Committente:

GRUPPO WASTEITALIA

Località:

Comune di Vado Ligure (SV)
Discarica per rifiuti non pericolosi in località Bossarino

Progetto:

AMPLIAMENTO LATO EST
PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato:

RELAZIONE TECNICA BIOGAS

Numero elaborato:

R06

Codice interno del documento:

030 006R06E01

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
E01	05.08.2016	Emissione per commenti	Arianna Chini	Stefano Veggi	Stefano Veggi
E02					
E03					

Progettista:

Desmos
Ingegneria Ambiente Energia

Timbro e firma:

ORDINE INGEGNERI PROV. ALESSANDRIA
SETTORI CIVILE AMB. INDUSTR. INFORM.
STEFANO VEGGI
INGEGNERE
N° A 1054
SEZIONE A

Desmos Ingegneria Ambiente Energia s.r.l.
Sede operativa: Via Pietrasanta, 12 – 20141 Milano Sede legale: Viale Bianca Maria, 13 – 20122 Milano
E-mail: desmos-ing@desmos-ing.it - E- mail certificata: desmos-ing@pec.it
P.I e C.F. : 09016150964

S O M M A R I O

1. INTRODUZIONE 3
2. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO ESISTENTE 4
2.1 Primo ampliamento 4
2.2 Secondo ampliamento autorizzato 4
2.2.1 Drenaggio nel corpo rifiuti 4
2.2.2 Drenaggio corticale 5
2.3 Impianto di recupero energetico del biogas 5
2.4 Secondo ampliamento in variante 5
2.4.1 Drenaggio nel corpo rifiuti 5
2.4.2 Drenaggio nel corpo rifiuti del primo ampliamento 6
2.4.3 Drenaggio corticale 6
3. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO IN PROGETTO 7
3.1 Drenaggio nel corpo rifiuti 7
3.1.1 Drenaggio nel corpo rifiuti dell'impianto autorizzato 8
3.1.2 Drenaggio corticale 8
3.2 Adeguamento strutture impiantistiche esistenti 8
4. STIMA DELLA PRODUZIONE DI BIOGAS 9
4.1 Dati di input: Caratteristiche merceologiche dei rifiuti 11
4.1.1 Impianto autorizzato 11
4.1.2 Ampliamento 12
4.2 Dati di input: Quantità di rifiuto 13
4.2.1 Impianto autorizzato 13
4.2.2 Ampliamento 13
4.3 Modello stechiometrico 13
4.4 Modello cinetico 15
4.5 Stima della produzione di biogas 17
4.5.1 Impianto autorizzato 17
4.5.2 Ampliamento 17
4.6 Applicazione del modello cinetico 18

4.6.1 Impianto autorizzato 18
4.6.2 Ampliamento 18
4.7 Risultati dell'applicazione 19
4.7.1 Impianto autorizzato 19
4.7.2 Ampliamento 20
4.7.3 Autorizzato + Ampliamento 21
5. RAGGIO DI INFLUENZA E UBICAZIONE DEI DRENI 23
5.1 Drenaggi orizzontali 23
5.1.1 Dreni di fondo della macrocella (DPM+CPM+PO) 23
5.1.2 Dreni intermedi di macrocella (DBM+CBM+PB) 24
5.2 Pozzi verticali trivellati 25

Allegati:

Allegato A: Stima produzione biogas impianto autorizzato

Allegato B: Stima produzione biogas impianto autorizzato e ampliamento in progetto

1. INTRODUZIONE

Nel presente elaborato si riporta l'aggiornamento delle stime effettuate per la valutazione della produzione di biogas relativamente alla discarica nella configurazione del primo ampliamento autorizzato, del secondo ampliamento autorizzato (variante n.2), del secondo ampliamento in variante autorizzato (variante n.3) a cui si aggiunge l'ampliamento in oggetto.

In particolare sono riportate le ipotesi ed i calcoli effettuati per la determinazione del numero di pozzi di monitoraggio da installare in discarica ed alcune considerazioni riguardanti i sistemi di trattamento del biogas.

2. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO ESISTENTE

2.1 Primo ampliamento

L'impianto di captazione del biogas è costituito da una rete di 31 pozzi di captazione allestiti tramite perforazioni realizzate al procedere della coltivazione della discarica.
Il gas captato viene avviato alle stazioni di regolazione per mezzo di tubi di trasporto disposti in parallelo e da qui all'impianto di combustione.
L'impianto di estrazione e combustione, è costituito da due elementi:

- un aspiratore monostadio MEIDINGER tipo FVR 4000 Spez (n° di serie 174802/7 - 1997), portata di 440 m^3/h valutata ad una densità del gas di 1,1 kg/m^3 ed una temperatura di 20°C.
- un combustore adiabatico refrattario avente potenza nominale di 720 kWt equivalente ad una portata nominale 150 Nm^3/h

Il combustore originale è stato sostituito nel 2005 al fine di adeguare l'impianto alle prescrizioni del D.Lgs. 36/03 che impone una temperatura minima di combustione di 850°C ed un tempo di residenza della fiamma di almeno 0,3 secondi.

2.2 Secondo ampliamento autorizzato

2.2.1 Drenaggio nel corpo rifiuti

Il sistema di estrazione del biogas autorizzato per il secondo ampliamento sfrutta, almeno in parte, la rete di captazione del percolato delle macrocelle è basato su due sistemi:

- la rete di drenaggio del percolato di macrocella (DPM) che confluisce nei sistema di collettamento del percolato di macrocella (CPM). L'estrazione verrà effettuata tramite delle teste pozzo (PO) collegate con passo di circa 30 m al collettore di macrocella. Le teste pozzo, costituite da tubazioni in HDPE, saranno addossate agli argini di coltivazione da cui emergeranno per poter effettuare l'avvio del biogas all'impianto di trattamento;
- una specifica rete di drenaggio orizzontale posata a circa 10 m dal fondo di ciascuna macrocella e costituita da tubazioni di drenaggio orizzontale (DBM) connesse ad un collettore (CBM) posizionato lungo il paramento di monte degli arginelli di coltivazione da cui si dipartono le teste pozzo (PB) per l'avvio del biogas all'impianto di trattamento.

Per consentire la ripartizione dei flussi di captazione sarà necessario che ogni elemento sia dotato di un organo di regolazione e di monitoraggio.

2.2.2 Drenaggio corticale

La discarica, conformemente alle richieste del D.Lgs. 36/03, verrà dotata di un sistema di drenaggio ed estrazione del biogas all'interno della copertura definitiva.
Tale sistema sarà costituito, in particolare, dal geocomposito drenante posto a contatto con gli arginelli di coltivazione e dall'inerte drenante posto sulle superfici pseudopianeggianti.
Tali drenaggi favoriranno il deflusso del biogas verso le tubazioni di drenaggio in HDPE (DBC, drenaggio del biogas nella copertura) poste all'interno del materiale drenante di berma. Circa ogni 70-80 m tali tubazioni saranno dotate di un pozzetto (PC) di monitoraggio ed estrazione e collegati all'impianto di aspirazione e combustione.

2.3 Impianto di recupero energetico del biogas

Nell'anno 2012, con provvedimento n. 2012/2303 del 13.04.2012 e autorizzazione Paesaggistica n. 2012/1890 del 23.03.2012, è stata rilasciata l'autorizzazione alla costruzione e all'esercizio di un impianto per la valorizzazione energetica del biogas prodotto, di potenza complessiva di 660kWe. L'impianto è entrato in esercizio nel mese di giugno.

2.4 Secondo ampliamento in variante

2.4.1 Drenaggio nel corpo rifiuti

Con la variante n°3 autorizzata sono state apportate delle modifiche al sistema di captazione del biogas in ragione anche del nuovo impianto di trattamento del biogas.
Per quel che attiene la prima macrocella, all'epoca già stata realizzata, il sistema di captazione del biogas è quello autorizzato e descritto al paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**.
Per quel che riguarda le macrocelle successive alla prima si è previsto di mantenere il sistema di estrazione che sfrutta la rete di drenaggio del percolato (DPM+CPM+PO) e di sostituire la rete di drenaggio orizzontale (DBM+CBM+PB) con pozzi verticali perforati realizzati a partire dalle berme del fronte di valle della discarica con un interasse di circa 40 m.

Tale soluzione permette di ottenere comunque una efficace estrazione del biogas, permette di facilitare le attività di coltivazione e evita i possibili problemi all'estrazione derivanti dall'occlusione per effetto delle condense.

2.4.2 Drenaggio nel corpo rifiuti del primo ampliamento

A causa della perdita di efficienza di alcuni dei pozzi esistenti sulla discarica esistente, alcuni di essi sono stati dismessi e sostituiti da nuovi pozzi di caratteristiche analoghe a quelli realizzati sul secondo ampliamento.

2.4.3 Drenaggio corticale

Il sistema di drenaggio corticale è rimasto invariato rispetto a quanto precedentemente autorizzato a meno dei tracciati che seguono le variazioni morfologiche connesse alla variante n°3.

3. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO IN PROGETTO

3.1 Drenaggio nel corpo rifiuti

Analogamente a quanto previsto per la variante 3 autorizzata, il drenaggio del biogas avverrà tramite il sistema delle macrocelle (altezza di ogni macrocella 15 m).

In particolare il sistema di drenaggio del biogas sarà costituito dai seguenti elementi:

- la rete di drenaggio del percolato di macrocella (DPM) che confluisce nei sistema di collettamento del percolato di macrocella (CPM). L'estrazione verrà effettuata tramite delle teste pozzo (PP) collegate con passo di circa 30 m al collettore di macrocella (complessivamente n°45 teste pozzo). Le teste pozzo, costituite da tubazioni in HDPE, saranno addossate agli argini di coltivazione da cui emergeranno per poter effettuare l'avvio del biogas all'impianto di trattamento;
- una specifica rete di drenaggio orizzontale posata a circa 10 m dal fondo della seconda macrocella del Lotto 1A e del Lotto 2 (PB1÷PB8), e costituita da tubazioni di drenaggio orizzontale (DBM) connesse ad un collettore (CBM) posizionato lungo il paramento di monte degli arginelli di coltivazione da cui si dipartono le teste pozzo (PB) per l'avvio del biogas all'impianto di trattamento; si precisa che tali pozzi orizzontali sono previsti per la seconda macrocella e non per la prima, essendo quest'ultima in corrispondenza dei fondi vasca del Lotto 1A e 1B e delimitata verso valle dagli argini di contenimento;
- pozzi verticali (PBV1÷PBV76) perforati realizzati sulle superfici piane e sulle berme del fronte di valle della discarica con un interasse di circa 30 m.

Per ogni macrocella di discarica saranno quindi presenti numerosi elementi di captazione del biogas in modo che ognuno degli stessi possa integrarsi in funzione dello spessore di rifiuti in cui gli stessi sono inseriti. Per consentire questa ripartizione dei flussi di captazione sarà necessario che ogni elemento sia dotato di un organo di regolazione e di monitoraggio.

L'applicazione di una leggera depressione al corpo rifiuti anche in fase di coltivazione consente inoltre di evitare la propagazione di eventuali odori sgradevoli e di mitigare quindi gli impatti dovuti alla presenza della discarica.

3.1.1 Interventi sul drenaggio nel corpo rifiuti dell'impianto autorizzato

A causa dell'ubicazione al disotto dell'ampliamento in progetto (Lotto 1A e Lotto 2) alcuni dei pozzi esistenti relativi all'impianto autorizzato (19) dovranno essere innalzati e collegati al nuovo sistema di collettamento. Per le modalità di innalzamento si rimanda alla Tavola 030-006D14E01.

3.1.2 Drenaggio corticale

La discarica, conformemente alle richieste del D.Lgs 36/03, verrà dotata di un sistema di drenaggio ed estrazione del biogas all'interno della copertura definitiva, così come fatto ad oggi per l'impianto autorizzato.

Tale sistema sarà costituito, in particolare, dal geocomposito drenante posto a contatto con gli arginelli di coltivazione e dall'inerte drenante posto sulle superfici pseudopianeggianti.

Tali drenaggi favoriranno il deflusso del biogas verso le tubazioni di drenaggio in HDPE (DBC, drenaggio del biogas nella copertura) poste all'interno del materiale drenante di berma. Circa ogni 70-80 m tali tubazioni saranno dotate di un pozzetto (PC) di monitoraggio ed estrazione e collegati all'impianto di aspirazione e combustione.

3.2 Adeguamento strutture impiantistiche esistenti

Come successivamente descritto al par. 4.7.3 la produzione massima attesa per il 2026 di biogas estraibile è pari a 618 Nm^3/h.

Gli impianti attualmente esistenti dovranno pertanto essere adeguati alla previsione delle nuovo picco.

In particolare, gli impianti esistenti saranno integrati con:

- due aspiratori della portata nominale di 220 m^3/h valutata ad una densità del gas di 1,1 kg/m^3 ed una temperatura di 20°C.
- un combustore adiabatico refrattario avente potenza nominale di 1440 kWt equivalente ad una portata nominale 300 Nm^3/h;

4. STIMA DELLA PRODUZIONE DI BIOGAS

I gas biologici (o biogas) prodotti in una discarica controllata per effetto della digestione anaerobica della componente organica dei rifiuti abbancati sono principalmente i seguenti:

- ammoniaca (NH_3),
- acido solfidrico (H_2S),
- anidride carbonica (CO_2),
- azoto (N_2),
- idrogeno (H_2),
- metano (CH_4),
- monossido di carbonio (CO),
- ossigeno (O_2).

Di questi la quasi totalità (90-100%) è rappresentata da metano ed anidride carbonica.

La degradazione viene operata da una flora batterica che prolifera entro l'ammasso dei rifiuti nei quali il contenuto di ossigeno è quasi nullo.

Essendo la degradazione aerobica molto più rapida, l'ossigeno presente al momento della deposizione viene consumato nel giro di poche ore permettendo la proliferazione dei microrganismi metanigeni.

La reazione chimica che regola la digestione anaerobica dei rifiuti solidi urbani può essere schematizzata come segue:

$$\text{Materia organica (rifiuto)} + H_2O \rightarrow \text{materia organica biodegradata} + CH_4 + CO_2 + \text{altri gas}$$

La stima del volume del biogas prodotto in discariche controllate può essere effettuato utilizzando appositi modelli di calcolo[1] e software dedicati (ad esempio LandGEM di US-EPA).

I modelli teorici sono generalmente strutturati in due sottomodelli:

- modello stechiometrico,
- cinetica di degradazione.

[1] "*Integrated Solid Waste management*"; Tchobanoglous, Theisen, Vigil; Mc Graw Hill, 1993; "Modello matematico di produzione del biogas in uno scarico controllato": G. Andreottola, R. Cossu; R. S. n. 6, Novembre- Dicembre 1988.

I dati di progetto necessari alla stima sono:

- caratteristiche merceologiche dei rifiuti,
- quantità di rifiuto eventualmente già smaltiti e da smaltire.

Nel caso dell'impianto attualmente autorizzato la stima della produzione di biogas era stata effettuata applicando il modello denominato "BIO-5" (si veda in merito la relazione della variante 3 autorizzata 07144-157R05E03, Relazione tecnica biogas, Studio Geotecnico Italiano, marzo 2013), basato su un metodo misto teorico-pratico.
Detto modello è stato elaborato in Italia ed è stato testato nel corso di circa 20 anni di sperimentazioni e verifiche eseguite su numerose discariche, in Italia ed all'Estero. Il modello, nel corso del tempo, ha subito continue evoluzioni ed aggiornamenti al fine di recepire le variazioni verificate in corso d'opera.
BIO-5 utilizza un algoritmo derivato da un modello biochimico, che, ottimizzando sperimentalmente i parametri applicati al modello base, consente di costruire una curva "standard" di produzione unitaria.
I summenzionati parametri "corretti", introdotti nell'elaborazione biochimica, dipendono principalmente dalla caratterizzazione dell'ambiente di decomposizione.

Per l'applicazione all'ampliamento in oggetto, invece, si è fatto riferimento ad un modello teorico semplificato, suddiviso nei sottomodelli stechiometrico e cinetico, descritto nei successivi par. 4.3 e 4.4.
In particolare, è stata ricreata la curva di produzione del biogas relativa all'impianto autorizzato tramite l'utilizzo del modello stechiometrico-cinetico, tarando la curva sulla base degli studi precedentemente sviluppati per l'impianto di Bossarino. La curva è stata poi ricostruita con il modello semplificato con i dati di conferimento aggiornati per gli anni 2012-2015.
Si precisa che, rispetto a quanto descritto nella variante 3 autorizzata, con la stima aggiornata nel presente documento si ottiene un picco inferiore per la produzione di biogas, tenendo conto dei conferimenti reali che negli ultimi anni sono stati inferiori rispetto a quanto precedentemente atteso.

Il modello così tarato è stato quindi applicato all'ampliamento in oggetto per ottenere la curva di produzione del biogas che è stata poi infine sommata a quella dell'impianto autorizzato, in modo tale da verificare la configurazione dell'impianto esistente (par. 4.7.3).

4.1 Dati di input: Caratteristiche merceologiche dei rifiuti

Il primo dato di input per la stima della produzione di biogas è rappresentato dalla merceologia media del rifiuto conferito in discarica.

In generale, le caratteristiche merceologiche del rifiuto smaltito e da smaltire dipendono da molteplici fattori, tra cui:

- collocazione geografica del bacino di utenza
- dimensione dei centri abitati
- caratteristiche socio- economiche del bacino di utenza.

4.1.1 Impianto autorizzato

Per l'applicazione di quanto descritto all'ampliamento autorizzato, si è fatto riferimento alla merceologia media studiata in occasione di precedenti modellazioni per la stima della produzione di biogas ed è riportata in sintesi nella seguente Tabella:

FRAZIONE	PERCENTUALE IN PESO SUL TAL QUALE	PERCENTUALE IN PESO SUL SECCO
Materiale cellulosico	18,69%	14,02%
Sostanze organiche	3,92%	2,94%
Rifiuti non putrescibili	77,39%	58,04%
Umidità	-	25%

Tabella 4.1: Percentuali per la determinazione della sostanza organica effettivamente degradabile a partire dal peso di ciascuna frazione merceologica

Si precisa che le percentuali riportate in Tabella 4.1 sono state tarate sulla base della curva ottenuta con l'applicazione del modello di cui al par. 4.1.1 per tenere conto di eventuali percentuali non degradabili dei materiali cellulosici (stimata pari al 45%) e delle sostanze organiche (5%). Le percentuali così corrette sono riportate nella seguente Tabella:

FRAZIONE	PERCENTUALE IN PESO	PERCENTUALE IN PESO

	SUL TAL QUALE	SUL SECCO
Materiale cellulosico	10,28%	7,71%
Sostanze organiche	3,72%	1,86%
Rifiuti non putrescibili	86,00%	64,50%
Umidità	-	25%

Tabella 4.2: Percentuali per la determinazione della sostanza organica effettivamente degradabile a partire dal peso di ciascuna frazione merceologica (discarica autorizzata)

4.1.2 Ampliamento

Per l'applicazione del modello descritto all'ampliamento autorizzato, si è fatto riferimento alla merceologia media ricavata dai conferimenti annuali del 2015 (Relazione annuale autocontrolli e monitoraggi ambientali per l'anno 2015, Waste Italia Aprile 2016).

I risultati sono riportati nella seguente tabella:

FRAZIONE	PERCENTUALE IN PESO SUL TAL QUALE	PERCENTUALE IN PESO SUL SECCO
Materiale cellulosico	14,20%	10,65%
Materiale plastico	4,72%	3,54%
Sostanze organiche	11,19%	8,39%
Rifiuti non putrescibili	69,90%	52,42%
Umidità	-	25%

Tabella 4.3: Percentuali per la determinazione della sostanza organica effettivamente degradabile a partire dal peso dei rifiuti conferiti nel 2015

Si precisa che per quanto riguarda la suddivisione dei rifiuti misti e l'umidità dei rifiuti, non disponendo di dati specifici si è fatto riferimento agli studi precedentemente svolti e richiamati al par. 4.1.1.

Anche in questo caso, rispetto alla mera suddivisione desunta dalla merceologia dei conferimenti, sono state inoltre introdotte delle correzioni basate sui dati reali di produzione biogas aggiornati all'aprile 2016 ed in considerazione della provenienza dei fanghi, in parte inertizzati (considerati pertanto inerti al 50%).

4.2 Dati di input: Quantità di rifiuto

4.2.1 Impianto autorizzato

La quantità di rifiuti conferiti considerata le modello adottato, è desunta dalle informazioni fornite dal gestore della discarica e dai dati reali desunti dalle relazioni annuali dal 2012 al 2015.

4.2.2 Ampliamento

Per quanto riguarda gli anni 2016-2018 sono state inserite delle stime di conferimenti basata sulle indicazioni fornite dal gestore della discarica ed in base alla volumetria residua dell'impianto autorizzato.
In base ai darti pregressi, il peso specifico dei rifiuti è stato considerato pari a 1 ton/m^3.

4.3 Modello stechiometrico

Il modello stechiometrico permette di determinare la quantità di biogas producibile sulla base della merceologia dei rifiuti, ma trascurando i fenomeni dinamici.
I componenti organici individuali presenti nei rifiuti solidi urbani possono essere rappresentati, una volta note le caratteristiche merceologiche e chimiche, da una formula chimica della forma seguente: $C_aH_bO_cN_d$.
Da qui, utilizzando l'equazione seguente, si può poi stimare, assumendo una completa conversione della materia organica in CH_4 e CO_2, il volume specifico (m^3 di gas / kg di rifiuto umido) o totale (m^3) di gas prodotto.
Il processo di decomposizione anaerobica generale della sostanza organica contenuta nel rifiuto può essere rappresentato attraverso la seguente equazione:

$$C_aH_bO_cN_d + \frac{4a-b-2c+3d}{4}H_2O \rightarrow \frac{4a+b-2c+3d}{8}CH_4 + \frac{4a-b+2c+3d}{4}CO_2 + d \cdot NH_3$$

dove $C_aH_bO_cN_d$ rappresenta il materiale organico decomponibile su base secca ottenibile in base alla merceologia ed alla composizione chimica dei rifiuti.

Prima di valutare la composizione chimica di ciascuna frazione merceologica del rifiuto è necessario tenere conto di una serie di considerazioni che permettano di individuare l'effettiva quantità di sostanza che si degrada:

- il contenuto organico rappresenta solo una parte della frazione secca considerata;
- non tutto il materiale organico si decompone complessivamente in un periodo ragionevole di tempo;
- il 5% della sostanza organica sottoposta a degradazione microbica è da considerare residuo inerte.

L'effettiva quantità della sostanza che si degrada è riportata nei successivi par. 4.3.1 (impianto autorizzato) e 4.3.2 (ampliamento).

A partire dal contenuto organico effettivamente degradabile per ciascuna frazione, è successivamente possibile determinare il contenuto di ciascun componente chimico attraverso la Tabella 4.4:

FRAZIONE	C [%]	H [%]	O [%]	N [%]	ALTRI [%]
Sottovaglio	6,4	0,9	34,3	0,3	58,1
Materiale cellulosico	42,2	5,5	36,5	0,6	15,2
Materiale plastico	36,5	4,3	38,3	3,0	17,9
Sostanze organiche	30,8	3,7	24,6	2,4	38,5

Tabella 4.4: Percentuali per la determinazione dei diversi componenti chimici a partire dalla sostanza organica effettivamente degradabile1

Grazie ai dati così ottenuti ed al peso molare delle singole componenti è possibile scrivere l'equazione stechiometrica (in moli) specifica del rifiuto considerato rapportando tutto ad una mole di azoto (si veda equazione precedente).

Attraverso le opportune trasformazioni di unità di misura, è possibile quindi determinare il volume di biogas teoricamente producibile per ciascun chilogrammo di rifiuto tal quale.

Sulla base dei precedenti studi e sulla base della curva ottenuta con l'applicazione del modello di cui al par. 4.1.1), si ottengono le seguenti percentuali da analizzare nel modello stechiometrico:

[1] "*Solid waste*"; Tchobanoglous, Theisen, Eliassen; Mc Graw Hill, 1977;

FRAZIONE	CONTENUTO ORGANICO	PERCENTUALE DECOMPONIBILE	PERCENTUALE SOTTOPOSTA A DEGRADAZIONE MICROBICA
Materiale cellulosico	100%	75%	95%
Materiale plastico	30%	50%	95%
Inerti	0%	-	-
Sostanze organiche	100%	100%	95%

Tabella 4.5: Percentuali per la determinazione della sostanza organica effettivamente degradabile a partire dal peso di ciascuna frazione merceologica

4.4 Modello cinetico

Una volta calcolata la produzione teorica complessiva di biogas è importante descrivere l'evoluzione della produzione nel tempo.

Osservazioni di laboratorio ed in scala reale evidenziano come la produzione di biogas da un volume unitario di rifiuti inizi alcuni mesi dopo lo smaltimento, raggiunga il massimo dopo 3-5 anni, per poi decrescere nel tempo con produzioni trascurabili dopo 15- 20 anni.

Il fenomeno è descritto da diversi autori attraverso il modello cinetico rappresentato dalla equazione differenziale del primo ordine:

$$\frac{dC}{dt} = -kC \qquad (1.)$$

La soluzione di tale equazione è:

$$Cr = Co \cdot e^{-kt} \qquad (2.)$$

con:

- Cr quantità di carbonio organico residuo, gassificabile, al tempo t.
- Co quantità di carbonio organico gassificabile al tempo t = 0.
- t tempo in anni
- k costante di degradazione.

Data la quantità di carbonio gassificabile al tempo t (Cr), si ottiene che la quantità di carbonio gassificata è $Ct = Co - Cr = Co\,(1 - e^{-kt})$. Questa equazione può essere vista analogamente in termini di gas prodotto e gas inizialmente disponibile e diventare

$G = Go\ (1 - e^{-kt})$ (3.)

dove G e Go sono la quantità di gas prodotta al tempo t e la quantità prodotta al tempo t = 0 rispettivamente.

La costante di degradazione è considerata uguale al logaritmo naturale di $t_{1/2}$, dove $t_{1/2}$ è il semiperiodo di decomposizione della sostanza organica.

Il valore della costante di degradazione dipende dalle caratteristiche del rifiuto, dalla pezzatura, dall'umidità, dalla temperatura, dal pH.

In prima approssimazione è possibile determinare il valore di k in relazione alle diverse degradabilità delle componenti organiche[1].

- k_1 anni^{-1} per sostanze vegetali ,693
- k_2 anni^{-1} per la cellulosa ,139
- k_3 anni^{-1} per la plastica ,046

Dall'equazione (3) è possibile determinare il valore del rapporto G/G_0 per ogni anno dall'inizio del conferimento.

Tale tempistica è valida solo nel caso in cui non si abbia un aumento dei rifiuti presenti dopo l'istante t = 0.

La schematizzazione più precisa della dinamica del fenomeno può essere sviluppata conoscendo in termini quantitativi:

- sequenza di riempimento della discarica (conferimento annuo);
- effettiva biodegradabilità del rifiuto (rappresentata analiticamente dal coefficiente k);
- l'influenza nella discarica in esame dei parametri significativi del processo di decomposizione anaerobica (pH, temperatura, umidità).

[1] "Modello matematico di produzione del biogas in uno scarico controllato"; Andreottola, Cossu; R.S. n.6 - Novembre- Dicembre 1988;

Oltre alle ipotesi suddette, bisogna tenere conto del fatto che la produzione reale di biogas è solitamente inferiore rispetto a quella teorica. I dati di letteratura riportano, infatti, valori del rapporto biogas realmente producibile / biogas teoricamente producibile del 40 – 60%.
Inoltre occorre evidenziare che non tutto il biogas prodotto possa essere estratto in quanto il gradiente di pressione applicabile per l'estrazione deve essere sufficientemente ridotto in modo tale da evitare infiltrazioni di aria in discarica.

4.5 Stima della produzione di biogas

La determinazione della produzione di biogas, come detto, dipende strettamente dalla tipologia di rifiuti che verranno conferiti presso la discarica e dal ciclo di trattamento che i rifiuti dovranno subire prima di essere conferiti alla discarica.

4.5.1 Impianto autorizzato

La merceologia considerata per la definizione della formula chimica che rappresenta il rifiuto ($C_aH_bO_cN_d$), è quella riportata, con le precisazioni del caso, nella precedente Tabella 4.2**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**:
Sulla base dei valori indicati nelle precedenti tabelle è quindi possibile scrivere l'equazione stechiometrica (in moli) del rifiuto considerato rapportata a una mole di azoto:

$$C_{26.72}H_{40.00}O_{16.90}N + 9.01 \cdot H_2O \rightarrow 14.51 \cdot CH_4 + 12.96 \cdot CO_2 + NH_3 .$$

Da tale equazione si evince che la quantità di biogas ($CH_4 + CO_2$) teoricamente producibile per ogni chilogrammo di rifiuto tal quale è pari a **0,054 Nm³/kg**.

4.5.2 Ampliamento

La merceologia considerata per la definizione della formula chimica che rappresenta il rifiuto ($C_aH_bO_cN_d$), è quella riportata, con le precisazioni del caso, nella precedente Tabella 4.3:
Sulla base dei valori indicati nelle precedenti tabelle è quindi possibile scrivere l'equazione stechiometrica (in moli) del rifiuto considerato rapportata a una mole di azoto:

$$C_{43.02}H_{62.82}O_{27.53}N + 13.55 \cdot H_2O \rightarrow 23.23 \cdot CH_4 + 20.54 \cdot CO_2 + NH_3 .$$

Da tale equazione si evince che la quantità di biogas ($CH_4 + CO_2$) teoricamente producibile per ogni chilogrammo di rifiuto tal quale è pari a **0,767 Nm^3/kg**.

4.6 Applicazione del modello cinetico

Calcolata la produzione teorica complessiva di biogas è importante descrivere l'evoluzione della produzione nel tempo attraverso l'applicazione del modello cinetico precedentemente descritto.

Il valore di k viene determinato come media ponderata in base alle percentuali effettivamente degradabili dei valori sopra citati:

$$\frac{dC}{dt} = -kC$$

Esprimendo la soluzione dell'equazione differenziale in termini di produzione cumulata si ricava:

$G = G_0 (1 - e^{-kt})$

4.6.1 Impianto autorizzato

L'applicazione del modello cinetico all'impianto autorizzato porta alle equazioni:

$$\frac{dC}{dt} = -0{,}104C$$

$G = G_0 (1 - e^{-0{,}104t})$

4.6.2 Ampliamento

L'applicazione del modello cinetico all'impianto autorizzato porta alle equazioni:

$$\frac{dC}{dt} = -0{,}156C$$

$G = G_0 (1 - e^{-0{,}156t})$

4.7 Risultati dell'applicazione

4.7.1 Impianto autorizzato

I risultati delle considerazioni appena esposte applicati al lotto di progetto sono riportati in dettaglio nella tabella in Allegato A alla presente relazione e rappresentati graficamente nella successiva Figura 4.1.

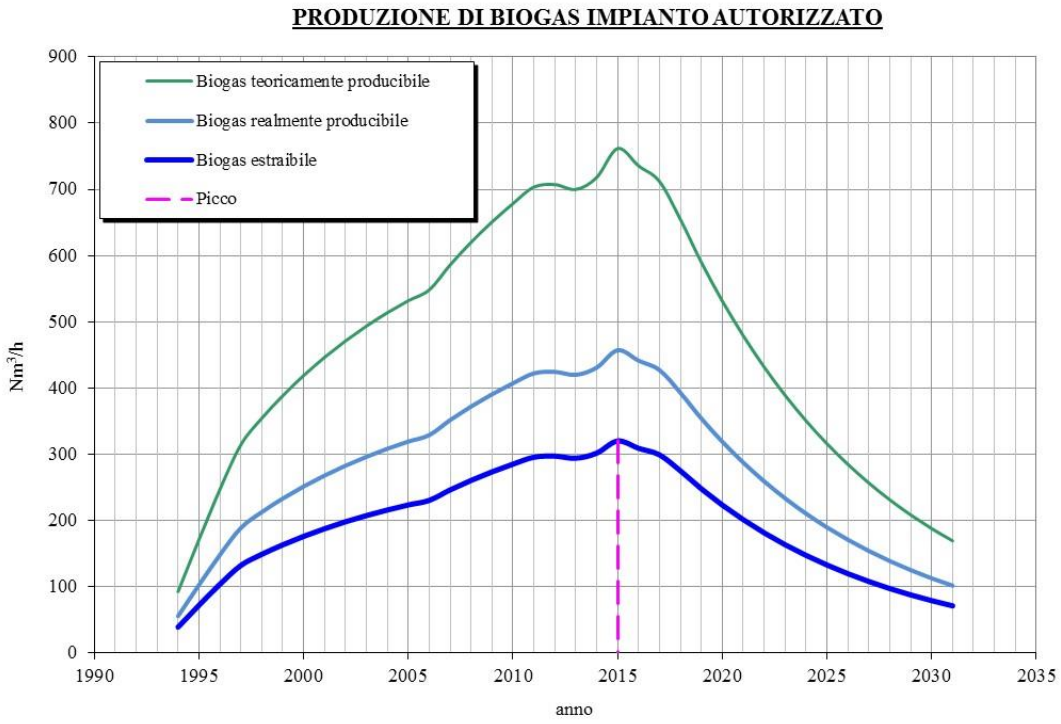


Figura 4.1: Stima della produzione teorica e reale di biogas e del biogas estraibile – impianto autorizzato

Per effettuare la sovrapposizione con la curva per l'ampliamento, lo studio è stato esteso considerando un periodo di osservazione di 65 anni secondo le tempistiche dell'ampliamento (inizio della fase di gestione operativa (indicativamente nel corso del 2018) e i 30 di gestione post operativa (dal 2027 al 2057).

Dai risultati si può constatare come la massima produzione di biogas attesa e quindi il picco di biogas estraibile è avvenuto nel 2015 (circa 340 Nm^3/h) in sostanziale accordo con i dati registrati dall'impianto di cogenerazione del recupero energetico del biogas.

4.7.2 Ampliamento

I risultati delle considerazioni appena esposte applicati al lotto di progetto sono riportati in dettaglio nella tabella in Allegato B alla presente relazione e rappresentati graficamente nella successiva Figura 4.2.

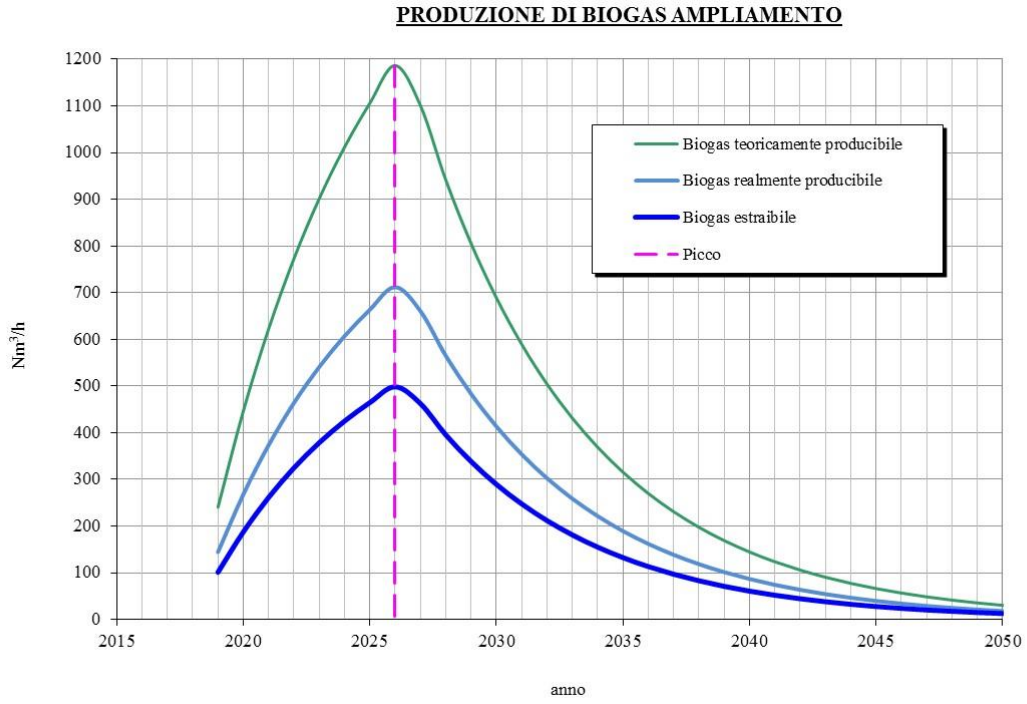


Figura 4.2: Stima della produzione teorica e reale di biogas e del biogas estraibile – ampliamento

Dai risultati si può constatare come la massima produzione di biogas estraibile attesa e quindi il picco di biogas estraibile è prevista per il 2026 (circa 500 Nm^3/h).

4.7.3 Autorizzato + Ampliamento

I risultati delle considerazioni appena esposte applicati al lotto di progetto sono riportati in dettaglio nella tabella in Allegato B alla presente relazione e rappresentati graficamente nella successiva Figura 4.3.

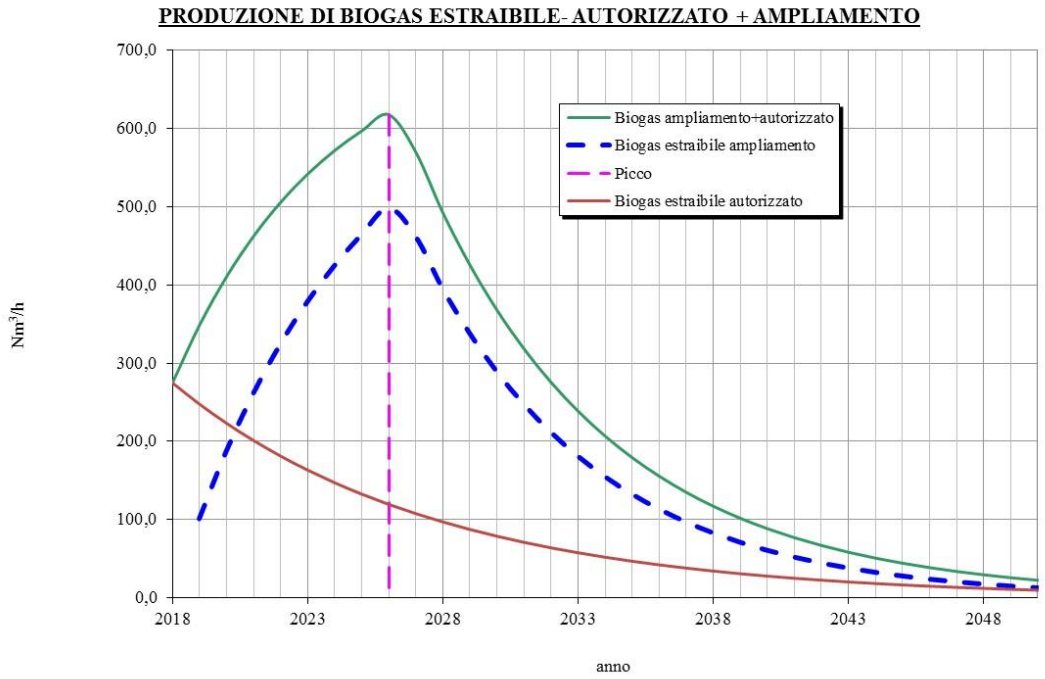


Figura 4.3: Stima della produzione teorica e reale di biogas e del biogas estraibile – autorizzato + ampliamento

Dai risultati si può constatare come la massima produzione di biogas estraibile attesa e quindi il picco di biogas estraibile è prevista per il 2026 (circa 618 Nm^3/h).

5. RAGGIO DI INFLUENZA E UBICAZIONE DEI DRENI

Parametro essenziale nella definizione del numero di linee di drenaggio è la determinazione del raggio di influenza degli stessi.
Il raggio di influenza dipende dalla permeabilità dei rifiuti messi a dimora e compattati, da quella degli infrastrati e degli strati di copertura finale, dai valori di depressione applicati per l'eventuale aspirazione del biogas e dalla morfologia della discarica.
La determinazione del numero di linee di drenaggio è stata effettuata, così come nelle precedenti fasi di ampliamento ipotizzando che i valori di depressione da applicare a ciascun pozzo non superino 10- 15 mm di colonna d'acqua. Tale cautela viene generalmente adottata onde evitare infiltrazioni d'aria nel corpo della discarica.

Sulla base della configurazione planoaltimetrica dell'ampliamento e delle scelte progettuali relative al sistema di drenaggio del percolato, a cui quello del biogas è strettamente connesso, si ha che il raggio di influenza stimato per i pozzi è maggiore dell'effettiva distanza esistente tra i pozzi stessi.
L'ubicazione planimetrica dei sistemi di drenaggio del biogas è riportata in Tavola 030-006D13E01, mentre i dettagli sono riportati in Tavola 030-006D14E01.

5.1 Drenaggi orizzontali

I sistemi di captazione orizzontali sono di due tipologie:

- Dreni sub orizzontali di fondo macrocella (DPM+CPM+PO);
- Dreni sub orizzontali intermedi di macrocella (DBM+CBM+PB) solo per la seconda macrocella;

5.1.1 Dreni di fondo della macrocella (DPM+CPM+PO)

Il drenaggio sul fondo delle macrocelle sarà effettuato sfruttando il drenaggio del percolato di macrocella (DPM) costituito da tubazioni in HDPE da 200 mm PN10 adeguatamente fessurata ed inserita in un bauletto drenante in ghiaia silicea da 50 cm rivestita da geotessile. Il dreno in HDPE sarà posto secondo la massima pendenza della sagomatura di fondo e confluirà nella parte più bassa (a ridosso dell'argine di coltivazione) ove è ubicato il collettore del percolato (CPM) costituito da una tubazione piena in HDPE DE 300 mm PN10.

Dal collettore di macrocella (CPM) si staccheranno ogni 30 m circa i pozzi di estrazione (PO) costituiti da una tubazione cieca sempre in HDPE diametro esterno 90 mm PN10. La tubazione cieca risalirà l'argine fino ad emergere sul coronamento dello stesso dove verrà posizionata una testa di pozzo collegata alla rete di trasporto.

La testa di pozzo sarà realizzata mediante una calotta filettata o flangia cieca del terminale emergente (DE 90 mm PN10) tramite il quale sarà possibile ispezionare la parte emergente del dreno. La parte emergente del dreno sarà dotata di una derivazione laterale (Te 90 x 90) al quale sarà montata una riduzione 90>75 alla quale sarà raccordata una valvola in PP a sede inclinata da 1 ½".

Sulla calotta (o flangia cieca) della testa di pozzo sarà montata una presa di monitoraggio da ½" dotata di valvola a sfera in PVC.

La testa di pozzo sarà raccordata alla linea di trasporto mediante una tubazione in HDPE DE 75 mm PN10 che potrà essere sostituita, nei periodi iniziali di gestione, da una tubazione flessibile corrugata di pari diametro.

5.1.2 Dreni intermedi di macrocella (DBM+CBM+PB)

Il drenaggio intermedio delle macrocelle posto su un piano pseudo- orizzontale a circa 10 m da quello di fondo della macrocella sarà costituito da tubazioni in HDPE da 140 mm PN10 adeguatamente fessurate ed inserite in un bauletto drenante in ghiaia silicea da 50 cm rivestito da geotessile (DBM, drenaggio biogas di macrocella). Il dreno in HDPE sarà posto secondo la massima pendenza della sagomatura di fondo e confluirà nella parte più bassa (a ridosso dell'argine di coltivazione) ove è ubicato il collettore del biogas (CBM) costituito da una tubazione piena in HDPE DE 200 mm PN10.

Dal collettore di macrocella (CBM) si staccheranno ogni 30 m circa i pozzi di estrazione (PB) costituiti da una tubazione cieca sempre in HDPE diametro esterno 90 mm PN10. La tubazione cieca risalirà l'argine fino ad emergere sul coronamento dello stesso dove verrà posizionata una testa di pozzo collegata alla rete di trasporto.

Le teste pozzo saranno del tutto analoghe a quelle descritte al punto 5.1.1 per i pozzi PO.

5.2 Pozzi verticali trivellati

I pozzi saranno costituiti da tubi attrezzati in perforazione con sonde macrofessurate nel corpo dei rifiuti per la captazione del biogas dai rifiuti già abbancati.

Tali tubi andranno posati fino ad una profondità sotto il piano di posa dei rifiuti tale da mantenere un franco di almeno 5 m dal fondo impermeabilizzato.

All'interno della perforazione per la realizzazione del pozzo, che avrà un diametro minimo di 800 mm, dovrà essere alloggiata una tubazione macrofessurata in HDPE DE 200 mm e quindi essere riempita con inerte avente granulometria di 15-30 mm.

A circa 2 m dalla piano di perforazione, la tubazione macrofessurata verrà sostituita da una tubazione di diametro equivalente e cieca ad essa collegata tramite raccordi a manicotto non saldato.

Tale tubazione dovrà essere prolungata fino ad uscire dalla base del camino soprastante e quindi collegata al sistema di allontanamento del biogas.

Gli ultimi 2 m della perforazione verranno riempiti con una miscela di argilla e bentonite che fungerà da tappo.

Allegato A:
Stima produzione biogas impianto autorizzato

ALLEGATO A: Stima produzione biogas impianto autorizzato

Anno	Attività della discarica	Smaltimento annuo di rifiuti		Cumulata rifiuti smaltiti	n° anni dall'apertura della discarica	G/G_0= 1-exp(-kt)	G Produzione specifica	G Produzione specifica annua	G Produzione annua	G Produzione media oraria (biogas teoricamente producibile)	Biogas realmente producibile	Biogas estraibile
	[anni]	[mc/anno]	[kg/anno]	[kg]	[anni]		[Nm^3/kg]	[Nm^3/kg]	[Nm^3/anno]	[Nm^3/h]	[Nm^3/h]	[Nm^3/h]
1993	0	128500	128.500.000	-	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	1	150500	150.500.000	150.500.000,00	1	9,89%	0,0054	0,0054	808.844	92	55	39
1995	2	142850	142.850.000	293.350.000,00	2	18,80%	0,0102	0,0048	1.496.609	171	103	72
1996	3	151250	151.250.000	444.600.000,00	3	26,82%	0,0146	0,0044	2.161.523	247	148	104
1997	4	149810	149.810.000	594.410.000,00	4	34,06%	0,0185	0,0039	2.752.962	314	189	132
1998	5	115900	115.900.000	710.310.000,00	5	40,58%	0,0221	0,0035	3.103.684	354	213	149
1999	6	112400	112.400.000	822.710.000,00	6	46,45%	0,0253	0,0032	3.400.922	388	233	163
2000	7	112400	112.400.000	935.110.000,00	7	51,75%	0,0281	0,0029	3.668.773	419	251	176
2001	8	112400	112.400.000	1.047.510.000,00	8	56,52%	0,0307	0,0026	3.910.144	446	268	187
2002	9	112400	112.400.000	1.159.910.000,00	9	60,82%	0,0331	0,0023	4.127.652	471	283	198
2003	10	112400	112.400.000	1.272.310.000,00	10	64,69%	0,0352	0,0021	4.323.656	494	296	207
2004	11	112400	112.400.000	1.384.710.000,00	11	68,18%	0,0371	0,0019	4.500.283	514	308	216
2005	12	112400	112.400.000	1.497.110.000,00	12	71,33%	0,0388	0,0017	4.659.447	532	319	223
2006	13	112400	112.400.000	1.609.510.000,00	13	74,16%	0,0403	0,0015	4.802.876	548	329	230
2007	14	150000	150.000.000	1.759.510.000,00	14	76,72%	0,0417	0,0014	5.134.202	586	352	246
2008	15	150000	150.000.000	1.909.510.000,00	15	79,02%	0,0430	0,0013	5.432.771	620	372	260
2009	16	150000	150.000.000	2.059.510.000,00	16	81,09%	0,0441	0,0011	5.701.823	651	391	273
2010	17	150000	150.000.000	2.209.510.000,00	17	82,96%	0,0451	0,0010	5.944.275	679	407	285
2011	18	150000	150.000.000	2.359.510.000,00	18	84,65%	0,0460	0,0009	6.162.757	704	422	295
2012	19	119556	119.555.554	2.479.065.554,00	19	86,16%	0,0468	0,0008	6.196.020	707	424	297
2013	20	102009	102.009.404	2.581.074.958,00	20	87,53%	0,0476	0,0007	6.131.694	700	420	294
2014	21	142308	142.307.885	2.723.382.843,00	21	88,76%	0,0483	0,0007	6.290.307	718	431	302
2015	**22**	**186900**	**186.899.935**	**2.910.282.778,00**	**22**	**89,88%**	**0,0489**	**0,0006**	**6.672.894**	**762**	**457**	**320**
2016	23	80000	80.000.000	2.990.282.778,00	23	90,88%	0,0494	0,0005	6.443.135	736	441	309
2017	24	80000	80.000.000	3.070.282.778,00	24	91,78%	0,0499	0,0005	6.236.092	712	427	299,0
2018	25	21217	21.217.222	3.091.500.000,00	25	92,59%	0,0503	0,0004	5.733.596	655	393	275
2019	26	0	0	3.091.500.000,00	26	93,32%	0,0507	0,0004	5.166.750	590	354	248
2020	27	0	0	3.091.500.000,00	27	93,98%	0,0511	0,0004	4.655.945	532	319	223
2021	28	0	0	3.091.500.000,00	28	94,58%	0,0514	0,0003	4.195.640	479	287	201
2022	29	0	0	3.091.500.000,00	29	95,11%	0,0517	0,0003	3.780.842	432	259	181
2023	30	0	0	3.091.500.000,00	30	95,60%	0,0520	0,0003	3.407.053	389	233	163
2024	31	0	0	3.091.500.000,00	31	96,03%	0,0522	0,0002	3.070.218	350	210	147
2025	32	0	0	3.091.500.000,00	32	96,42%	0,0524	0,0002	2.766.684	316	189	133
2026	33	0	0	3.091.500.000,00	33	96,78%	0,0526	0,0002	2.493.159	285	171	120
2027	34	0	0	3.091.500.000,00	34	97,10%	0,0528	0,0002	2.246.676	256	154	108
2028	35	0	0	3.091.500.000,00	35	97,38%	0,0529	0,0002	2.024.560	231	139	97
2029	36	0	0	3.091.500.000,00	36	97,64%	0,0531	0,0001	1.824.404	208	125	87
2030	37	0	0	3.091.500.000,00	37	97,88%	0,0532	0,0001	1.644.036	188	113	79
2031	38	0	0	3.091.500.000,00	38	98,09%	0,0533	0,0001	1.481.500	169	101	71
2032	39	0	0	3.091.500.000,00	39	98,27%	0,0534	0,0001	1.335.033	152	91	64
2033	40	0	0	3.091.500.000,00	40	98,45%	0,0535	0,0001	1.203.047	137	82	58
2034	41	0	0	3.091.500.000,00	41	98,60%	0,0536	0,0001	1.084.109	124	74	52
2035	42	0	0	3.091.500.000,00	42	98,74%	0,0537	0,0001	976.929	112	67	47
2036	43	0	0	3.091.500.000,00	43	98,86%	0,0537	0,0001	880.346	100	60	42
2037	44	0	0	3.091.500.000,00	44	98,97%	0,0538	0,0001	793.312	91	54	38
2038	45	0	0	3.091.500.000,00	45	99,08%	0,0539	0,0001	714.882	82	49	34
2039	46	0	0	3.091.500.000,00	46	99,17%	0,0539	0,0000	644.206	74	44	31
2040	47	0	0	3.091.500.000,00	47	99,25%	0,0540	0,0000	580.517	66	40	28
2041	48	0	0	3.091.500.000,00	48	99,32%	0,0540	0,0000	523.125	60	36	25
2042	49	0	0	3.091.500.000,00	49	99,39%	0,0540	0,0000	471.407	54	32	23
2043	50	0	0	3.091.500.000,00	50	99,45%	0,0541	0,0000	424.802	48	29	20
2044	51	0	0	3.091.500.000,00	51	99,51%	0,0541	0,0000	382.804	44	26	18
2045	52	0	0	3.091.500.000,00	52	99,55%	0,0541	0,0000	344.958	39	24	17
2046	53	0	0	3.091.500.000,00	53	99,60%	0,0541	0,0000	310.855	35	21	15
2047	54	0	0	3.091.500.000,00	54	99,64%	0,0542	0,0000	280.122	32	19	13
2048	55	0	0	3.091.500.000,00	55	99,67%	0,0542	0,0000	252.428	29	17	12
2049	56	0	0	3.091.500.000,00	56	99,71%	0,0542	0,0000	227.472	26	16	11
2050	57	0	0	3.091.500.000,00	57	99,74%	0,0542	0,0000	204.983	23	14	10
2051	58	0	0	3.091.500.000,00	58	99,76%	0,0542	0,0000	184.718	21	13	9
2052	59	0	0	3.091.500.000,00	59	99,78%	0,0542	0,0000	166.456	19	11	8
2053	60	0	0	3.091.500.000,00	60	99,81%	0,0543	0,0000	149.999	17	10	7
2054	61	0	0	3.091.500.000,00	61	99,83%	0,0543	0,0000	135.170	15	9	6
2055	62	0	0	3.091.500.000,00	62	99,84%	0,0543	0,0000	121.806	14	8	6
2056	63	0	0	3.091.500.000,00	63	99,86%	0,0543	0,0000	109.764	13	8	5
2057	64	0	0	3.091.500.000,00	64	99,87%	0,0543	0,0000	98.912	11	7	5
2058	65	0	0	3.091.500.000,00	65	99,88%	0,0543	0,0000	89.134	10	6	4

Quantitativo teoricamente producibile
(Nmc)
153.072.911

Quantitativo realmente producibile	Quantitativo effettivo estraibile
(Nmc)	(Nmc)
91.843.746	**64.290.622**

Allegato B:
Stima produzione biogas impianto autorizzato e ampliamento in progetto

ALLEGATO B: Stima produzione biogas impianto autorizzato e ampliamento in progetto

Anno	Attività della discarica	Smaltimento annuo di rifiuti		Cumulata rifiuti smaltiti	n° anni dall'apertura della discarica	G/G_0= 1-exp(-kt)	G Produzione specifica	G Produzione specifica annua	G Produzione annua	G Produzione media oraria (biogas teoricamente producibile)	Biogas realmente producibile	Biogas estraibile	Somma
	[anni]	[mc/anno]	[kg/anno]	[kg]	[anni]		[Nm^3/kg]	[Nm^3/kg]	[Nm^3/anno]	[Nm^3/h]	[Nm^3/h]	[Nm^3/h]	
2018	0	54160	54.160.000	-	0	0	0	0	0	0	0	0	274,9
2019	1	130000	130.000.000	130.000.000,00	1	14,46%	0,0162	0,0162	2.106.634	240	144	101	348,7
2020	2	130000	130.000.000	260.000.000,00	2	26,83%	0,0301	0,0139	3.908.663	446	268	187	410,6
2021	3	130000	130.000.000	390.000.000,00	3	37,41%	0,0419	0,0119	5.450.131	622	373	261	462,5
2022	4	130000	130.000.000	520.000.000,00	4	46,46%	0,0521	0,0101	6.768.714	773	464	325	505,8
2023	5	130000	130.000.000	650.000.000,00	5	54,20%	0,0607	0,0087	7.896.638	901	541	379	542,0
2024	6	130000	130.000.000	780.000.000,00	6	60,82%	0,0682	0,0074	8.861.472	1012	607	425	572,1
2025	7	130000	130.000.000	910.000.000,00	7	66,49%	0,0745	0,0063	9.686.798	1106	663	464	597,1
2026	**8**	**130000**	**130.000.000**	**1.040.000.000,00**	**8**	**71,33%**	**0,0799**	**0,0054**	**10.392.788**	**1186**	**712**	**498**	**617,8**
2027	9	46.040	46.040.000	1.086.040.000,00	9	75,48%	0,0846	0,0046	9.636.135	1100	660	462	569,7
2028	10	0	0	1.086.040.000,00	10	79,02%	0,0886	0,0040	8.242.816	941	565	395	492,3
2029	11	0	0	1.086.040.000,00	11	82,06%	0,0920	0,0034	7.050.961	805	483	338	425,5
2030	12	0	0	1.086.040.000,00	12	84,65%	0,0949	0,0029	6.031.441	689	413	289	368,0
2031	13	0	0	1.086.040.000,00	13	86,87%	0,0974	0,0025	5.159.336	589	353	247	318,4
2032	14	0	0	1.086.040.000,00	14	88,77%	0,0995	0,0021	4.413.331	504	302	212	275,6
2033	15	0	0	1.086.040.000,00	15	90,39%	0,1013	0,0018	3.775.194	431	259	181	238,7
2034	16	0	0	1.086.040.000,00	16	91,78%	0,1029	0,0016	3.229.327	369	221	155	206,8
2035	17	0	0	1.086.040.000,00	17	92,97%	0,1042	0,0013	2.762.388	315	189	132	179,3
2036	18	0	0	1.086.040.000,00	18	93,99%	0,1053	0,0011	2.362.966	270	162	113	155,5
2037	19	0	0	1.086.040.000,00	19	94,86%	0,1063	0,0010	2.021.297	231	138	97	134,9
2038	20	0	0	1.086.040.000,00	20	95,60%	0,1071	0,0008	1.729.032	197	118	83	117,2
2039	21	0	0	1.086.040.000,00	21	96,24%	0,1079	0,0007	1.479.025	169	101	71	101,8
2040	22	0	0	1.086.040.000,00	22	96,78%	0,1085	0,0006	1.265.169	144	87	61	88,5
2041	23	0	0	1.086.040.000,00	23	97,25%	0,1090	0,0005	1.082.234	124	74	52	77,0
2042	24	0	0	1.086.040.000,00	24	97,64%	0,1094	0,0004	925.750	106	63	44	67,0
2043	25	0	0	1.086.040.000,00	25	97,98%	0,1098	0,0004	791.893	90	54	38	58,3
2044	26	0	0	1.086.040.000,00	26	98,28%	0,1101	0,0003	677.391	77	46	32	50,8
2045	27	0	0	1.086.040.000,00	27	98,53%	0,1104	0,0003	579.445	66	40	28	44,3
2046	28	0	0	1.086.040.000,00	28	98,74%	0,1107	0,0002	495.661	57	34	24	38,7
2047	29	0	0	1.086.040.000,00	29	98,92%	0,1109	0,0002	423.992	48	29	20	33,8
2048	30	0	0	1.086.040.000,00	30	99,08%	0,1110	0,0002	362.686	41	25	17	29,5
2049	31	0	0	1.086.040.000,00	31	99,21%	0,1112	0,0001	310.244	35	21	15	25,8
2050	32	0	0	1.086.040.000,00	32	99,32%	0,1113	0,0001	265.385	30	18	13	22,6
2051	33	0	0	1.086.040.000,00	33	99,42%	0,1114	0,0001	227.012	26	16	11	19,7
2052	34	0	0	1.086.040.000,00	34	99,51%	0,1115	0,0001	194.187	22	13	9	17,3
2053	35	0	0	1.086.040.000,00	35	99,58%	0,1116	0,0001	166.109	19	11	8	15,2
2054	36	0	0	1.086.040.000,00	36	99,64%	0,1117	0,0001	142.091	16	10	7	13,3
2055	37	0	0	1.086.040.000,00	37	99,69%	0,1117	0,0001	121.546	14	8	6	11,7
2056	38	0	0	1.086.040.000,00	38	99,74%	0,1118	0,0001	103.971	12	7	5	10,2
2057	39	0	0	1.086.040.000,00	39	99,77%	0,1118	0,0000	88.937	10	6	4	9,0

Quantitativo teoricamente producibile	Quantitativo realmente producibile	Quantitativo effettivo estraibile	
(Nmc)	(Nmc)	(Nmc)	
120.995.879	**72.597.527**	**50.818.269**	