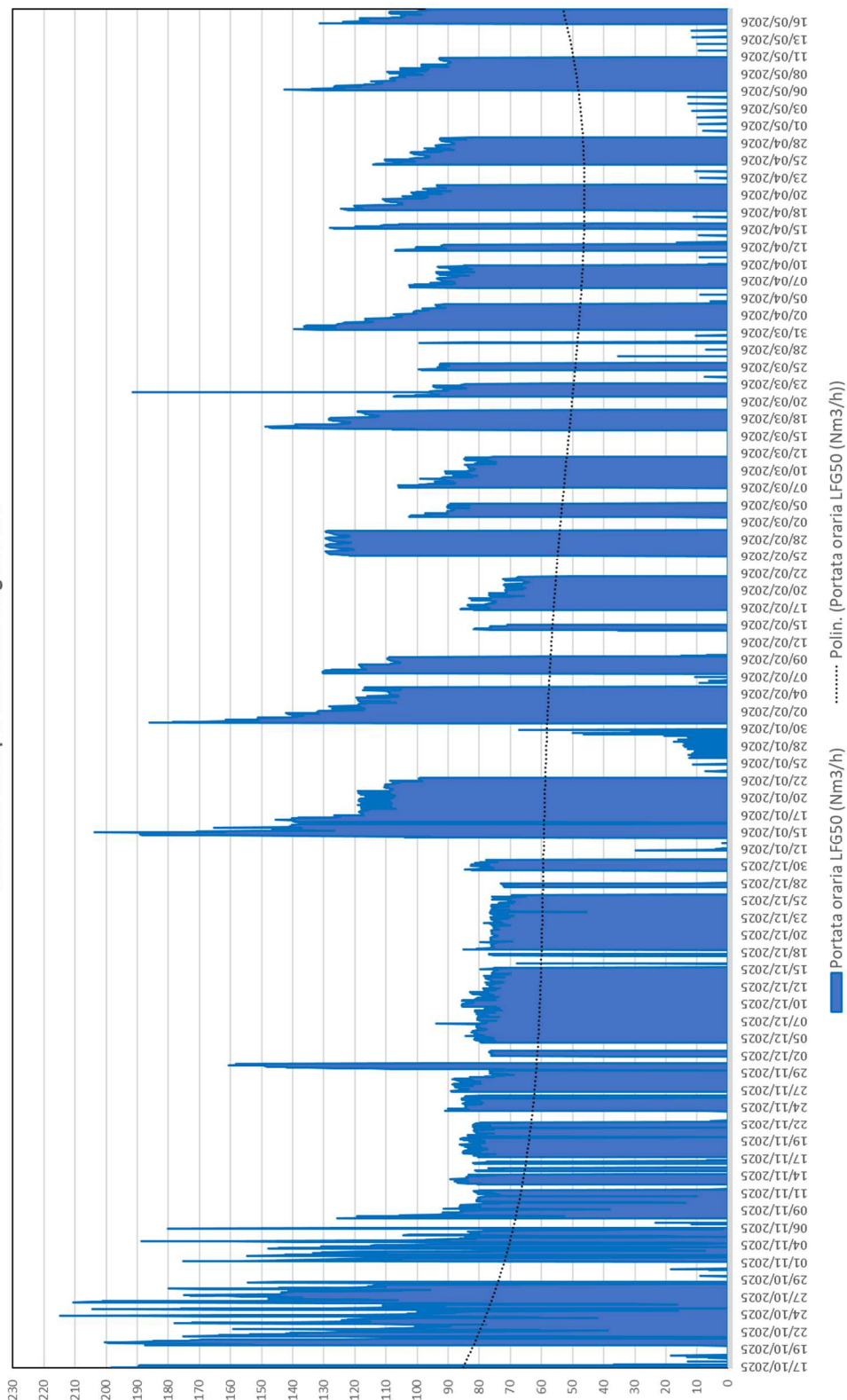
CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE

CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE

Discarica Mesangionis - Arborea (OR)
Sperimentazione biogas
Variazione della portata oraria biogas LFG50



emendo





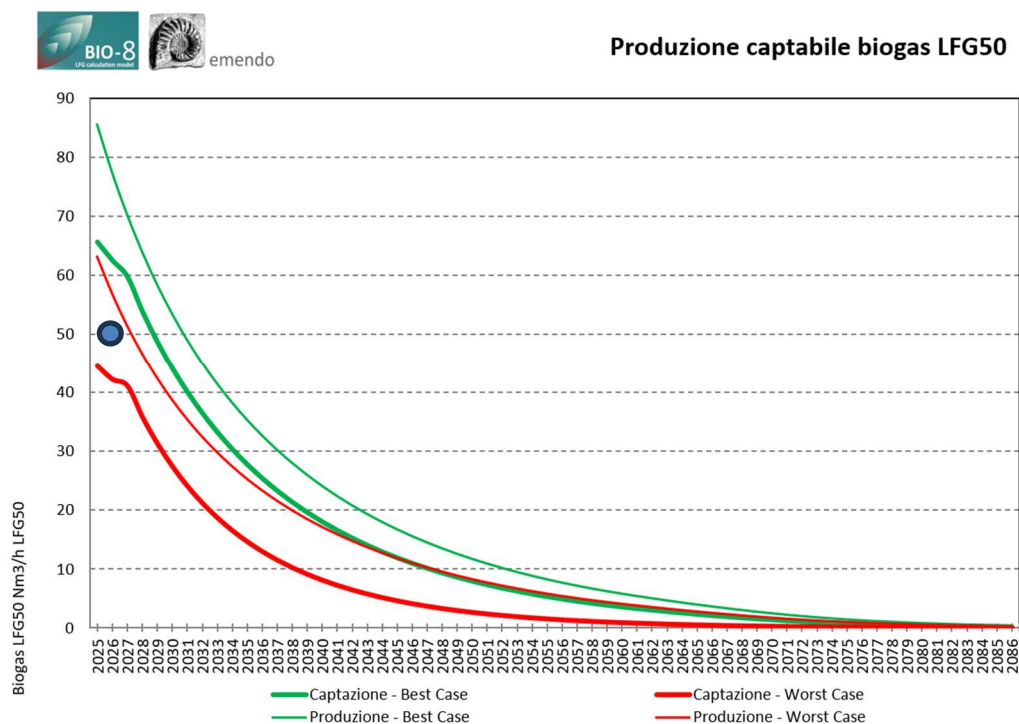
16.7. Conclusioni

La sperimentazione condotta nel periodo concesso ha raggiunto gli scopi preposti confermando che l'impostazione di una alternanza tra periodo di captazione (portata media 400 Nm³/h) e periodo di riposo (circa 12- 24 ore) permettono un adeguato controllo della produzione del biogas.

La portata media di biogas LFG50 estratto è su flussi di 50 Nm³/h ed è corrispondente ad un trattamento adeguato (sempre con temperature di combustione superiori a 850 °C) di circa 25 Nm³/h di metano.

Tale riscontro è di notevole importanza poiché coincide con la produzione captabile di biogas (LFG50) compresa tra 42 e 63 Nm³/h indicata dal modello di calcolo BIO-8 (anno 2026) precedentemente rappresentato.

La sovrapposizione è riportata nella figura seguente.



Sovrapposizione captazione nel corso della sperimentazione alle previsioni BIO-8

La ciclicità di funzionamento consente di raggiungere lo scopo di estrarre e trattare il biogas prodotto anche senza garantire una completa continuità di servizio.



17. Opzioni di trattamento del biogas

Si ritiene adeguato valutare, nell'ambito del presente studio, tutte le opzioni di trattamento del biogas previste dalla normativa vigente e rese disponibili dallo stato dell'arte.

Definita la produttività di biogas della discarica si può pertanto procedere alla valutazione complessiva delle tecnologie ed i criteri di trattamento del biogas applicabili al caso specifico.

Per ogni scenario di seguito evidenziato verrà valutato un impegno impiantistico, comprese le relative considerazioni e complessità operative, oltre che l'impegno gestionale necessario alla sua futura gestione e monitoraggio.

Le tecniche di trattamento del biogas devono essere inoltre inquadrare nella logica delle BAT (*Best Available Techniques*), in riferimento a quanto disposto dall'art.29-bis del D.Lgs 152/06 che prevede che il gestore dell'impianto applichi tecniche impiantistiche, di controllo e gestione che, tra quelle tecnicamente realizzabili ed economicamente sostenibili, garantiscano bassi livelli di emissione di inquinanti, l'ottimizzazione dei consumi di materie prime, prodotti acqua ed energia ed un adeguata prevenzione degli incendi.

Nel seguito verranno pertanto considerate tutte le opzioni possibili, anche quelle ovviamente meno praticabili per motivi tecnici o economici. Tale volontà di fornire il più ampio spettro di soluzioni è motivata dalla volontà di fornire completi ed oggettivi riscontri per la valutazione finale della scelta.

Le tipologie, o scenari, di trattamento di seguito sviluppate sono riferite a cinque diversi livelli:

- Scenario 1: Recupero energetico;
- Scenario 2: Combustione in torcia;
- Scenario 3: Bio-ossidazione Centralizzata (BOC);
- Scenario 4: Bio-ossidazione in situ (BOIS);
- Scenario 5: Libera emissione.

17.1. Scenario 1: recupero energetico del biogas

Il D.Lgs 121/20, all'allegato 1, punto 2.5 "controllo dei gas" cita testualmente:

"Le discariche che accettano rifiuti biodegradabili devono essere dotate di impianti per l'estrazione dei gas che garantiscano la massima efficienza di captazione e il conseguente utilizzo energetico, ove questo venga ritenuto tecnicamente fattibile."

"... L'effettivo riutilizzo energetico è subordinato ad una produzione minima del biogas realmente estraibile caratterizzata da una portata non inferiore a 100 Nm³/h e da una durata del flusso previsto ai valori minimi non inferiore a 5 anni."



Considerato che il riferimento normativo è inerente al *“biogas realmente estraibile”* e quindi alla captabilità, si osserva che la massima disponibilità attuale, precedentemente stimata tra 42 e 63 (media 52,5) Nm³/h di biogas LFG50, **appare già ampiamente inferiore alla soglia normativa dei 100 Nm³/h.**

La successiva prescrizione della *“finestra temporale”* di cinque anni, necessaria per una sostenibilità economica dell’investimento, è in ulteriore progressiva regressione; nel 2031 la captabilità di biogas è prevista tra 24 e 40 Nm³/h di biogas, molto inferiore a quella attuale.

Tali valutazioni inducono a valutare che **non esiste l’obbligo normativo di svolgere un recupero energetico.**

17.2. Scenario 2: combustione in torcia del biogas

Questo scenario viene prescritto dal D.Lgs 36/03 e ribadito dal D.Lgs 121/20:

“... Nel caso di impraticabilità del recupero energetico la termodistruzione del biogas deve avvenire in idonea camera di combustione a temperatura $T > 850$ °C, concentrazione di ossigeno maggiore o uguale a 3% in volume e tempo di ritenzione maggiore o uguale a 0,3 s.”

L’impianto attualmente presente rientra nelle dotazioni prescritte per tale scenario.

Come descritto nei capitoli precedenti, presso la discarica è infatti presente un impianto dotato di torcia (combustore adiabatico ad alta temperatura) con capacità tra 80 e 400 Nm³/h biogas LFG50.

La torcia sarebbe già ora sovradimensionata alle effettive esigenze in quanto la sua portata minima di 80 Nm³/h biogas LFG50 è superiore alle attuali disponibilità di biogas (in media circa 52,5 Nm³/h biogas LFG50).

Questa è probabilmente la causa dei frequenti spegnimenti dell’impianto.

In conclusione, **si ritiene che la torcia in esercizio sia già da ora sovradimensionata per le esigenze di combustione**

Il sistema proposto da CIPOR prevede quindi **un utilizzo intermittente dell’attuale impianto** di combustione del biogas con portate *“medie”* adeguate alle disponibilità di biogas.

In pratica la soluzione prevede di distribuire la captazione su tempi inferiori rispetto alle 24h/giorno in modo da aumentarne la portata specifica del periodo operativo garantendo il pieno rispetto della temperatura minima di combustione.

Tale volontà di proseguire per quanto possibile la tecnica della ossidazione termica del biogas (combustione in torcia) è dettata dalla **elevata efficienza di tale trattamento che si estende anche oltre il 99% della quantità del metano captato.**



I sistemi di ossidazione biologica, descritti nei successivi scenari **non raggiungono queste prestazioni** e dovrebbero essere utilizzati solo quando è impossibile la combustione.

17.3. Scenario 3: ossidazione biologica centralizzata del biogas (BOC)

Il D.Lgs 121/20, all'allegato 1, punto 2.5 "controllo dei gas" cita testualmente: *"... In presenza di una produzione di metano inferiore a $0,001 \text{ Nm}^3/\text{m}^2/\text{h}$, sarà possibile far ricorso alla ossidazione biologica in situ, mediante l'utilizzo di biofiltri o l'allestimento di coperture bio-ossidative adeguatamente progettate e dimensionate."*

Nel capitolo 5.1, relativo alle Normative di riferimento, era già stato sviluppato questo argomento.

Considerando la superficie "emissiva" della discarica di circa 45.000 m^2 ed applicando la soglia indicata dalla Normativa vigente, si evidenzia una portata "limite" per la bio-ossidazione in situ di $51 \text{ Nm}^3/\text{h}$ di metano corrispondenti a $102 \text{ Nm}^3/\text{h}$ di biogas LFG50.

- | | |
|--|--|
| ▪ Superficie emissiva: | 45.000 m^2 |
| ▪ Soglia per la bio-ossidazione ($0,001 \text{ Nm}^3\text{CH}_4/\text{h}/\text{m}^2$): | $45 \text{ Nm}^3\text{CH}_4/\text{h}$ |
| | <i>equivalenti a LFG50 (CH_4 50%):</i> |
| | $90 \text{ Nm}^3\text{LFG50}/\text{h}$ |

Questa soglia risulta essere già decisamente superiore alle presunte prestazioni di captabilità determinate ($44 - 65 \text{ Nm}^3/\text{h}$ di biogas LFG50).

La Norma fa però riferimento **alla produzione e non alla captabilità**, applicando tale riferimento precedentemente definito compreso tra 57 e $77 \text{ Nm}^3/\text{h}$ di biogas LFG50 (media 67) **la soglia risulta essere quasi coincidente ai valori calcolati.**

In conclusione, l'applicazione della tecnica di bio-ossidazione sarebbe già consentita dalla normativa vigente.

Seguendo però il ragionamento premesso che preferisce, fin quando possibile, la combustione alla bio-ossidazione, **si ritiene che questa tecnica potrà essere adottata solo al termine dell'utilizzo della torcia esistente**, esteso di un periodo di funzionamento ciclico.

La bio-ossidazione Indicata dalla Norma (D.Lgs. 121/20) viene definita "in situ", quindi dovrebbe essere svolta direttamente al punto di emissione.

Il testo di Legge cita *"... l'utilizzo di bio-filtri o l'allestimento di copertura biossidative"*.

Si osserva che tali tipi di coperture dovrebbero essere "permeabili", requisito invece contrastante con la stratigrafia previste per le coperture definitive dallo stesso dispositivo normativo.



Il sistema Centralizzato di bio-ossidazione (BOC) prevede invece la captazione forzata dei biogas con le stesse dotazioni oggi disponibili (pozzi, reti, aspiratori).

Il BOC è in grado di trattare basse concentrazioni di metano. Anzi, si osserva che le migliori prestazioni di ossidazione si ottengono con le minori concentrazioni di CH_4 .

Questa caratteristica operativa consente la possibilità di procedere nella azione di estrazione forzata **anche con concentrazioni di metano molto basse**.

Questa esigenza (bassi tenori di metano) porta spesso alla necessità di dover “pre-ossidare” il metano nel biogas estratto fino a raggiungere le migliori concentrazioni adeguate alla successiva ossidazione (CH_4 circa 2-3%).

Normalmente questo scenario di trattamento viene applicato “dopo” lo scenario della ossidazione termica, sfruttando la presenza di una rete di trasporto e della stazione di estrazione dinamica (aspiratore) già in precedenza utilizzata.

Il dimensionamento di un futuro impianto di trattamento BOC potrà essere basato su di un flusso di circa $30 \text{ Nm}^3/\text{h}$ di biogas LFG50 corrispondenti a $15 \text{ Nm}^3/\text{h}$ di metano.

Tale tipologia di gas, se considerata ad una presenza di metano al 5% (LFG05) corrisponde ad un flusso complessivo di $300 \text{ Nm}^3/\text{h}$; portata ancora perfettamente compatibile con le prestazioni del sistema di aspirazione ($300 \text{ Nm}^3/\text{h}$).

Tale soluzione consentirebbe la prosecuzione del servizio dell'unità di aspirazione esistente abbinata ad un biofiltro senza soluzione di continuità rispetto all'uso attuale.

17.4. Scenario 4: ossidazione biologica in situ del biogas (BOIS)

La differenza tra le due soluzioni di ossidazione biologica indicate dalla Normativa vigente considera il fatto che i sistemi di Bio-Ossidazione “In Situ” (BOIS) sono localizzati in più punti della superficie della discarica, facilmente identificabili, controllabili, manutenzionabili e monitorabili.

Per coperture bioossidative si intendono invece coperture continue, senza soluzione di continuità.

Si ritiene che sia preferibile proporre la soluzione impiantistica dei BOIS, più facilmente valutabile dal punto di vista costruttivo ed ovviamente monitorabile.

Inoltre, una copertura bio-ossidativa “continua” richiederebbe caratteristiche di permeabilità ai gas che contrastano con le stesse prescrizioni normative quando identificano la stratigrafia del capping definitivo inserendo strati impermeabili alla diffusione dei gas.



I sistemi BOIS possono essere potenzialmente equivalenti alle “bio-windows” che generalmente sono costituite da limitate porzioni di copertura (di pochi metri quadrati) dove la stratigrafia del capping è sostituita con materiale permeabile e bio-ossidante.

Anche tale soluzione consente però un limitato controllo delle infiltrazioni di acqua piovana all'interno della discarica e quindi rischia di essere in contrasto con le prescrizioni relative.

Il vantaggio dei BOIS risiede nel fatto che non è richiesta una centralizzazione del trattamento e quindi rendono inutili le reti di trasporto, deumidificazione, regolazione e la Centrale di Estrazione. Inoltre, i BOIS non richiedono nessun impianto elettrico e quindi consentono un notevole risparmio economico di gestione rispetto il sistema centralizzato BOC.

Tecnicamente i BOIS dovrebbero essere in grado di:

- Essere facilmente distinguibili dalla copertura definitiva;
- Evitare infiltrazioni di acque meteoriche nella sottostante massa dei rifiuti;
- Avere adeguati volumi, superfici e spessori di massa reagente in grado di garantire al meglio le condizioni di bio-ossidazione intese come carico superficiale, volumetrico e tempo di residenza;
- Essere facilmente manutenzionabili;
- Consentire un monitoraggio prestazionale di ossidazione (rapporto CH₄ in / out).

Normalmente non esiste un passaggio “diretto” tra soluzione BOC e BOIS, nel senso che alcuni pozzi, decisamente improduttivi, potranno essere disconnessi dalla rete di captazione affluente al BOC in anticipo ed attrezzati alla funzione BOIS.

Questa progressione operativa proseguirà fino alla completa dotazione di tutti i 32 elementi di captazione in esalatori controllati BOIS ed il conseguente spegnimento dell'impianto BOC.

17.5. Scenario 5: libera esalazione del biogas

Tale soluzione è ovviamente quella finale in quanto ammette **che il flusso di biogas possa essere immesso in atmosfera liberamente**, senza nessun trattamento preliminare.

Per la valutazione degli scenari futuri è pertanto determinante definire un valore “finale” di libera emissione di biogas (LE) ambientalmente compatibile, **ma diverso da “zero”**.

È infatti impossibile garantire una emissione nulla di biogas da una discarica, mentre sarebbe invece opportuno concordare con gli Enti una soglia di accettabilità di emissione in atmosfera (scarsa significatività). Tale concetto è peraltro già comunemente applicato per le emissioni liquide per le quali sono chiaramente definiti i livelli di compatibilità ambientale.

Il D.Lgs. n. 155/2010, attuazione della direttiva 2008/50/CE, esprime il concetto di **concentrazioni soglia di contaminazione** (CSC): i livelli di contaminazione delle matrici



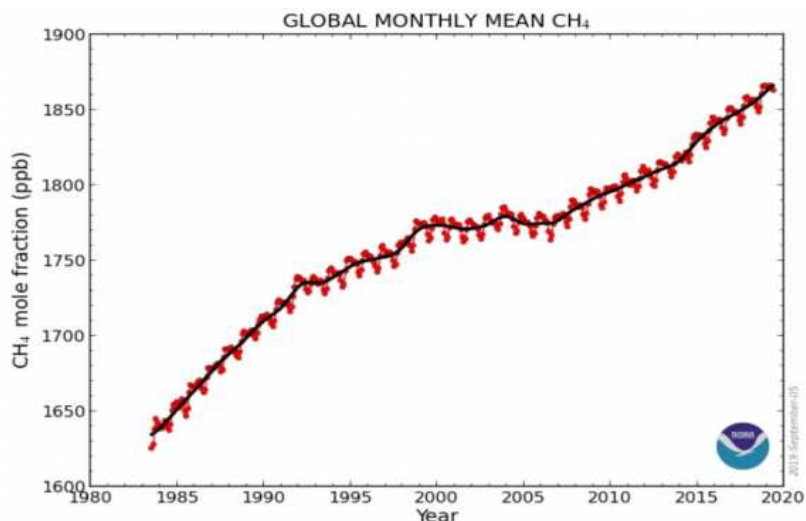
ambientali che costituiscono valori al di sopra dei quali è necessaria la caratterizzazione del sito e l'analisi di rischio sito specifica.

Nel caso in cui il sito potenzialmente contaminato sia ubicato in un'area interessata da fenomeni antropici o naturali che abbiano determinato il superamento di una o più concentrazioni di soglia di contaminazione, queste ultime si assumono pari **al valore di fondo esistente** per tutti i parametri superati.

Il metano è inoltre già naturalmente presente nell'atmosfera.

Studi recenti (NOAA) hanno evidenziato una presenza media nell'aria di circa 1850 ppb (1,9 ppm) di CH_4 .

Si riporta di seguito un grafico con la tendenza della presenza di metano in atmosfera.



Presenza di metano in atmosfera (fonte : NOAA)

Numerose altre attività antropiche e naturali contribuiscono all'emissione di metano in atmosfera, si prenda ad esempio l'allevamento di bovini: ogni mucca emette in atmosfera tra 70 e 120 kg di metano all'anno corrispondenti a circa 0,01-0,02 Nm^3/h di metano (0,02-0,04 Nm^3/h di biogas LFG50).

Ne consegue che esiste, per il metano, un "valore di fondo" (come definito dalle Norme) già differente da zero.

Si ricorda inoltre **la necessità di differenziare le emissioni di metano di tipo "fossile" da quelle non fossile.**

Tale distinzione è stata recentemente inserita anche nel criterio di valutazione del GWP (Global Warming Potential) emesso dalla IPCC. Il metano contenuto nel biogas, data l'origine



di fermentazione di sostanza organica recentemente fermentata **non è assolutamente di tipo "fossile"**.

Fatte queste premesse si ritiene adeguato proporre una soglia di emissione residuale del biogas adeguata ed ambientalmente compatibile.

Al fine di valutare meglio questo scenario residuale si richiamano alcuni riferimenti normativi e Linee Guida già citati nei primi capitoli della presente relazione.

La **DGRV della Regione Veneto n° 995 del 2000** (oramai molto datata) evidenzia che la libera emissione di biogas in atmosfera è ammissibile solo se **il flusso è inferiore a 10 m³/h**.

Tale indicazione è però generica in quanto non fa riferimento al tipo di biogas (concentrazione di metano) né alla dimensione e superficie e tipo della discarica. Il concetto interessante è comunque la possibilità di una libera esalazione in presenza di modesti flussi di biogas.

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**.

Le indicazioni lombarde contenevano due elementi innovativi circa il controllo delle emissioni del biogas in atmosfera.

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 Nm³ CH₄/m²/h**. Lo stesso limite è stato ripreso e adottato dal più recente e vigente D.Lgs 121/20. Tale logica di valutazione è già stata considerata nello scenario di trattamento di bio-ossidazione (BOC e BOIS) precedentemente sviluppato.

La seconda novità era il limite ammesso come **emissione "finale" (a copertura definitiva realizzata e periodo di post-chiusura passato)** di metano in atmosfera pari a **0,5 NI CH₄/m²/h**.

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

In considerazione alle superfici esposte si applicano di seguito le valutazioni di flusso, (già riferite al capitolo 5.1) espresse in Nm³CH₄/h/m², unità di misura ricorrente nelle varie norme:

- | | |
|--|--|
| ▪ Superficie emissiva: | 45.000 m ² |
| ▪ Soglia QFD – Quality Finale Discarica (0,5 NI CH ₄ /h/m ²): | 22,50 Nm ³ CH ₄ /h |
| <i>equivalenti a LFG50 (CH₄ 50%):</i> | 45 Nm ³ LFG50/h |
| ▪ Soglia significatività (0,2 NI CH ₄ /h/m ²): | 9,0 Nm ³ CH ₄ /h |
| <i>equivalenti a LFG50 (CH₄ 50%):</i> | 18,0 Nm ³ LFG50/h |



Tornando al riferimento per la “libera emissione” ed applicando la Normativa “**Delibera XI n° 4423 del 17/03/2021**”, sempre della Regione Lombardia, che abbassa ulteriormente la soglia di “significatività” indicandola a **0,2 NI CH₄/m²/h** si osserva una soglia di circa 20 Nm³LFG50/h

Tale riferimento, in riferimento alla prospezione teorica del modello BIO-8, potrebbe essere raggiunto dopo il 2040.

17.6. Raffronto scenari

Per un più semplice raffronto dei cinque scenari si riporta di seguito una tabella comparativa.

TABELLA PRESCRIZIONI GESTIONALI PER IL TRATTAMENTO GAS DA DISCARICA

 emendo		ASPIRAZIONE FORZATA	LIMITE RIFERITO AL FLUSSO TOTALE	LIMITE RIFERITO ALLA QUALITA' LFG	LIMITE RIFERITO AL FLUSSO UNITARIO	TIPO DI TRATTAMENTO	EFFICIENZA TRATTAMENTO
			Nm ³ /h	% CH ₄	Nm ³ /m ² /h CH ₄		% ossidazione CH ₄
FASE 1							
Recupero energetico	RE	SI	> 100 ⁽¹⁾	> 40% ⁽⁴⁾	NO	Ossidazione termica	> 99%
Per almeno 5 anni consecutivi			Produzione captabile per almeno 5 anni (1)				
FASE 2							
Combustione in torcia	T	SI	NESSUNO	> 25% ⁽⁵⁾	NO	Ossidazione termica	> 99%
Temperatura > 850°C (1) Tempo residenza > 0,3 " (1) Ossigeno residuo > 3% (1)			Se >100 obbligo RE (1)				Se combustore adiabatico ad alta temperatura
FASE 3							
Bio-ossidazione Centralizzata	BOC	SI	NESSUNO	< 5% Probabile pre-diluizione	< 0,001 ⁽¹⁾ Prod. teorica CH ₄ (1)	Ossidazione biologica	> 65% ⁽³⁾
FASE 4							
Bio-ossidazione in situ	BOIS	NO	NESSUNO	< 5%	< 0,001 ⁽¹⁾ Prod. teorica CH ₄ (1)	Ossidazione biologica	Variabile
FASE 5							
Libera Emissione copertura ossidativa	LE	NO	NESSUNO	NESSUNO	< 0,0002 ⁽²⁾ Prod. teorica CH ₄ (1)	Ossidazione biologica	Variabile

Nota (1): riferimento D.Lgs 121/20 - all.1 - Punto 2.5

Nota (2): riferimento DGRL 4423/21 - limite di scarsa significatività emissione metano

Nota (3): riferimento Prescrizioni efficienza Bio-ossidatori Città Metropolitana Torino

Nota (4): limite prestazionale motori endotermici ciclo 8

Nota (5): limite prestazionale combustori adiabatico (torce)

Volendo sviluppare un criterio di “prestazionalità” dei cinque scenari si sviluppa, nella figura seguente, un confronto tra i risultati di trattamento del biogas in proporzione dei flussi di biogas trattabili

La fascia verde indica la adeguatezza del sistema di trattamento alle condizioni di flusso.



La fascia gialla indica invece la zona “instabile” di prestazione con efficienze di trattamento non sempre adeguate e conformi alle esigenze e prescrizioni.

La fascia rossa infine evidenzia la zona critica per la quale il tipo di trattamento è sconsigliabile anche se teoricamente ancora “possibile”.

Infine, la fascia grigia evidenzia la zona di non funzionalità del sistema.

Il campo tratteggiato indica la prestazione attuale attesa per la captazione del biogas, tra circa 42 e 63 Nm³/h di biogas LFG50.

Si precisa che il criterio di valutazione del grafico è basato anche sulla effettiva disponibilità di dotazioni di trattamento sul mercato e quindi sulla “applicabilità” impiantistica del trattamento, in linea con il criterio BAT.

Si evidenzia che i primi due scenari di ossidazione termica (recupero e torcia) tendono ad avere un limite “inferiore” ma non hanno limiti superiori e quindi confermano l’applicabilità del tipo di trattamento per grandi flussi di biogas (ovviamente nelle taglie adeguate).

Gli ultimi tre scenari capovolgono il concetto evidenziando un limite “superiore” e quindi l’idoneità per flussi minori, tendenti a zero.

Portata biogas LFG50 (Nm ³ /h)			5	10	20	50	75	100	200	500	1000	>1000
Fase 1	Recupero energetico	RE										
Fase 2	Combustione in torcia	T										
Fase 3	Bio-ossidazione Centralizzata	BOC										
Fase 4	Bio-ossidazione in situ	BOIS										
Fase 5	Libera Emissione copertura ossidativa	LE										

Come evidente nella figura, la situazione attuale si inserisce nei seguenti contesti:

- **Recupero energetico:** NON PRATICABILE;
- **Combustione in torcia** – PRATICABILE (con funzionamento ciclico);
- **Bio-ossidazione centralizzata** – PRATICABILE;
- **Bio- ossidazione in situ** – PREMATURA;
- **Libera emissione** – PREMATURA.



Volendo applicare le soglie precedentemente descritte alla discarica in oggetto si evidenziano le note seguenti dove sono riportate le soglie riferibili ai diversi scenari di trattamento:

- **La soglia di significatività della emissione**, riferibile alla produzione, secondo la DRL 4423/21 pari a **18,00 Nm³/h biogas LFG50**;
- **Il limite QFD**, riferibile alla produzione, secondo la DRL 2461/14 pari a circa **45 Nm³/h biogas LFG50**;
- **Il limite di applicabilità della bio-ossidazione**, riferibile alla produzione, secondo il D.Lgs 121/20 punto 2.5 pari a circa **90 Nm³/h biogas LFG50**;
- Il limite di portata per **il recupero energetico**, riferibile alla captazione, secondo il D.Lgs 121/20 punto 2.5 pari a **100 Nm³/h biogas LFG50**.



18. Proposta di trattamento del biogas

A seguito della precedente analisi sembrerebbero, nel contesto attuale, applicabili due scenari: la combustione “ciclica” presso la torcia esistente e la bio-ossidazione centralizzata (BOC) presso lo stesso impianto attrezzato con biofiltro.

La prima opzione si concentra sulla combustione in torcia fino al limite minimo di operatività della macchina esistente in modo intermittente.

Si ritiene quindi necessario di prolungare nel tempo il funzionamento della torcia nel rispetto delle normative e prescrizioni.

Occorre però considerare che la torcia attuale, dimensionata e realizzata sulle esigenze di picco, ha un campo operativo tra 80 e 400 Nm³/h biogas LFG50, non molto lontano dai flussi già oggi captabili (circa 50 Nm³/h biogas LFG50).

Per evitare la sua sostituzione con una torcia più piccola, si propone una soluzione “intermedia” mediante funzionamento automatizzato a cicli periodici.

Il sistema proposto prevede **un utilizzo intermittente dell’attuale impianto** centralizzato di combustione del biogas con portate adeguate alle sue caratteristiche e già applicato nel corso della fase sperimentale.

In pratica la soluzione prevede di distribuire la produzione del biogas (costante: 24 ore al giorno) su tempi inferiori di captazione in modo da aumentarne la portata specifica del periodo operativo garantendo il pieno rispetto della temperatura minima di combustione.

Questa funzionalità potrà essere consentita da una semplice modifica del sistema di avviamento e riaccensione rendendolo automatizzato.

In funzione della programmazione imposta, l’impianto provvede alla sola “accensione” mentre lo spegnimento è condizionato dalla presenza di condizioni considerate anomale (bassa qualità del biogas e bassa temperatura di combustione).

Lo scopo è quello di lasciare, dopo lo spegnimento dell’impianto, un breve periodo di tempo entro il quale il biogas possa tornare a prodursi nella discarica e quindi essere captato a seguito della successiva accensione programmata.

Il funzionamento “ciclico” alternerebbe brevi periodi di pausa a periodi di funzionamento con condizioni migliori in quanto la maggiore disponibilità di biogas consentirebbe una combustione a temperature più elevate e conformi alla normativa.

Ovviamente occorrerà garantire che “l’accumulo” di biogas nella discarica non possa essere tale da causare fenomeni di sovrappressione e potenziale causa di emissioni diffuse.

Già la copertura impermeabile (geomembrana HDPE) della discarica fornisce adeguato limite a tale fenomeno, ma per evitare che tale dotazione debba contenere eventuali “sovrappressioni” verrà introdotto un sistema pressostatico sulla linea in ingresso della



Centrale di Aspirazione in grado di rilevare una soglia minima di pressione relativa nella rete gas oltre la quale l'impianto verrà immediatamente riavviato ritornando alla condizione di aspirazione e combustione.

Quando la torcia si spegne per carenza di biogas (spegnimento "naturale") o per incapacità nel raggiungimento della temperatura prefissata (spegnimento "forzato") il timer inizia un conto alla rovescia (countdown) per un periodo regolabile e contemporaneamente il contatore indica il tempo intercorrente alla prossima riaccensione automatica.

Parallelamente uno strumento rileva con continuità la pressione relativa nella condotta principale di trasporto del biogas; qualora fosse superiore al set point viene bypassato il countdown "ciclico" ed attivata automaticamente ed immediatamente la riaccensione della torcia e della aspirazione.

In pratica la torcia, a seguito di uno spegnimento per carenza di biogas, verrà riaccesa nel caso di una sola delle due seguenti condizioni:

- **Ritardo temporale automatico;**
- **Superamento del set-point di pressione positiva.**

I parametri di set-point saranno variabili, si propongono i seguenti range:

- **Range temperatura di spegnimento forzato:** 700 – 900 °C
- **Range tempo di pausa dopo spegnimento:** 6 / 24 ore – step 1 ora
- **Range pressione:** 4 / 6 hPa – step 0,5 hPa

La seconda opzione non è alternativa alla prima ma complementare alla stessa. L'inserimento di un biofiltro nell'impianto consentirà infatti una diversa destinazione del biogas captato dal sistema di aspirazione.

Il gruppo di aspirazione attuale, per portata e prevalenza, è infatti perfettamente adeguato anche all'uso combinato con la bio-ossidazione; si ritiene pertanto che tale dotazione potrà essere ampiamente idonea per il servizio attuale e futuro di captazione con destinazione alla torcia oppure al sistema di bio-ossidazione centralizzato (BOC).

La torcia esistente rimarrà comunque in servizio ed installata pronta a prendere il servizio in ogni momento. Tale opzione sarà utile nel caso di spegnimenti prolungati della captazione per cause esterne o accidentali; al momento della riaccensione potrà infatti essere possibile che il biogas sia tornato ad aumentare il proprio tenore di metano e quindi sarà necessario inviare in torcia tale "accumulo", il quale probabilmente si esaurirà in breve tempo consentendo il ritorno all'uso del biofiltro.



18.1. Proposta gestionale e di monitoraggio

Le modifiche impiantistiche proposte e le attività di verifica e adeguamento della rete di captazione consentiranno la prosecuzione della gestione e trattamento del biogas.

Si prevede che l'impianto potrà funzionare, in ordine cronologico, con le seguenti configurazioni:

- Funzionamento a cicli alternati della torcia esistente;
- Funzionamento continuo del Bio-ossidatore centralizzato BOC.

La gestione della rete, in funzione delle prestazioni "finali" dei suoi elementi, passerà poco per volta alla bio-ossidazione in situ (BOIS) la quale verrà lasciata in opera anche nella successiva fase finale di "libera emissione".

Nella condizione di utilizzo del BOC, la torcia rimarrà comunque presente ed operativa e verrà utilizzata in condizioni particolari, quali ad esempio dopo periodi di interruzione del sistema di captazione quando si prevede un accumulo e maggiore concentrazione di metano.

La gestione degli impianti dovrà considerare che la torcia potrà funzionare fino ad una concentrazione minima di metano, ma garantendo sempre la temperatura minima di combustione di 850 °C.

Al di sotto del limite minimo di metano, tale da rendere non più possibile una combustione con torcia, il "carico" dovrà essere passato al BOC al quale però la miscela di metano non dovrà superare il 5%, ne consegue che nella condizione intermedia **il biogas dovrà essere pre-ossidato** secondo una logica prevista dal costruttore del BOC (aspiratore di miscelazione).

Il monitoraggio della Centrale di trattamento del biogas (torcia e successivo BOC) sarà in gran parte affidato alla strumentazione di processo già esistente che provvederà alla registrazione automatica di tutti i parametri a cadenza oraria.

Si ritiene sia necessaria una ispezione a cadenza minima mensile per le operazioni di controllo, manutenzione ordinaria, trascrizione dei parametri registrati e redazione di una scheda mensile sulla quale riportare tutte le informazioni indicative necessarie poi al rapporto e rendicontazione agli Enti di controllo.



18.2. Proposta di modifica impiantistica per il funzionamento ciclico

L'applicazione pratica del sistema "ciclico" di funzionamento del sistema di combustione (torcia) richiede la presenza di tre sistemi di controllo ed attuazione automatica, già in parte presenti sull'impianto esistente.

18.2.1. Temporizzatore funzionamento

Il temporizzatore sarà costituito da un interruttore temporizzato che si attiverà allo spegnimento della torcia causato da due possibili condizioni:

- Carenza delle condizioni qualitative del biogas;
- Temperatura di combustione inferiore al limite prescritto (<850°C).

Nel primo caso la mancanza di metano o l'eccesso di anidride carbonica causeranno l'impossibilità di proseguire l'azione di ossidazione termica; nel secondo caso il segnale (continuo) della temperatura scenderà al di sotto del set-point prefissato e il sistema si disattiverà automaticamente, indipendentemente dalla qualità del biogas.

Allo spegnimento si attiverà un "count-down" automatico con intervallo regolabile sull'unità oraria.

Nella fase iniziale della gestione, sulla base dei riscontri sperimentali, **tale intervallo sarà impostato a 24 ore** ma potrà essere modificato sulla base della situazione effettiva legata alla regressione progressiva della disponibilità di biogas.

L'intervallo del tempo di riaccensione sarà costantemente indicato sulle schede mensili di gestione trasmesse agli Enti.

Lo strumento di attuazione del count-down dovrà evidenziare il tempo "mancante" alla prossima riaccensione automatica consentendo al personale CIPOR e agli Enti di controllo di definire, con esattezza, l'ora dello spegnimento e l'ora della prevista accensione. Tali dati sono in ogni caso registrati dal sistema di controllo della torcia (a cadenza oraria) e quindi scaricabili a PC mediante foglio excel. L'evidenziazione locale è quindi utile solo alla valutazione istantanea della condizione di funzionamento.

Dal punto di vista della sicurezza degli ambienti di lavoro l'impianto dovrà essere dotato della adeguata cartellonistica indicante la condizione di accensione automatica.

Ogni intervento di manutenzione dovrà necessariamente prevedere la preventiva disconnessione dalla rete elettrica della alimentazione della torcia.

18.2.2. Controllo temperatura di combustione

La torcia è dotata di una termocoppia che rileva, evidenzia e registra la temperatura di combustione, la quale non deve essere inferiore a 850 °C.



Tale condizione è possibile nelle fasi precedenti allo spegnimento della torcia per carenza di biogas ma implica una combustione al di fuori dei parametri normativi e prescrittivi.

Ne consegue che l'impianto dovrà essere dotato di un sistema di allarme automatico mediante l'inserimento di un set-point (850°C) al di sotto del quale la torcia si spegne.

Si riferisce che la torcia attuale è già stata dotata di tale dotazione.

La conferma di tale modifica è ben evidente nella parte della presente relazione che descrive i monitoraggi della temperatura di combustione durante la sperimentazione.

18.2.3. Controllo pressione rete biogas

La condizione più critica del sistema di funzionamento ciclico automatico della torcia è quella che durante l'intervallo di spegnimento possano instaurarsi condizioni di produttività "anomale" del biogas all'interno della discarica non gestibili a causa dell'inattività della torcia stessa.

Si consideri **l'influenza della pressione barometrica** che in alcune condizioni può ridurre rapidamente e drasticamente il fattore di "contropressione" esercitato dall'atmosfera sulla superficie della discarica con variazioni anche di decine di hPa. Tale condizione è imprevedibile e assolutamente normale.

La produzione del biogas è prevalentemente costante e la sperimentazione condotta ha confermato tale condizione e tali fenomeni anomali sono abbastanza rari, ma occorre considerare anche i fattori "esterni" che possono influenzare la tendenza ai flussi migratori del biogas.

Si osserva che la discarica è attualmente dotata di una copertura impermeabile continua (geomembrana LDPE) che svolge sicuramente una azione di confinamento delle potenziali emissioni "anomale". La realizzazione del capping definitivo migliorerà ulteriormente tale capacità "passiva".

Si ritiene in ogni caso dotare l'impianto di **un monitoraggio continuo della pressione relativa** all'interno della rete (punto di ingresso all'impianto) in grado di rilevare incrementi anomali e imprevisti.

Un trasduttore di pressione connesso ad un pressostato permetterà di valutare la condizione di positività della pressione nella rete e quindi della tendenza alla potenziale generazione di emissioni diffuse.

Il punto di monitoraggio, essendo connesso alla rete e quindi ai pozzi realizzati a diretto contatto con la massa dei rifiuti, consentirà di definire tale tendenza prima che la sovrappressione eserciti la propria azione al di sotto della copertura.



Quando il pressostato rileverà il superamento della soglia imposta (generalmente 3 – 4 hPa) **il sistema di count-down verrà immediatamente interrotto e la torcia riavviata consentendo la combustione del biogas.**

Si osserva che la condizione di riaccensione basata su un controllo della qualità del biogas (analisi del metano, anidride carbonica ed ossigeno), sebbene possibile (sistema di analisi presente), non funzionerebbe in quanto avrebbe bisogno di un “flusso” di gas, mentre nei momenti di “riposo” della torcia il gas è “fermo”.

Tale osservazione conferma l'utilità del solo parametro di pressione in grado di modificarsi istantaneamente in tutta la rete di captazione, anche con la torcia spenta.

L'intervento sopra descritto sarà analiticamente rilevabile dal file di gestione (cadenza oraria) della torcia che evidenzierà la condizione di riavvio per sovrappressione.



19. Conclusioni

Sulla base delle osservazioni svolte sulle informazioni messa a disposizione del Committente CIPOR e dei riscontri analitici e calcoli svolti **è stato possibile verificare la produzione teorica e captabile del biogas generato dalla discarica in oggetto.**

Contestualmente, sull'impianto è stata condotta una sperimentazione di circa sette mesi che ha consentito, dopo varie configurazioni applicate, di verificare e poi confermare la possibilità di un uso "ciclico" dell'impianto come equivalente a quello continuativo.

E' stato inoltre possibile valutare la funzionalità e il dimensionamento delle opere oggi presenti definendone la compatibilità operativa con le esigenze attuali e future.

Tali ultime considerazioni hanno fatto emergere alcune necessità. In particolare, **la torcia di combustione del biogas è stata considerata come sovradimensionata ma ancora utilizzabile**, con un uso ciclico che possa garantire, in ogni caso, la corretta azione di trattamento del gas.

Oltre al prolungamento massimo dell'uso della torcia sarà necessario prevedere (più avanti nel tempo) una dotazione "alternativa" di trattamento per ossidazione biologica (BOC), peraltro già applicabile secondo la normativa vigente.

Nella parte conclusiva della presente relazione sono stati proposti, una serie di interventi orientati alla continuità della azione di gestione del biogas.

La soluzione gestionale proposta di funzionamento "ciclico" dell'impianto esistente consentirà numerosi vantaggi operativi ed ambientali.

La continuità di prosecuzione dell'ossidazione termica (combustione) del biogas a temperature adeguata (controllo termostatico automatico) permetterà **un trattamento completo del biogas.**

Il funzionamento intermittente eviterà l'esigenza di "ridurre" l'azione di captazione con lo scopo di mantenere una "continuità" di funzionamento, tale condizione consentirà di incrementare le depressioni e portate applicate e conseguentemente **incrementare l'efficienza di captazione.**

Il controllo automatico e continuo della pressione interna alla rete di captazione consentirà di **evitare condizioni di "sovrapressione" nella discarica**, le quali potrebbero potenzialmente causare emissioni diffuse. Tale sistema permetterà di contrastare, automaticamente, anche fattori ambientali imprevedibili quali le regressioni repentine della pressione atmosferica o gli incrementi di produttività causati da variazioni dell'umidità dei rifiuti.



emendo



CONSORZIO INDUSTRIALE
PROVINCIALE ORISTANESE

Tutte le modifiche proposte inducono ad un **completo controllo automatico della produzione e captazione del biogas** generato dalla discarica ed al suo completo ed efficace trattamento.

Tutti i parametri gestiti automaticamente saranno monitorabili dal sistema di controllo che rileva, già ora, le condizioni di esercizio dell'impianto, come dimostrato dalla mole di dati elaborata nel corso della sperimentazione.

Sulla base di quanto esposto si rimane a disposizione per la prosecuzione delle successive fasi operative programmate nella proposta.



Sarezzano 05/06/2026

un Amministratore
Enrico Magnano