CLIENTE:

ECOSAVONA s.r.l.

gruppo GEOTEA

PROGETTAZIONE E COORDINAMENTO:

STUDIO GEOTECNICO ITALIANO s.r.l.
ingegneria geotecnica – ingegneria ambientale – ingegneria sismica
geologia applicata

Dott. Ing. Stefano Veggi

Iscrizione Albo degli Ingegneri
Provincia di Alessandria-N. 1054
Dott. Ing. STEFANO VEGGI
STUDIO GEOTECNICO ITALIANO

PROGETTO:

COMUNE DI VADO LIGURE (SV)

# DISCARICA PER RNP IN LOCALITA' BOSCACCIO

# AMPLIAMENTO – IPOTESI 1
# PROGETTO DEFINITIVO

TITOLO – Title

# RELAZIONE TECNICA BIOGAS

GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA:

**STUDIO PROGEA**
Dott. S. AICARDI
*via G. Leopardi 35r, 17100 Savona*
*Tel e Fax 019.825956Q*
*Studio.Progea@gmail.com*

**STUDIO CARIERI**
Dott. F. CARIERI
*Via alla Rocca di Legino 5b, 17100 Savona*
*Tel 019.801866 Fax: 019.8403931*
*e-mail: filippo@carieri.com*

IMPIANTISTICA BIOGAS:

**Enrico Magnano**
consulenze tecniche per l'ambiente
Via Rocca Grue, 17 15050 Sarezzano (AL) - Italy
Tel. +39 - 0131 - 88.45.96 Fax. +39 - 0131 - 88.49.21
e-mail: magnano@magnano.it web: www.magnano.it

STUDIO GEOTECNICO ITALIANO

CONTRATTO N. – Contract Nr.

IDENTIFICAZIONE SGI
SGI identification

| COMMESSA | CODICE ARCHIVIO | ELABORATO | EMISSIONE |
|---|---|---|---|
| 07663 | 065R06E01 | | |

| REV. Rev. | DESCRIZIONE Description | REDAZIONE Edited | VERIFICA Checked | AUTORIZZAZIONE Authorized | DATA Date |
|---|---|---|---|---|---|
| 01 | EMISSIONE | Magnano | TER | VEG | 15.06.2011 |

NOME FILE – File name

07663-065R06E01

E' VIETATA LA RIPRODUZIONE DI QUESTO DOCUMENTO SENZA PREVENTIVA AUTORIZZAZIONE SCRITTA SGI–Reproduction of this document is forbidden without prior written permission by SGI

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

# INDICE

1. Introduzione ..... 1

2. Descrizione sintetica dell'impianto ..... 2

3. Produzione di biogas ..... 5
3.1 Fenomenologia di produzione del biogas ..... 5
3.1.1 Fenomeni microbiologici nella produzione del biogas ..... 5
3.1.2 Caratteristiche qualitative del biogas ..... 8
3.2 Fattori che influenzano la produzione di biogas ..... 12
3.2.1 Umidità ..... 12
3.2.2 Densità ..... 14
3.2.3 Temperatura ..... 15
3.2.4 Pezzatura ..... 16

4. Determinazione della produzione di biogas ..... 17
4.1 Modellistica disponibile ..... 17
4.1.1 Classificazione dei modelli di produzione del biogas ..... 18
4.1.2 Modello di calcolo BIO-7 ..... 20
4.2 Caratterizzazione dei rifiuti smaltiti ..... 22
4.3 Conferimento dei rifiuti ..... 23

5. Risultati delle prospezioni ..... 25
5.1 Discarica autorizzata ..... 28
5.2 Ampliamento ..... 31
5.3 Discarica ampliata ..... 32
5.4 Conclusioni ..... 34

6. Sistema di captazione del biogas ..... 36
6.1 Premesse ..... 36
6.2 Dimensionamento delle opere di captazione ..... 36
6.2.1 Dimensionamento degli elementi di captazione ..... 36
6.3 Caratteristiche dei camini ..... 38
6.4 Innalzamento dei pozzi della discarica autorizzata ..... 39

7. Rete di trasporto e regolazione ..... 40
7.1 Rete di trasporto biogas ..... 40
7.2 Rete di smaltimento condense ..... 44
7.3 Centrale di Estrazione e trattamento ..... 44
7.4 Centrale di Recupero Energetico ..... 48
7.5 IL sistema di abbattimento degli ossidi di azoto ..... 53
7.6 Il sistema di abbattimento del monossido di carbonio ..... 56

**Elenco delle tabelle contenute nel testo:**

Tabella 3.1: Composizione tipica di un biogas "aspirato" ..... 9
Tabella 3.2: Composizione tipica di un biogas "esalato" ..... 9
Tabella 3.3: Caratteristiche gas componenti ..... 11
Tabella 4.1: Parametri di input ..... 23
Tabella 4.2: Conferimenti ..... 24
Tabella 5.1: Produzione teorica di biogas ..... 26
Tabella 5.2: Produzione teorica e captabile della discarica attualmente autorizzata 29
Tabella 5.3: Produzione teorica e captabile del solo ampliamento ..... 31
Tabella 5.4: Produzione teorica e captabile della discarica ampliata ..... 33

**Elenco delle figure contenute nel testo:**

Figura 4.1: Dati di input del modello LandGEM (USEPA) ..... 20
Figura 5.1: Produzione teorica e captabile della discarica attualmente autorizzata . 30
Figura 5.2: Produzione teorica e captabile del solo ampliamento ..... 32
Figura 5.3: Produzione teorica e captabile della discarica ampliata ..... 34
Figura 7.1: Configurazione attuale della rete di trasporto biogas. ..... 41
Figura 7.2: Configurazione definitiva della rete di trasporto biogas ..... 43
Figura 7.3: Nuova centrale di estrazione ..... 45
Figura 7.4: Nuova centrale di estrazione ..... 46
Figura 7.5: Confronto tra disponibilità e recupero CRE nell'ipotesi del solo ampliamento ..... 49
Figura 7.6: Confronto tra disponibilità e recupero CRE nell'ipotesi del solo ampliamento ..... 50
Figura 7.7: Layout della nuova CRE-2 ..... 52

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

Figura 7.8: Emissioni in funzione dell'eccesso d'aria ..... 54
Figura 7.9: Regolatore Leanox ..... 56
Figura 7.10: Termoreattore ..... 57

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

# 1. INTRODUZIONE

Nel presente elaborato vengono riportate le stime effettuate per la valutazione della produzione di biogas della discarica e la descrizione delle dotazioni di captazione, trasporto trattamento e recupero energetico dei biogas.
Sulla base di tali stime sono state effettuate le scelte progettuali riportate nella Relazione tecnica generale (rif. SGI: 07663-065R02E01).
Nella presente relazione sono inoltre riportate le ipotesi ed i calcoli effettuati per la determinazione del numero di camini di estrazione da installare in discarica ed alcune considerazioni riguardanti i sistemi di trattamento del biogas.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

## 2. DESCRIZIONE SINTETICA DELL'IMPIANTO

Per la captazione forzata del biogas prodotto in discarica si prevede di realizzare dei camini da costruirsi in elevazione aventi anche la funzione di evitare la formazione di eventuali falde sospese di percolato; i camini saranno infatti connessi, nella loro parte inferiore, alla rete di raccolta dei percolati.
La connessioni dei camini del biogas ai dreni dei percolati consentirà una ottimizzazione di entrambe i sistemi di intercettazione e gestione dei fluidi di discarica.

La parziale sovrapposizione dell'ampliamento alla discarica autorizzata ed il relativo incremento delle quote di coltivazione dei rifiuti, renderà necessaria l'integrazione del sistema di captazione dei pozzi biogas esistenti e la realizzazione di nuovi camini.

La variazione della morfologia dell'impianto comporterà inoltre lo spostamento e/o la ridefinizione della posizione delle linee di trasporto secondarie (dai pozzi alle stazioni di regolazione) e primarie (dalle stazioni alla Centrale di Estrazione) e delle stesse Sotto Stazioni di regolazione della discarica autorizzata.

I camini di estrazione saranno quindi collegati al sistema di estrazione e trattamento tramite una rete di trasporto e regolazione analoga a quella esistente costituita da una rete secondaria in parallelo (ogni singolo pozzo collegato ad una Sotto Stazione (SS) e da una rete primaria seriale di collegamento delle stazioni di regolazione alla Centrale di Estrazione e di trattamento.
Il sistema sarà analogo a quello esistente ma le dotazioni saranno radicalmente rinnovate, si prevede infatti la realizzazione di una nuova ed indipendente Centrale di Estrazione localizzata nella zona servizi, vicino all'ingresso della discarica ed adiacente all'impianto di recupero energetico.
La nuova centrale, denominata CE-2, sarà quindi posizionata a circa 180 m a nord-est della esistente CE-1 ed ad una quota assoluta di circa 200 m. s.l.m.

Per quel che concerne il trattamento dei biogas captati, in conformità al D.Lgs. 36/03, i gas verranno preferibilmente trasformati in energia elettrica mediante

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

la realizzazione di una nuova Centrale di Recupero Energetico (denominata CRE-2 per distinguerla dalle esistente CRE-1).

Prima della trasformazione energetica i biogas saranno sottoposti ad alcuni pre-trattamenti di assorbimento (torre scrubber), deumidificazione (scambiatore termico) ed adsorbimento (filtri a carboni attivi) al fine da eliminare quante più sostanze dannose siano intercettabili e quindi ridurre al minimo stato dell'arte le emissioni finali Le dotazioni di trattamento gas descritte sono quelle previste dall'attuale progetto elaborato sulla scorta dell'ampia esperienza maturata nella gestione dell'attuale impianto (CE-1 + CRE-1), eventuali evoluzioni, integrazioni o modifiche migliorative potranno essere introdotte nella fase costruttiva dell'impianto. Tale logica consentirà di verificare in corso d'opera le effettive esigenze di captazione anche sulla base della merceologia dei rifiuti del futuro e sulla evoluzione futura degli impianti di trattamento degli stessi. Sarebbe infatti poco corretto dimensionare oggi le dotazioni elettromeccaniche su di una ipotesi eccessivamente ottimistica (best case) di produzione e captazione del biogas.

La nuova CRE-2 sarà localizzata nel piazzale a nord della attuale CRE-1 e della zona servizi della discarica (ingresso ed uffici) ad una quota di circa 200 m s.l.m. ed adiacente alla nuova Centrale di Estrazione CE-2.

I biogas non utilizzati dalla centrale di recupero energetico CRE-2 potranno essere bruciati un una nuova torcia adiabatica (conforme ai requisiti previsti dal D.Lgs. 36/03).
La nuova torcia avrà la funzione di bruciare le eccedenze di entrambe le Centrali di recupero (CRE-1 e CRE-2). Tale servizio sarà condiviso con la attuale torcia già autorizzata ma in una posizione molto più comoda di quella attuale.
Attualmente la torcia è infatti posizionata ai limiti inferiori della discarica, alla quota 160 m s.l.m. (dislivello 40 m) ed ad una distanza in linea d'aria di 200 m dalla zona di utilizzo dei biogas.
La realizzazione della nuova torcia nel punto baricentrico delle due CRE, e la integrazione di servizio con la torcia attuale, consentirà la centralizzazione di tutti i punti di emissione della discarica.

Nella pratica la nuova torcia fungerà da dotazione "primaria" di trattamento delle eccedenze di biogas di entrambe gli impianti di recupero energetico, solo al raggiungimento del limite prestazionale di tale dotazione verrà accesa la seconda torcia (quella già esistente) in funzione di emergenza integrativa.

Occorre comunque precisare che le due Centrali di Recupero (CRE-1 eistente e CRE-2 in progetto) sono composte da ben 13 gruppi elettrogeni di differenti potenze e consumi e che quindi è quasi impossibile un contestuale spegnimento di tutte le dotazioni di recupero, pertanto ai due combustori adiabatici (torce) viene affidata una funzione integrativa di sfioro ed emergenza che non deve essere necessariamente pari alla portata complessiva di tutta la produzione di biogas attesa.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

# 3. PRODUZIONE DI BIOGAS

## 3.1 Fenomenologia di produzione del biogas

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

### 3.1.1 Fenomeni microbiologici nella produzione del biogas

La decomposizione dei rifiuti solidi 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.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

### 3.1.1.1 Fase aerobica

La degradazione aerobica avviene subito dopo il deposito dei rifiuti nello scarico controllato 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.

La valutazione della fase aerobica è di particolare importanza per la valutazione dei rifiuti conferiti in discarica a seguito di lunghi periodi di permanenza in luoghi caratterizzati da scarsa compattazione ed abbondane presenza di aria.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

### 3.1.1.2 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.

### 3.1.1.3 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.

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.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

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.
Anche l'umidità dei rifiuti può condizionare l'azione batterica metanigena: sono stati riscontrati casi ove la ridotta presenza di umidità ha inibito l'instaurarsi della fase anaerobica, "congelando" quindi il fenomeno decompositivo.
Una volta avviata la fase metanigena, la produzione di biogas si manifesta, normalmente, per parecchi anni (anche 30-40), 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.

### 3.1.2 Caratteristiche qualitative 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 (CH4);
- l'anidride carbonica ($CO_2$).

Combinati con tali gas sono spesso presenti anche l'ossigeno ($O_2$) e l'azoto ($N_2$) in quanto presenti sottoforma di aria negli interstizi liberi dei rifiuti al momento della deposizione oppure richiamati dall'atmosfera da azioni dinamiche di aspirazione.
Più raramente è presente l'Idrogeno ($H_2$), prodotto in limitate quantità e per brevi periodi, attraverso processi acetogenici.
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.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

| | **DENSITÀ (RIFERITA ALL'ARIA)** | **POTERE CALORIFICO INFERIORE** [kcal/m³] | **INCIDENZA NEL BIOGAS (IPOTESI)** [%] | **DENSITÀ RELATIVA** | **PCI RELATIVO** [kcal/m³] |
|---|---|---|---|---|---|
| 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) |

*Tabella 3.1: Composizione tipica di un biogas "aspirato"*

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

| | **DENSITÀ (RIFERITA ALL'ARIA)** | **POTERE CALORIFICO INFERIORE** [kcal/m³] | **INCIDENZA NEL BIOGAS (IPOTESI)** [%] | **DENSITÀ RELATIVA** | **PCI RELATIVO** [kcal/m³] |
|---|---|---|---|---|---|
| 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) |

*Tabella 3.2: Composizione tipica di un biogas "esalato"*

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

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

Come premesso nel biogas originato da rifiuti organici sono presenti anche altri gas oltre a quelli, definiti macrocomponenti, citati precedentemente.
Possono essere inoltre presenti tracce di ulteriori gas, in parte xenobiotici, quali ad esempio idrocarburi alogenati o composti aromatici.
Questi non derivano dalla decomposizione biologica dei rifiuti, ma sono il risultato della loro contaminazione.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

*Tabella 3.3: Caratteristiche gas componenti*

| GAS | | Metano | Anidride carbonica | Ossigeno | Azoto | Ossido di carbonio | Mercaptano Etilio | Idrogeno | Idrogeno solforato |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FORMULA CHIMICA | | $CH_4$ | $CO_2$ | $O_2$ | $N_2$ | CO | $C_2H_5SH$ | $H_2$ | $H_2S$ |
| CONCENTRAZIONE | % | 50-60 | 30-50 | 0 – 20 | 0 – 80 | Tracce | Tracce | 0 – 20 | Tracce |
| MASSA MOLARE | g/mole | 16,04 | 44,01 | 31,99 | 28,01 | 28,10 | - | 2,02 | 34,08 |
| DENSITÀ | $kg/m^3$ | 0,717 | 1,977 | 1,429 | 1,250 | 1,250 | - | 0,090 | 1,54 |
| DENSITÀ RELATIVA ALL'ARIA | | 0,56 | 1,53 | 1,11 | 0,97 | 0,97 | - | 0,07 | 1,20 |
| POTERE CALORIFICO | $kWh/m^3$ | 9,58 | - | - | - | 3,50 | - | 2,98 | - |
| INFIAMMABILITÀ IN ARIA | % | 5 – 15 | - | - | - | 12 - 74 | - | 4 – 74 | 4 – 44 |
| VELOCITÀ FIAMMA | m/s | 0,4 | - | - | - | 0,5 | - | 2,8 | - |
| ENERGIA ACCENSIONE | mJ | 0,6 | - | - | - | - | - | 0,02 | - |
| TEMPERATURA DI ACCENSIONBE | °C | 600 | - | - | - | 630 | - | 570 | 290 °C |
| TEMPERATURA FIAMMA | °C | 1.875 | - | - | - | 2.650 | - | 2.045 | - |
| SOLUBILITÀ IN ACQUA | g/l | 0,065 | 1,688 | 0,043 | 0,019 | 0,028 | - | 0,001 | 4,190 |
| TOSSICITÀ | ppm | No | 5.000 | No | No | 50 | - | No | 10 |
| ODORE | | Inodore | Inodore | Inodore | Inodore | Inodore | Sgradevole | Inodore | Sgradevole |

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

## 3.2 Fattori che influenzano la produzione di biogas

Nel presente capitolo verrà sviluppata la valutazione del fenomeno di produzione del biogas ed evidenziati i numerosi aspetti che lo condizionano.

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

- Caratteristiche ambientali:
  - Precipitazioni;
  - Temperatura dell'aria;
- Caratteristiche dei rifiuti:
  - Composizione;
  - Granulometria allo scarico;
  - Densità;
  - Pretrattamenti;
- Modalità di gestione:
  - Profondità dello scarico controllato;
  - Modalità di deposito dei rifiuti;
  - Materiali di copertura provvisoria;

I fattori d'influenza sono stati considerati nello sviluppo del modello matematico previsionale di produzione di biogas (BIO-7) adottato nel presente progetto e sono di seguito descritti.

### 3.2.1 Umidità

L'umidità dei rifiuti, all'atto del deposito nello scarico controllato, dipende dalla composizione dei rifiuti, dalle condizioni climatiche e dalle tecniche di raccolta.

In effetti il fenomeno di decomposizione si sviluppa all'interno della discarica dove in aggiunta all'umidità dei rifiuti conferiti si somma l'umidità raccolta dall'ambiente.

La principale funzione dell'umidità nel processo di metanogenesi, oltre a quella ben nota di consentire l'attività dei microrganismi, è la creazione della massima

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

interfaccia solido-liquido con la conseguente diffusione ottimale nell'ammasso dei microrganismi, del substrato idrolizzato, dei nutrienti, ecc.
Evidenze sperimentali hanno mostrato un aumento consistente della produzione di biogas all'aumentare dell'umidità; è stato altresì riscontrato, che una volta stabilizzate la diffusione e l'interfaccia solido-liquido, l'umidità aggiuntiva non ha effetti rilevanti sulla metanogenesi.

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

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

Normalmente per discariche chiuse il principale termine positivo del bilancio idrologico è rappresentato dalle precipitazioni meteoriche.
La maggior parte di queste non penetra all'interno del deposito ma viene allontanata per ruscellamento superficiale.
Un'altra quota parte ritorna all'atmosfera attraverso l'evaporazione o, nel caso di superficie già ricoperta da vegetazione, di evapotraspirazione.
Per le discariche, o porzioni di esse, in gestione aperta o non ancora dotate di capping le infiltrazioni di acque meteoriche sono decisamente maggiori.

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

L'acqua assorbita dai rifiuti può essere comunque rilasciata successivamente, negli strati superficiali per evapotraspirazione e negli strati più bassi per azione della percolazione.
Il contributo, positivo o negativo, dovuto alla produzione o al consumo di acqua, associabile alle diverse reazioni biochimiche di degradazione aerobica e anaerobica della sostanza organica contenuta nei rifiuti è importante e normalmente interviene nelle fasi di fermentazione anaerobica.

Se un settore di discarica viene posto in esercizio nella stagione secca e completato in tempi brevi, vi è la concreta possibilità che l'umidità dei rifiuti non sia sufficiente per un completo sviluppo del fenomeno di produzione di biogas.
Studi di laboratorio condotti su lisimetri hanno dimostrato che, in condizioni di bassa umidità, viene prodotta una quantità scarsa o nulla di biogas.
Sperimentazioni in campo, condotte su settori di discarica, hanno anch'esse confermato la forte dipendenza della produzione di biogas dall'umidità, riscontrando concentrazioni molto piccole di metano nel gas prodotto dagli ammassi a basso tenore di umidità.
Alcune altre esperienze, condotte in scarichi controllati localizzati in zone secche, hanno invece riscontrato variazioni fino al 50%.
E' quindi definibile che il fattore di umidità interno alla discarica è l'elemento di maggiore importanza nella variabilità dell'algoritmo utilizzato.

### 3.2.2 Densità

L'effetto della densità sulla produzione di biogas non è stato ancora del tutto chiarito e quantificato. Risulta, infatti, da studi sperimentali, che la densità può avere effetti contrastanti sulla produzione di biogas, visto che:

- diminuendo la capacità di campo dei rifiuti tende ad aumentare la diffusione e la distribuzione nella massa di rifiuti dell'umidità e di tutti gli elementi presenti nella fase acquosa (microrganismi, nutrienti, ecc.);
- la superficie totale reattiva della frazione solida diminuisce e pertanto anche la velocità di idrolisi della sostanza organica.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

In rifiuti secchi (u = 21%), si è riscontrato un aumento della produzione di biogas all'aumentare della densità (Rees J.F. – 1981- Major affecting methane production in landfills) a differenza di quanto avviene in rifiuti con umidità maggiore.
Nei rifiuti secchi probabilmente il primo meccanismo tende a prevalere sul secondo, mentre nei rifiuti umidi, in cui spesso si è già inizialmente in condizioni di saturazione capillare, il primo meccanismo è poco o per nulla influente.
In seguito alla compattazione effettuata nelle operazioni di pretrattamento e deposito nello scarico controllato si ha un aumento della densità dei rifiuti a cui si può associare un fenomeno di "spremitura" di parte dell'acqua trattenuta sotto forma di umidità.

La densità ha altresì influenza sui processi di degradazione biologica. Infatti, a basse densità (0,35-0,5 t/m$^3$), negli strati superficiali il metabolismo aerobico può assumere un significativo ruolo nella decomposizione dei rifiuti, per due motivi:

- genera una considerevole energia termica (la temperatura nello strato può raggiungere i 70-80°C), che può essere trasmessa agli strati vicini;
- non si accumulano alte concentrazioni di acidi volatili ed il pH non scende normalmente sotto pH 7, cosicché non si determinano condizioni inibitorie per la crescita della popolazione metanigena.

### 3.2.3 Temperatura

La produzione di biogas è influenzata dalle temperature all'interno dello scarico controllato, nonché dalle variazioni di queste nel tempo. Diversi studi sperimentali hanno evidenziato l'importanza di tale parametro, quantificando l'influenza della temperatura sul tasso di produzione di metano.
In condizioni strettamente anaerobiche ed in presenza di un adeguato isolamento termico, le temperature all'interno della massa di rifiuti possono raggiungere anche 35-45°C.
Sulla base dell'energia di attivazione, necessaria alla produzione di metano, è stato calcolato che la temperatura ottimale per tale processo è di circa 41°C.
In base al bilancio termico dello scarico controllato è possibile costruire profili termici, che dimostrano come ad una certa profondità, funzione della capacità isolante

degli strati deposti, la temperatura all'interno dello scarico controllato non sia più influenzata dalle condizioni termiche dell'ambiente esterno, ma solo dalla natura esotermica delle reazioni di fermentazione dei rifiuti..

È stato inoltre riscontrato che all'aumentare dell'umidità dei rifiuti si ha un aumento dell'energia prodotta dalle reazioni di fermentazione.

Al variare della temperatura si osserva la variazione della velocità di tutti i processi biologici in atto, possibili alterazioni della composizione della popolazione batterica attiva ed, in particolare, la variazione del rapporto tra la sostanza organica sintetizzata e quella biogassificata.

### 3.2.4 Pezzatura

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

D'altra parte, l'esposizione di un'ampia superficie al processo di idrolisi può condurre alla rapida formazione di acidi grassi volatili. Tali acidi possono deprimere il pH a valori tossici per la popolazione batterica metanigena.

La riduzione della pezzatura comporta inoltre la diminuzione dell'indice dei vuoti nella massa dei rifiuti con il conseguente aumento della densità, con gli effetti sopra descritti.

Nella discarica in oggetto non sono presenti sistemi di modifica della pezzatura e pertanto occorre considerare una tipologia "tal quale" dei rifiuti conferiti.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

# 4. DETERMINAZIONE DELLA PRODUZIONE DI BIOGAS

Il presente capitolo tratta gli aspetti connessi alle valutazioni quantitative della produzione di biogas.

La prima fase riguarda la caratterizzazione merceologica dei rifiuti smaltiti, propedeutica all'elaborazione del modello previsionale di produzione del biogas per una tonnellata di rifiuto.

Sulla base della cronologia e dell'entità degli afflussi, a partire dalla produzione unitaria, sarà determinata la produzione di biogas nel tempo per l'intero impianto.

## 4.1 Modellistica disponibile

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

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

Il livello di approssimazione delle risposte fornite dai modelli matematici dipende dalla complessità degli stessi, nonché, soprattutto, dalla possibilità di ottenerne una buona validazione sperimentale. I modelli più complessi, ad esempio quelli ecologici, pur consentendo di descrivere il dettaglio le reazioni di biodegradazione e di poter quindi prevedere eventuali fenomeni di instabilità o di inibizione del sistema, presentano il limite della difficoltà di taratura: essa infatti richiede un numero elevato di dati, di difficile e problematico reperimento.

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

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

### 4.1.1 Classificazione dei modelli di produzione del biogas

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

- stimare, per rifiuti di caratteristiche conosciute, la quantità di biogas massima teorica (in un tempo infinito) che può essere estratta dallo scarico controllato. Normalmente tale parametro viene definito L0 (Potential Methane generation capacity = $m^3$ LFG50/Mg)
- valutare la cinetica del processo di produzione del biogas, e quindi prevederne l'evoluzione temporale della produzione. Normalmente tale parametro viene definito K (Methane generation rate = Year $^{-1}$)

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

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

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

I modelli stechiometrici sono basati su una reazione stechiometrica globale, in cui il reagente è costituito dai rifiuti, rappresentati mediante una formula chimica empirica, ed i prodotti della reazione includono metano ed anidride carbonica.

I modelli stechiometrici si differenziano per il tipo di reazione globale adottata, per l'aver tenuto conto o meno di alcune componenti dei rifiuti e della sintesi cellulare dei microrganismi, ecc.

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

I modelli si differenziano per il tipo di cinetica adottata (generalmente del I ordine), per il numero di substrati biodegradabili individuati (uno indifferenziato o diversi), per

l'aver tenuto conto dell'influenza di fattori importanti quali la temperatura dell'ammasso, l'umidità in situ, il grado di compattazione, ecc.
I modelli ecologici considerano l'ecosistema che è alla base della metanogenesi in uno scarico controllato e descrivono la coesistenza dinamica di popolazioni microbiche simbiotiche, interconnesse dalla catena alimentare. La prima fase di tale catena è l'idrolisi della sostanza organica solida, l'ultima è la generazione di metano ed anidride carbonica. Ognuna di queste fasi è descritta da una o più equazioni che configurano complessivamente un modello dinamico della metanogenesi. Solo questi modelli sono in grado di evidenziare gli squilibri di nutrienti o di caratteristiche del substrato, che possono condurre all'inibizione parziale o totale della popolazione metanigena.
I diversi risultati dell'applicazione dei modelli descritti sono purtroppo molto diversi, essendo desunti da situazioni fra loro non sempre confrontabili.

Anche il modello di calcolo LandGEM proposto dall'EPA statunitense e considerato come riferimento di numerose specifiche di validazione di progetti internazionali "impone" alcuni valori di $L_0$ di default estremamente arbitrari e poco flessibili nell'applicazione.

Si riportano di seguito i dati di "input" proposti dal modello di calcolo LandGEM.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

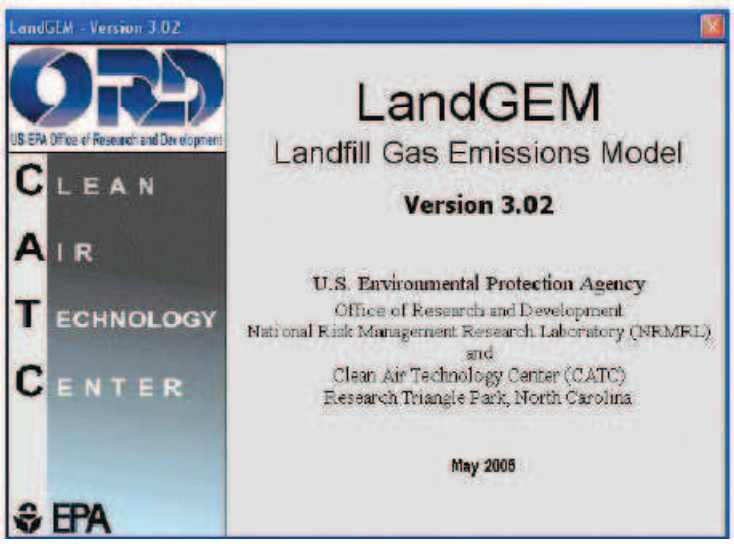



Table 3. Values for the Potential Methane Generation Capacity ($L_o$).

| Emission Type | Landfill Type | $L_o$ Value - $m^3/Mg$ |
|---|---|---|
| CAA | Conventional | 170 (default) |
| CAA | Arid Area | 170 |
| Inventory | Conventional | 100 |
| Inventory | Arid Area | 100 |
| Inventory | Wet (Bioreactor) | 96 |

*Figura 4.1: Dati di input del modello LandGEM (USEPA)*

Come evidente i valori (riferiti al metano) sono molto differenti tra loro e la "discrezionalità" dell'operatore è molto soggettiva. Si precisa che i valori espressi in biogas $LFG_{50}$ corrispondono al doppio del valore espresso in metano

### 4.1.2 Modello di calcolo BIO-7

Il modello di calcolo utilizzato per la valutazione della produttività di biogas oggetto delle presente relazione è denominato BIO-7, ed è basato su un metodo misto teorico-pratico.

Detto modello è stato elaborato e testato nel corso di circa 30 anni di sperimentazioni e verifiche eseguite su centinaia di discariche, in Italia ed all'Estero.

Il modello, nel corso del tempo, ha subito continue evoluzioni ed aggiornamenti al fine di recepire le variazioni verificate in corso d'opera.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

BIO-7 utilizza un algoritmo derivato da un modello biochimico, che, ottimizzando sperimentalmente i parametri applicati al modello base, consente di costruire una curva "standard" di produzione unitaria.
I summenzionati parametri "corretti", introdotti nell'elaborazione biochimica, dipendono principalmente dalla caratterizzazione dell'ambiente di decomposizione.
La prima fase della valutazione è orientata alla definizione della produttività specifica media di una singola tonnellata di rifiuto smaltito.
Per ottenere tale dato si valuta merceologicamente la composizione del rifiuto smaltito suddividendolo in due frazioni differenziabili per la cinetica di fermentazione:

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

Ottenuta la valutazione di produttività specifica delle due frazioni RVP e RLP si procede all'applicazione di un coefficiente ($K_p$) che definisce le condizioni tipiche di fermentazione dell'impianto osservato.
Di particolare importanza ed influenza è l'umidità interna alla discarica ($K_{ud}$).

Definite le produttività totali di gas per singola frazione di rifiuto si passa alla determinazione della cinetica di decomposizione.
Il modello di calcolo definisce il tempo di semitrasformazione (Ts) della sostanza organica inteso come il tempo necessario al dimezzamento della porzione biogassificabile iniziale. Anche in questo caso il Ts viene valutato separatamente per le due frazioni RVP e RLP.
Essendo noto il tempo di semitrasformazione vengono di conseguenza calcolate le massime produzioni annuali ed i coefficienti di regressione (Kr) ed infine le produzioni specifiche anno per anno.
Nel modello di calcolo viene considerata una produzione di 40 anni.

L'ultima fase dell'elaborazione consiste nella sovrapposizione degli effetti legati alle quantità di rifiuti smaltiti con la cronologia di deposizione in discarica e conseguentemente con la valutazione della produzione teorica annua.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

## 4.2 Caratterizzazione dei rifiuti smaltiti

L'elevata entropia dei rifiuti solidi urbani rende l'insieme difficilmente riconducibile alle singole categorie componenti.

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

- **rifiuti organici velocemente putrescibili (RVP)** comprendenti i rifiuti da mensa, gli scarti da giardino ed agricoli;
- **rifiuti organici lentamente putrescibili (RLP**) comprendenti la carta ed i cartoni, il legno i tessili ed i pellami;

Una terza categoria, comprendente i **rifiuti non putrescibili (RNP**), viene definita come complemento al 100%.

Per la valutazione del fenomeno di produzione del biogas sono state fatte alcune prospezioni produttive legate ai seguenti scenari:

- discarica attuale con conferimenti fino al 2005;
- discarica attuale con conferimenti fino al 2012;
- ampliamento futuro della discarica con l'introduzione dell'impianto di stabilizzazione aerobica della frazione organica dei rifiuti.

Gli scenari sono stati così differenziati al fine di valutare le diverse tipologie di rifiuti conferiti e per separare le produzioni della discarica attualmente autorizzata da quella in previsione di ampliamento.

Per ogni scenario sono state poi considerate diverse condizioni probabilistiche riferibili alla merceologia dei rifiuti ed alle condizioni di fermentazione in discarica, ne consegue che ad ogni scenario siano state attribuite variazione best e worst case.

Si riporta di seguito la tabella riepilogativa dei parametri di calcolo.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

| | | SCENARIO ANTE 2005 | | SCENARIO 2006-2012 | | SCENARIO FUTURO | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | BC | WC | BC | WC | BC | WC |
| Incidenza rifiuti alimentari | % | 32,00 | 30,00 | 29,00 | 27,00 | 27,00 | 25,00 |
| Incidenza rifiuti da giardino | % | 2,50 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 2,00 | 1,50 |
| Incidenza carta e cartone | % | 18,00 | 17,00 | 24,00 | 22,00 | 24,00 | 22,00 |
| Incidenza tessili e cuoio | % | 1,50 | 1,30 | 2,00 | 1,50 | 2,00 | 1,50 |
| Incidenza legno | % | 2,00 | 1,50 | 2,00 | 1,50 | 2,50 | 2,00 |
| Sostanze velocemente putrescibili RVP | % | 34,50 | 32,00 | 31,00 | 28,50 | 29,00 | 26,50 |
| Sostanze lentamente putrescibili RVP | % | 21,50 | 19,80 | 28,00 | 25,00 | 28,50 | 25,50 |
| Somma sostanze non putrescibili RNP | % | 44,00 | 48,20 | 41,00 | 46,50 | 42,50 | 48,00 |
| Somma sostanze putrescibili | % | 56,00 | 51,80 | 59,00 | 53,50 | 57,50 | 52,00 |
| Fattore di umidità interno alla discarica | % | 55 | 52 | 58 | 55 | 58 | 55 |
| Carbonio organico | kg/t | 133,76 | 124,24 | 142,88 | 130,33 | 139,26 | 126,71 |
| Carbonio biogassificabile | kg/t | 94,66 | 88,02 | 101,51 | 92,68 | 98,88 | 90,05 |
| Produzione specifica | $Nm^3$ | 190,18 | 167,25 | 215,01 | 186,21 | 209,43 | 180,92 |
| Biogas per t RS - RVP | $Nm^3$ | 110,73 | 97,30 | 105,03 | 91,78 | 98,18 | 85,28 |
| Biogas per t RS - RLP | $Nm^3$ | 79,45 | 69,95 | 109,98 | 94,44 | 111,25 | 95,64 |
| Biogas totale dato su 40 anni | $Nm^3$ | 179,91 | 159,94 | 203,69 | 178,23 | 198,50 | 173,29 |
| Biogas RVP | $Nm^3$ | 104,17 | 92,10 | 98,15 | 86,34 | 91,75 | 80,23 |
| Biogas RLP | $Nm^3$ | 75,74 | 67,84 | 105,53 | 91,89 | 106,75 | 93,06 |
| Fattore correttivo di produzione KP | % | 103,12 | 100,12 | 106,42 | 103,42 | 104,72 | 101,72 |
| Biogas totale in funzione di KP | $Nm^3$ | 185,52 | 160,13 | 216,76 | 184,32 | 207,87 | 176,27 |

*Tabella 4.1: Parametri di input*

## 4.3 Conferimento dei rifiuti

Definite le produzioni specifiche dei rifiuti occorre applicare le stesse ai quantitativi di rifiuti smaltiti nei diversi scenari considerati. Si riporta nella tabella seguente la cronologia dei rifiuti considerati nel calcolo.

L'ipotesi dei conferimenti considera una capacità volumetrica netta di 1,56 milioni di metri cubi ed una densità media di 0,84 t/$m^3$ dei rifiuti, ne risulta una capacità in peso pari a 1'310'400 t di rifiuti.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

| ANNO | SCENARIO ANTE 2005 [t/anno] | SCENARIO 2006-2012 [t/anno] | SCENARIO FUTURO [t/anno] |
|---|---|---|---|
| 1 992 | 1 842 | | |
| 1 993 | 34 016 | | |
| 1 994 | 99 105 | | |
| 1 995 | 76 780 | | |
| 1 996 | 86 439 | | |
| 1 997 | 81 157 | | |
| 1 998 | 42 412 | | |
| 1 999 | 48 134 | | |
| 2 000 | 66 782 | | |
| 2 001 | 64 003 | | |
| 2 002 | 45 156 | | |
| 2 003 | 62 320 | | |
| 2 004 | 84 000 | | |
| 2 005 | 97 375 | | |
| 2 006 | | 98 845 | |
| 2 007 | | 147 669 | |
| 2 008 | | 145 235 | |
| 2 009 | | 186 751 | |
| 2 010 | | 190 000 | |
| 2 011 | | 190 000 | |
| 2 012 | | 160 000 | 30 000 |
| 2 013 | | | 190 000 |
| 2 014 | | | 190 000 |
| 2 015 | | | 190 000 |
| 2 016 | | | 190 000 |
| 2 017 | | | 190 000 |
| 2 018 | | | 190 000 |
| totale | 889 521 | 1 118 500 | 1 170 000 |

*Tabella 4.2: Conferimenti*

## 5. RISULTATI DELLE PROSPEZIONI

Determinati gli afflussi annui collocati in discarica nei diversi scenari e stimata la produzione di una singola tonnellata di rifiuti è possibile procedere alla determinazione della quantità globale di biogas prodotto dall'intera discarica calcolando la sovrapposizione degli effetti.
Il risultato dell'elaborazioni fornisce quindi i dati di produzione teorica intesa come il quantitativo di gas teoricamente prodotto ed emesso.

Nella tabella seguente si riportano le produzioni teoriche nei diversi scenari best case e worst case. La valutazione delle produzioni della discarica attuale saranno utilizzate come verifica degli attuali dimensionamenti e quindi a conferma dell'esigenza di una nuova ed indipendente centrale di Estrazione.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

| ANNO | SCENARIO ANTE 2005 | | SCENARIO 2006-2012 | | SCENARIO FUTURO | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | BC [Nm³/h] | WC [Nm³/h] | BC [Nm³/h] | WC [Nm³/h] | BC [Nm³/h] | WC [Nm³/h] |
| 1 992 | 2 | 2 | | | | |
| 1 993 | 45 | 36 | | | | |
| 1 994 | 234 | 187 | | | | |
| 1 995 | 523 | 420 | | | | |
| 1 996 | 710 | 573 | | | | |
| 1 997 | 879 | 714 | | | | |
| 1 998 | 958 | 784 | | | | |
| 1 999 | 934 | 770 | | | | |
| 2 000 | 953 | 790 | | | | |
| 2 001 | 1 014 | 842 | | | | |
| 2 002 | 1 036 | 864 | | | | |
| 2 003 | 1 028 | 860 | | | | |
| 2 004 | 1 091 | 913 | | | | |
| 2 005 | 1 213 | 1 013 | | | | |
| 2 006 | 1 234 | 1 033 | 130 | 103 | | |
| 2 007 | 1 009 | 857 | 582 | 461 | | |
| 2 008 | 831 | 716 | 1 081 | 860 | | |
| 2 009 | 690 | 601 | 1 527 | 1 222 | | |
| 2 010 | 577 | 509 | 2 011 | 1 616 | | |
| 2 011 | 487 | 433 | 2 411 | 1 946 | | |
| 2 012 | 414 | 371 | 2 699 | 2 188 | 37 | 29 |
| 2 013 | 354 | 320 | 2 640 | 2 155 | 346 | 273 |
| 2 014 | 305 | 278 | 2 140 | 1 771 | 1 028 | 811 |
| 2 015 | 265 | 243 | 1 750 | 1 467 | 1 573 | 1 249 |
| 2 016 | 232 | 213 | 1 445 | 1 225 | 2 013 | 1 608 |
| 2 017 | 204 | 188 | 1 204 | 1 031 | 2 371 | 1 904 |
| 2 018 | 180 | 167 | 1 012 | 874 | 2 665 | 2 150 |
| 2 019 | 160 | 149 | 859 | 747 | 2 847 | 2 307 |
| 2 020 | 142 | 133 | 734 | 643 | 2 694 | 2 200 |
| 2 021 | 127 | 120 | 633 | 557 | 2 199 | 1 820 |
| 2 022 | 114 | 108 | 549 | 486 | 1 812 | 1 518 |
| 2 023 | 103 | 98 | 480 | 426 | 1 507 | 1 276 |
| 2 024 | 93 | 89 | 421 | 376 | 1 265 | 1 081 |
| 2 025 | 84 | 80 | 372 | 333 | 1 071 | 922 |
| 2 026 | 76 | 73 | 330 | 297 | 914 | 793 |
| 2 027 | 69 | 67 | 293 | 265 | 786 | 687 |
| 2 028 | 63 | 61 | 262 | 238 | 681 | 598 |
| 2 029 | 57 | 56 | 235 | 214 | 594 | 525 |
| 2 030 | 52 | 51 | 211 | 193 | 521 | 463 |
| 2 031 | 47 | 47 | 189 | 174 | 460 | 410 |
| 2 032 | 43 | 43 | 170 | 158 | 407 | 365 |
| 2 033 | 39 | 39 | 154 | 143 | 362 | 326 |
| 2 034 | 36 | 36 | 139 | 130 | 323 | 292 |
| 2 035 | 33 | 33 | 125 | 118 | 289 | 263 |

*Tabella 5.1: Produzione teorica di biogas*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

Non tutta la produzione teorica di biogas è però captabile esiste infatti una porzione di gas che non è possibile captare o che viene ossidata diversamente negli strati corticali dell'impianto.

Per efficienza d'impianto s'intende il rapporto tra la capacità di captazione della rete e la produzione teorica prevista di biogas.
Tale fattore, essenziale nel dimensionamento del sistema di aspirazione trasporto e combustione e del sistema di recupero energetico, è funzione di diversi elementi tipici della discarica e della prevista rete di captazione.

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

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

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

- densità della rete di captazione (interasse dei pozzi);
- depressione applicata agli elementi di captazione;
- caratteristiche costruttive degli elementi di captazione;
- allagamento degli elementi di captazione da parte dei percolati.

Normalmente lo stato dell'arte dei sistemi di captazione indica una efficienza ideale di captazione (dopo la chiusura) variabile tra il 70 e l'80%.

Il modello BIO-7 è in grado di calcolare automaticamente il coefficiente di efficienza di captazione ($K_C$) in funzione dei parametri sopra elencati e riferibili ad un momento specifico della vita dell'impianto (al quale le indicazioni sono riferite).
Ovviamente il coefficiente di efficienza è variabile: negli anni precedenti alla chiusura della discarica il $K_c$ sarà in funzione della tipologia della copertura

provvisoria in quanto quella definitiva sarà solo parziale, influiranno inoltre il grado di avanzamento dei lavori di costruzione degli elementi di captazione e della rete di trasporto e regolazione.

Dopo la chiusura (dell'ampliamento) si ritiene di raggiungere la massima efficienza di captazione ma negli anni successivi si inizierà a subire il fattore di degradazione funzionale del sistema molto soggetto a fenomeni riduttivi.
Il progetto prevede una massima efficienza di captazione variabile tra l'83% (worst case) e l'85% (best case).

## 5.1 Discarica autorizzata

Sulla base di tali valutazioni si riporta di seguito la tabella riepilogativa delle produzioni captabili dalla discarica attuale con una previsione di utilizzo della stessa fino al 2012.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

| ANNO | PRODUZIONE TEORICA | | KC | | PRODUZIONE CAPTABILE | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | BC [Nm³/h] | WC [Nm³/h] | | | BC [Nm³/h] | WC [Nm³/h] |
| 1 992 | 2 | 2 | 73,80% | 71,80% | 2 | 1 |
| 1 993 | 45 | 36 | 74,20% | 72,20% | 33 | 26 |
| 1 994 | 234 | 187 | 74,60% | 72,60% | 175 | 136 |
| 1 995 | 523 | 420 | 75,00% | 73,00% | 392 | 306 |
| 1 996 | 710 | 573 | 75,40% | 73,40% | 535 | 421 |
| 1 997 | 879 | 714 | 75,80% | 73,80% | 666 | 527 |
| 1 998 | 958 | 784 | 76,20% | 74,20% | 730 | 581 |
| 1 999 | 934 | 770 | 76,60% | 74,60% | 715 | 575 |
| 2 000 | 953 | 790 | 77,00% | 75,00% | 734 | 593 |
| 2 001 | 1 014 | 842 | 77,40% | 75,40% | 784 | 635 |
| 2 002 | 1 036 | 864 | 77,80% | 75,80% | 806 | 655 |
| 2 003 | 1 028 | 860 | 78,20% | 76,20% | 804 | 656 |
| 2 004 | 1 091 | 913 | 78,60% | 76,60% | 858 | 700 |
| 2 005 | 1 213 | 1 013 | 79,00% | 77,00% | 958 | 780 |
| 2 006 | 1 364 | 1 136 | 79,40% | 77,40% | 1 083 | 879 |
| 2 007 | 1 591 | 1 318 | 79,80% | 77,80% | 1 270 | 1 026 |
| 2 008 | 1 912 | 1 576 | 80,20% | 78,20% | 1 533 | 1 232 |
| 2 009 | 2 217 | 1 823 | 80,60% | 78,60% | 1 787 | 1 433 |
| 2 010 | 2 588 | 2 124 | 81,00% | 79,00% | 2 096 | 1 678 |
| 2 011 | 2 898 | 2 379 | 81,40% | 79,40% | 2 359 | 1 889 |
| **2 012** | **3 112** | **2 559** | **81,80%** | **79,80%** | **2 546** | **2 042** |
| 2 013 | 2 994 | 2 475 | 82,20% | 80,20% | 2 461 | 1 985 |
| 2 014 | 2 445 | 2 049 | 82,60% | 80,60% | 2 019 | 1 652 |
| 2 015 | 2 015 | 1 710 | 83,00% | 81,00% | 1 673 | 1 385 |
| 2 016 | 1 677 | 1 438 | 83,40% | 81,40% | 1 398 | 1 171 |
| 2 017 | 1 408 | 1 219 | 83,80% | 81,80% | 1 180 | 997 |
| 2 018 | 1 192 | 1 041 | 84,20% | 82,20% | 1 004 | 856 |
| 2 019 | 1 018 | 896 | 84,60% | 82,60% | 862 | 740 |
| 2 020 | 877 | 776 | 85,00% | 83,00% | 745 | 644 |
| 2 021 | 760 | 677 | 84,50% | 82,50% | 642 | 558 |
| 2 022 | 664 | 594 | 84,00% | 82,00% | 557 | 487 |
| 2 023 | 583 | 524 | 83,50% | 81,50% | 486 | 427 |
| 2 024 | 514 | 465 | 83,00% | 81,00% | 427 | 376 |
| 2 025 | 456 | 414 | 82,50% | 80,50% | 376 | 333 |
| 2 026 | 406 | 370 | 82,00% | 80,00% | 333 | 296 |
| 2 027 | 362 | 332 | 81,50% | 79,50% | 295 | 264 |
| 2 028 | 325 | 299 | 81,00% | 79,00% | 263 | 236 |
| 2 029 | 292 | 270 | 80,50% | 78,50% | 235 | 212 |
| 2 030 | 262 | 244 | 80,00% | 78,00% | 210 | 190 |
| 2 031 | 237 | 221 | 79,50% | 77,50% | 188 | 171 |
| 2 032 | 214 | 201 | 79,00% | 77,00% | 169 | 155 |
| 2 033 | 193 | 183 | 78,50% | 76,50% | 152 | 140 |
| 2 034 | 175 | 166 | 78,00% | 76,00% | 136 | 126 |
| 2 035 | 158 | 152 | 77,50% | 75,50% | 123 | 114 |

*Tabella 5.2: Produzione teorica e captabile della discarica attualmente autorizzata*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

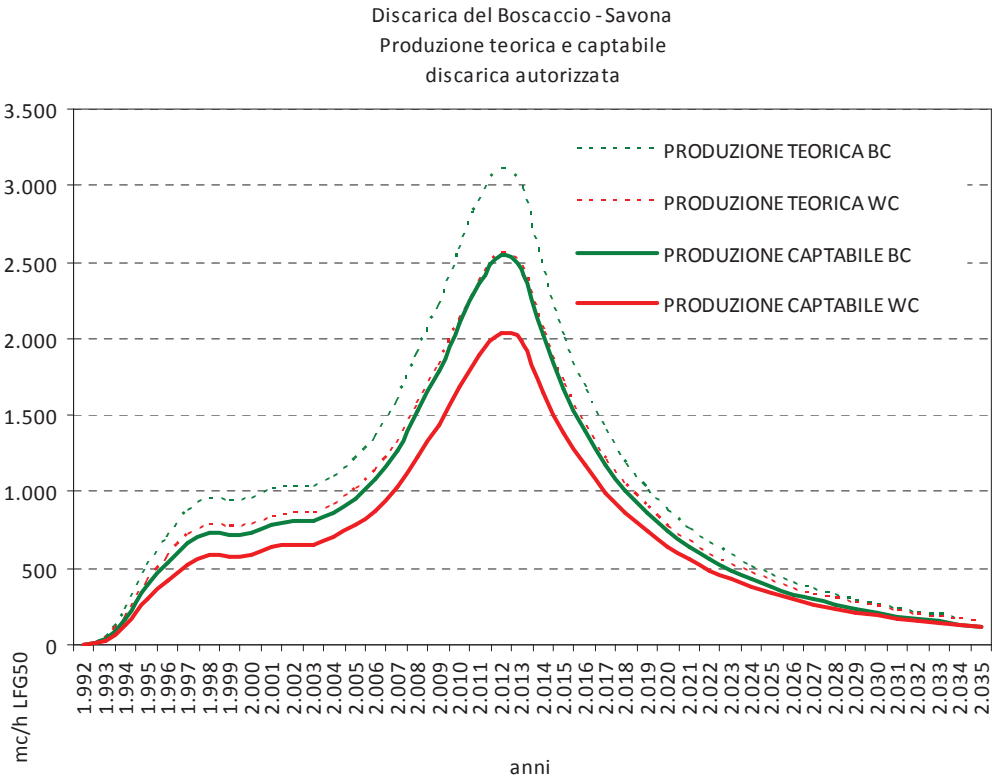



*Figura 5.1: Produzione teorica e captabile della discarica attualmente autorizzata*

In sintesi, i dati caratterizzanti la quantità di biogas captabile risultanti dal modello BIO-7 esposto sono i seguenti:

- Picco (best case anno 2012) 2 546 $Nm^3/h$

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

## 5.2 Ampliamento

Sempre sulla base delle prospezioni precedentemente riportate si illustra di seguito la produzione attesa per i soli rifiuti smaltiti nei volumi di ampliamento. La maggiore variabilità probabilistica è legata alla difficoltà di previsione dei dati merceologici effettivi.

| ANNO | PRODUZIONE TEORICA BC [Nm³/h] | PRODUZIONE TEORICA WC [Nm³/h] | KC | ANNO | PRODUZIONE CAPTABILE BC [Nm³/h] | PRODUZIONE CAPTABILE WC [Nm³/h] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 013 | 346 | 273 | 82,20% | 80,20% | 284 | 219 |
| 2 014 | 1 028 | 811 | 82,60% | 80,60% | 849 | 654 |
| 2 015 | 1 573 | 1 249 | 83,00% | 81,00% | 1 305 | 1 012 |
| 2 016 | 2 013 | 1 608 | 83,40% | 81,40% | 1 679 | 1 309 |
| 2 017 | 2 371 | 1 904 | 83,80% | 81,80% | 1 987 | 1 557 |
| 2 018 | 2 665 | 2 150 | 84,20% | 82,20% | 2 244 | 1 767 |
| **2 019** | **2 847** | **2 307** | **84,60%** | **82,60%** | **2 409** | **1 906** |
| 2 020 | 2 694 | 2 200 | 85,00% | 83,00% | 2 290 | 1 826 |
| 2 021 | 2 199 | 1 820 | 84,50% | 82,50% | 1 858 | 1 502 |
| 2 022 | 1 812 | 1 518 | 84,00% | 82,00% | 1 522 | 1 245 |
| 2 023 | 1 507 | 1 276 | 83,50% | 81,50% | 1 258 | 1 040 |
| 2 024 | 1 265 | 1 081 | 83,00% | 81,00% | 1 050 | 875 |
| 2 025 | 1 071 | 922 | 82,50% | 80,50% | 883 | 742 |
| 2 026 | 914 | 793 | 82,00% | 80,00% | 749 | 634 |
| 2 027 | 786 | 687 | 81,50% | 79,50% | 641 | 546 |
| 2 028 | 681 | 598 | 81,00% | 79,00% | 552 | 473 |
| 2 029 | 594 | 525 | 80,50% | 78,50% | 478 | 412 |
| 2 030 | 521 | 463 | 80,00% | 78,00% | 417 | 361 |
| 2 031 | 460 | 410 | 79,50% | 77,50% | 366 | 318 |
| 2 032 | 407 | 365 | 79,00% | 77,00% | 322 | 281 |
| 2 033 | 362 | 326 | 78,50% | 76,50% | 284 | 249 |
| 2 034 | 323 | 292 | 78,00% | 76,00% | 252 | 222 |
| 2 035 | 289 | 263 | 77,50% | 75,50% | 224 | 198 |

*Tabella 5.3: Produzione teorica e captabile del solo ampliamento*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

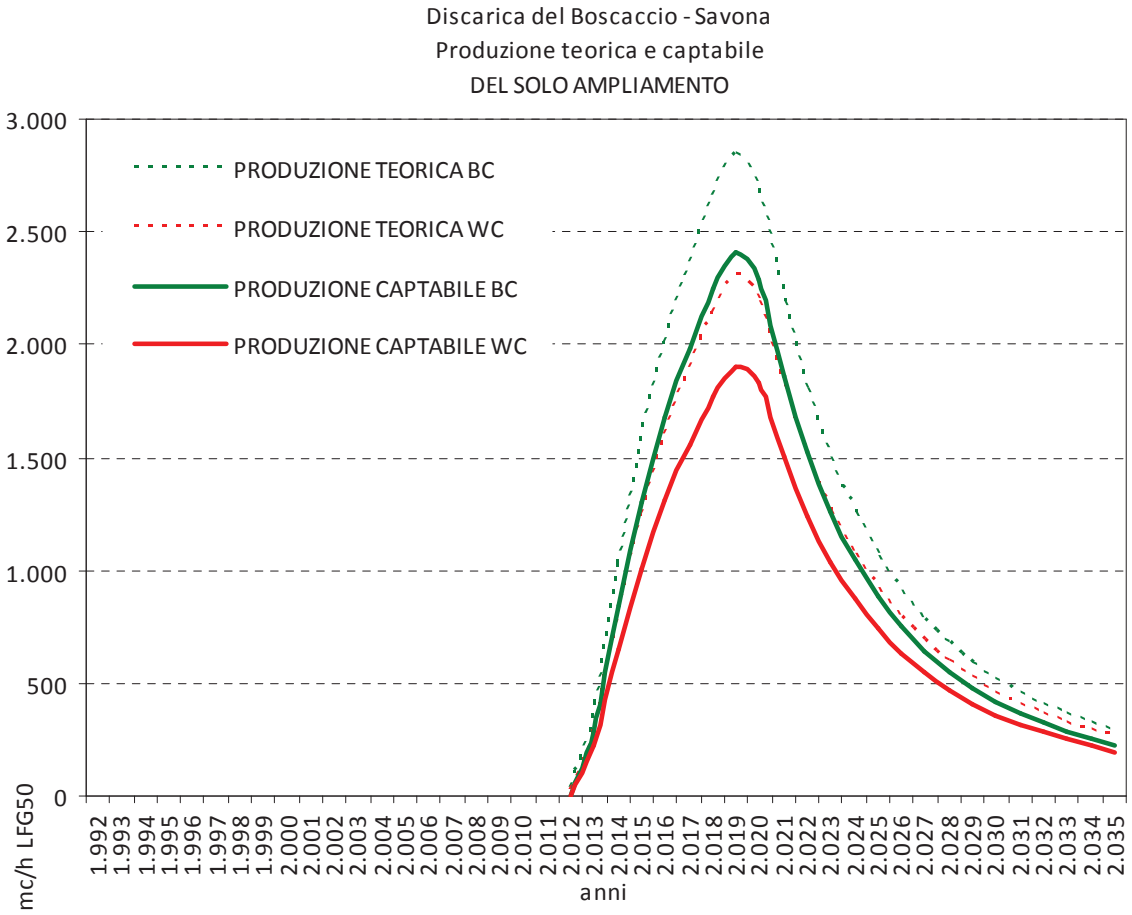



*Figura 5.2: Produzione teorica e captabile del solo ampliamento*

In sintesi, i dati caratterizzanti la quantità di biogas captabile risultanti dal modello cinetico esposto sono i seguenti:

- Picco (best case anno 2019) 2 409 $Nm^3/h$

## 5.3 Discarica ampliata

Per valutare l'idoneità dei sistemi di trattamento esistenti (combustione e generazione) sono state sommate le curve di produzione/ estrazione del biogas relative al progetto autorizzato ed all'ampliamento.

Gli elementi caratterizzanti il biogas estraibile sono i seguenti riportati sia in forma tabellare che in quella grafica.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

| ANNO | PRODUZIONE TEORICA | | KC | | PRODUZIONE CAPTABILE | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | BC [Nm³/h] | WC [Nm³/h] | | | BC [Nm³/h] | WC [Nm³/h] |
| 1 992 | 2 | 2 | 73,80% | 71,80% | 2 | 1 |
| 1 993 | 45 | 36 | 74,20% | 72,20% | 33 | 26 |
| 1 994 | 234 | 187 | 74,60% | 72,60% | 175 | 136 |
| 1 995 | 523 | 420 | 75,00% | 73,00% | 392 | 306 |
| 1 996 | 710 | 573 | 75,40% | 73,40% | 535 | 421 |
| 1 997 | 879 | 714 | 75,80% | 73,80% | 666 | 527 |
| 1 998 | 958 | 784 | 76,20% | 74,20% | 730 | 581 |
| 1 999 | 934 | 770 | 76,60% | 74,60% | 715 | 575 |
| 2 000 | 953 | 790 | 77,00% | 75,00% | 734 | 593 |
| 2 001 | 1 014 | 842 | 77,40% | 75,40% | 784 | 635 |
| 2 002 | 1 036 | 864 | 77,80% | 75,80% | 806 | 655 |
| 2 003 | 1 028 | 860 | 78,20% | 76,20% | 804 | 656 |
| 2 004 | 1 091 | 913 | 78,60% | 76,60% | 858 | 700 |
| 2 005 | 1 213 | 1 013 | 79,00% | 77,00% | 958 | 780 |
| 2 006 | 1 364 | 1 136 | 79,40% | 77,40% | 1 083 | 879 |
| 2 007 | 1 591 | 1 318 | 79,80% | 77,80% | 1 270 | 1 026 |
| 2 008 | 1 912 | 1 576 | 80,20% | 78,20% | 1 533 | 1 232 |
| 2 009 | 2 217 | 1 823 | 80,60% | 78,60% | 1 787 | 1 433 |
| 2 010 | 2 588 | 2 124 | 81,00% | 79,00% | 2 096 | 1 678 |
| 2 011 | 2 898 | 2 379 | 81,40% | 79,40% | 2 359 | 1 889 |
| 2 012 | 3 149 | 2 588 | 81,80% | 79,80% | 2 576 | 2 065 |
| 2 013 | 3 340 | 2 748 | 82,20% | 80,20% | 2 745 | 2 204 |
| 2 014 | 3 473 | 2 861 | 82,60% | 80,60% | 2 868 | 2 306 |
| 2 015 | 3 588 | 2 959 | 83,00% | 81,00% | 2 978 | 2 397 |
| 2 016 | 3 689 | 3 046 | 83,40% | 81,40% | 3 077 | 2 479 |
| 2 017 | 3 778 | 3 122 | 83,80% | 81,80% | 3 166 | 2 554 |
| 2 018 | 3 857 | 3 191 | 84,20% | 82,20% | 3 248 | 2 623 |
| **2 019** | **3 866** | **3 203** | **84,60%** | **82,60%** | **3 270** | **2 646** |
| 2 020 | 3 571 | 2 976 | 85,00% | 83,00% | 3 035 | 2 470 |
| 2 021 | 2 960 | 2 497 | 84,50% | 82,50% | 2 501 | 2 060 |
| 2 022 | 2 476 | 2 112 | 84,00% | 82,00% | 2 080 | 1 731 |
| 2 023 | 2 090 | 1 800 | 83,50% | 81,50% | 1 745 | 1 467 |
| 2 024 | 1 779 | 1 545 | 83,00% | 81,00% | 1 476 | 1 252 |
| 2 025 | 1 527 | 1 336 | 82,50% | 80,50% | 1 259 | 1 076 |
| 2 026 | 1 320 | 1 163 | 82,00% | 80,00% | 1 082 | 930 |
| 2 027 | 1 149 | 1 019 | 81,50% | 79,50% | 936 | 810 |
| 2 028 | 1 006 | 897 | 81,00% | 79,00% | 815 | 709 |
| 2 029 | 886 | 794 | 80,50% | 78,50% | 713 | 624 |
| 2 030 | 784 | 707 | 80,00% | 78,00% | 627 | 551 |
| 2 031 | 696 | 631 | 79,50% | 77,50% | 554 | 489 |
| 2 032 | 621 | 566 | 79,00% | 77,00% | 490 | 435 |
| 2 033 | 555 | 508 | 78,50% | 76,50% | 436 | 389 |
| 2 034 | 498 | 458 | 78,00% | 76,00% | 388 | 348 |
| 2 035 | 447 | 414 | 77,50% | 75,50% | 347 | 313 |

*Tabella 5.4: Produzione teorica e captabile della discarica ampliata*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

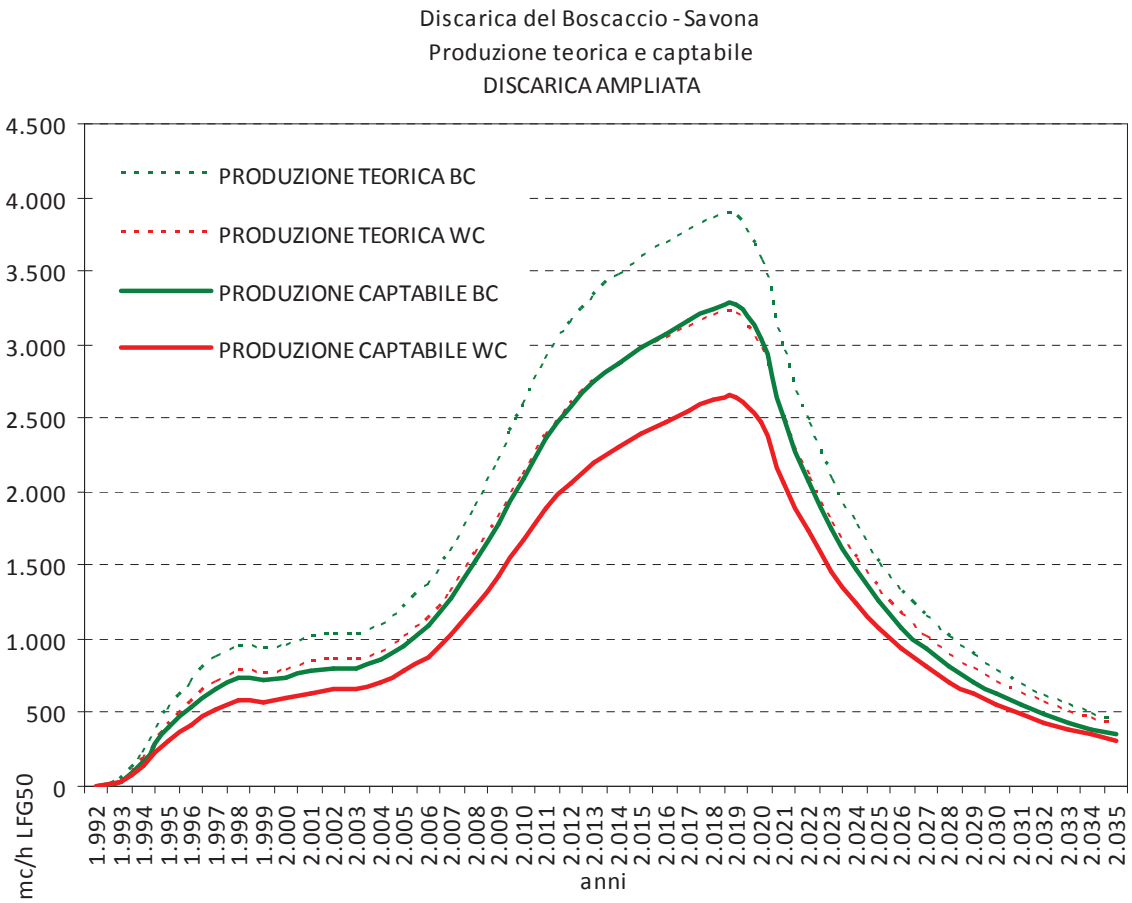



*Figura 5.3: Produzione teorica e captabile della discarica ampliata*

## 5.4 Conclusioni

Le prospezioni svolte hanno consentito di verificare sia l'attuale centrale di estrazione (CE-1) che le esigenze per il previsto ampliamento.

Per quanto riguarda la situazione attuale il picco evidenziato per l'anno 2012 (2 546 $Nm^3/h$), qualora fosse corrispondente allo scenario "best case", **evidenzierebbe una condizione ai limiti della criticità dell'attuale Centrale dimensionata per circa 2'500 $Nm^3/h$**.

La CE-1 non sarebbe quindi in grado di gestire le eccedenze di biogas prodotte ai rifiuti smaltiti nell'ampliamento.

Se si osservano infatti le produzioni captabili evidenziate nello scenario congiunto delle due discariche appare evidente che **già nel 2012 il limite prestazionali di dimensionamento della CE-1 viene superato**.

Per tali motivazioni si ritiene necessario attivare il più presto possibile una nuova Centrale di Estrazione (la CE-2) che avrà la duplice funzione di:

- fornire un margine di sicurezza alle prestazioni dell'attuale Centrale (CE-1);
- gestire i biogas relativi ai rifiuti smaltiti nell'ampliamento;

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

# 6. SISTEMA DI CAPTAZIONE DEL BIOGAS

Nel presente capitolo sono trattati i criteri di dimensionamento delle opere previste nel progetto.

## 6.1 Premesse

Dal capitolo precedente si evince con chiarezza l'ampia variabilità nel tempo delle previsioni di produzione del biogas.
Il criterio di dimensionamento delle opere sarà basato sulla ipotesi di maggiore produzione attesa senza dimenticare le problematiche di verifica del campo di regolazione (minima prestazione) delle dotazioni previste.

## 6.2 Dimensionamento delle opere di captazione

Il sistema di captazione del biogas prevede una rete di pozzi verticali, con un determinato interasse, ubicati all'interno della discarica.

### 6.2.1 Dimensionamento degli elementi di captazione

Il fattore determinante nel dimensionamento della rete di captazione organizzata su elementi verticali è il "raggio d'influenza", inteso come la distanza entro la quale il pozzo, mediante la depressione esercitata, mantiene la capacità di sviluppare efficacemente la propria azione.
Tuttavia la determinazione del raggio di influenza di un pozzo verticale risulta un esercizio empirico che, come già detto, potrà essere verificato solo in fase sperimentale.
Nelle Linee guida del Comitato Tecnico Discariche, al punto H18, viene indicato un raggio di influenza "*non superiore a 25 m*"; tale indicazione è riferita a discariche "standard" per R.S.U. tal quali, con capacità di campo e quindi trasmissività ai gas medi.
Un interessante studio eseguito da Doedens nel 1983, evidenzia come l'effettivo raggio d'influenza di un pozzo sia dipendente dalla qualità della copertura, nonché, ovviamente, dalla depressione imposta.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

Vengono ipotizzate tre linee sperimentali:

- Discariche non coperte (senza capping) con depressioni applicate molto basse (< 10 mbar);
- Discariche non coperte (senza capping) con depressioni applicate più elevate (> 10 mbar);
- Discariche coperte.

Mantenendo come obiettivo l'ottenimento di un coefficiente di efficienza (rapporto tra il gas prodotto ed il gas captato) variabile tra 70 e 75%, dallo studio di Doedens emergono i seguenti raggi relativi:

- Discariche non coperte con depressioni < 10 mbar: ca 20 m
- Discariche non coperte con depressioni > 10 mbar: ca 28 m
- Discariche coperte: ca 32 m

Sulla scorta delle numerose esperienze condotte dal progettista su impianti di captazione di biogas e alla luce delle indicazioni testé esposte, **si adotterà un raggio d'influenza "tipico" di 25 m.**

Detta assunzione tiene altresì conto delle caratteristiche peculiari della discarica in oggetto.

Gli elementi di captazione sono previsti tutti delle medesime dimensioni e caratteristiche.

Ulteriore fattore determinante nel dimensionamento dei pozzi di captazione è la considerazione delle loro vita utile.

A differenza delle componenti "esterne" del sistema di captazione quali stazioni di regolazione, centrale di estrazione e trattamento, che possono essere oggetto di manutenzione le dotazioni di captazione tendono a ridurre nel tempo la loro efficacia funzionale.

Le motivazioni di tale "deperimento" sono correlate ai fenomeni di percolazione delle acque e sedimentazione delle stesse, ai fenomeni di assestamento differenziato ed alla difficoltà di svolgere attività manutentiva degli elementi "interrati".

Per tali motivi occorre definire una vita utile degli elementi di captazione e prevedere, a rotazione, il loro completo rifacimento.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

La vita utile dell'impianto di recupero energetico potrebbe essere considerata per una decina di anni mentre la durata successiva dell'impianto complessivo di captazione con finalità di bonifica potrebbe essere valutata per altri 10 anni per un totale di 20 anni. In tale arco di tempo è presumibile il completo rifacimento dei pozzi mediante trivellazione di nuove dotazioni di captazione.
L'intervallo di tempo per la ricostruzione delle dotazioni di captazione e la logica di ripristino è difficilmente valutabile a priori in quanto occorre verificare il comportamento, e deperimento, specifico delle singole dotazioni.

Il numero dei nuovi pozzi previsti tiene altresì conto del particolare assetto planoaltimetrico del corpo di discarica: sono pertanto previsti 33 nuovi pozzi che avranno profondità variabile in relazione allo spessore di rifiuti nel punto di installazione.
Tale dotazione si "affiancherà" a quella esistente che comprende numericamente oltre 60 elementi localizzati nelle diverse porzioni della discarica autorizzata.
Per la disposizione planimetrica di pozzi si veda la tavola "Impianto Biogas" (rif. SGI: rif. SGI: 07663-065D12E01).

## 6.3 Caratteristiche dei camini

I nuovi camini per l'estrazione del biogas saranno realizzati su basi messe in opera mediante la realizzazione, al di sopra di un basamento in cls $R_{ck}$ ≥250 kg/cm$^2$ armato con rete elettrosaldata ϕ 8 mm, maglia 150x150 mm, di accumuli in materiale inerte grossolano (granulometria 15-100 mm) protetto da rete metallica (diametro 2 m) all'interno delle quali è presente una tubazione macrofessurata in HDPE PN 10 DE 200 mm. La tubazione sarà sostenuta da una struttura costituita da tre tondini in acciaio da un lato ancorati ad un anello di sostegno della tubazione e dall'altro annegati nel basamento in calcestruzzo del pozzo.
In fase di coltivazione si procederà al progressivo prolungamento dei camini sino al raggiungimento delle quote finali previste per l'abbancamento del lotto. La sopraelevazione sarà effettuata con tratti di lunghezza pari a 2 m ciascuno, prolungando la tubazione in HDPE PN 10 DE 200 mm macrofessurata mediante

raccordi a manicotto non saldato e mettendo in opera la protezione ϕ2,00 m di rete metallica e profilati contenente il materiale inerte drenante.
Si dovrà fare in modo di ottenere una sfasatura di 1 m tra la testa dei tubi in HDPE e la sommità della rete e del drenaggio di protezione.
Nel caso in cui la produzione di biogas in corrispondenza del pozzo fosse idonea per la combustione, sarà possibile applicare alla testa della tubazione una derivazione provvisoria per il collegamento all'impianto di trattamento. in particolare, la testa pozzo sarà raccordata alla linea secondaria mediante un manicotto flessibile con la funzione di compensare gli assestamenti differenziati che si potrebbero manifestare nell'intorno del camino.
Una volta raggiunta la quota di abbancamento definitiva, all'estremità della tubazione verrà applicata la testa del pozzo definitiva.
In particolare, la testa di pozzo sarà dotata di una flangia cieca sommitale per consentire l'accessibilità nel pozzo per eventuali operazioni di verifica del battente di percolato o per l'inserimento di un'eventuale pompa di spurgo. Sulla flangia sarà ricavato un punto di controllo e monitoraggio.

## 6.4 Innalzamento dei pozzi della discarica autorizzata

L'ampliamento si sovrappone parzialmente alla discarica autorizzata per cui si renderà necessaria la sopraelevazione dei pozzi esistenti o ancora da realizzare, secondo le modalità fino ad oggi adottate e qui di seguito sintetizzate.
Al fine di separare le competenze di captazione tra i due volumi di discarica (autorizzata dall'ampliamento) si applicheranno soluzioni tecniche e fluidiche per ottenere tale finalità.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

## 7. RETE DI TRASPORTO E REGOLAZIONE

Come precedentemente accennato, la discarica sarà dotata di nuovi pozzi di estrazione del biogas, che verranno elevati durante la coltivazione dell'impianto.

L'estrazione del gas della discarica attualmente autorizzata viene effettuata attraverso:

- rete secondaria che collega le teste pozzo con le sotto-stazioni di regolazione;
- rete primaria che collega le sotto-stazioni di regolazione all'impianto di trattamento.

Entrambe le reti sono costituite da tubazioni in HDPE di idoneo diametro conformi alla vigente normativa tecnica.
Tale configurazione verrà mantenuta anche per la rete di trasporto dell'ampliamento ma distinguendo i punti di recapito, ne consegue che i due flussi di captazione (discarica autorizzata e discarica ampliata) saranno facilmente distinguibili e distinti.

### 7.1 Rete di trasporto biogas

La rete di trasporto consentirà il convogliamento del biogas estratto dai singoli elementi di captazione verso la nuova Centrale di Estrazione (CE-2).
Ogni singolo elemento di captazione sarà collegato in parallelo ad una sotto-Stazione (SS), al fine di ottimizzare i flussi e di trasferire presso i presidi SS tutte le operazioni di monitoraggio e di regolazione della rete.

Nella configurazione dell'attuale impianto di captazione la rete primaria è costituita da un anello perimetrale alle operazioni di smaltimento dei rifiuti sul quale sono collegate le SS.
Sono esistenti due rami (A e B) che si congiungono nel punto più lontano dell'anello.
I pozzi di captazione saranno quindi suddivisi in gruppi di numero pressoché simile e raccordati alle relative stazioni.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

Ad ogni variazione consistente delle superfici di discarica l'anello primario viene ricostituito in una nuova sede e le stazioni SS spostate. Nello schema seguente si riporta la attuale configurazione della rete.

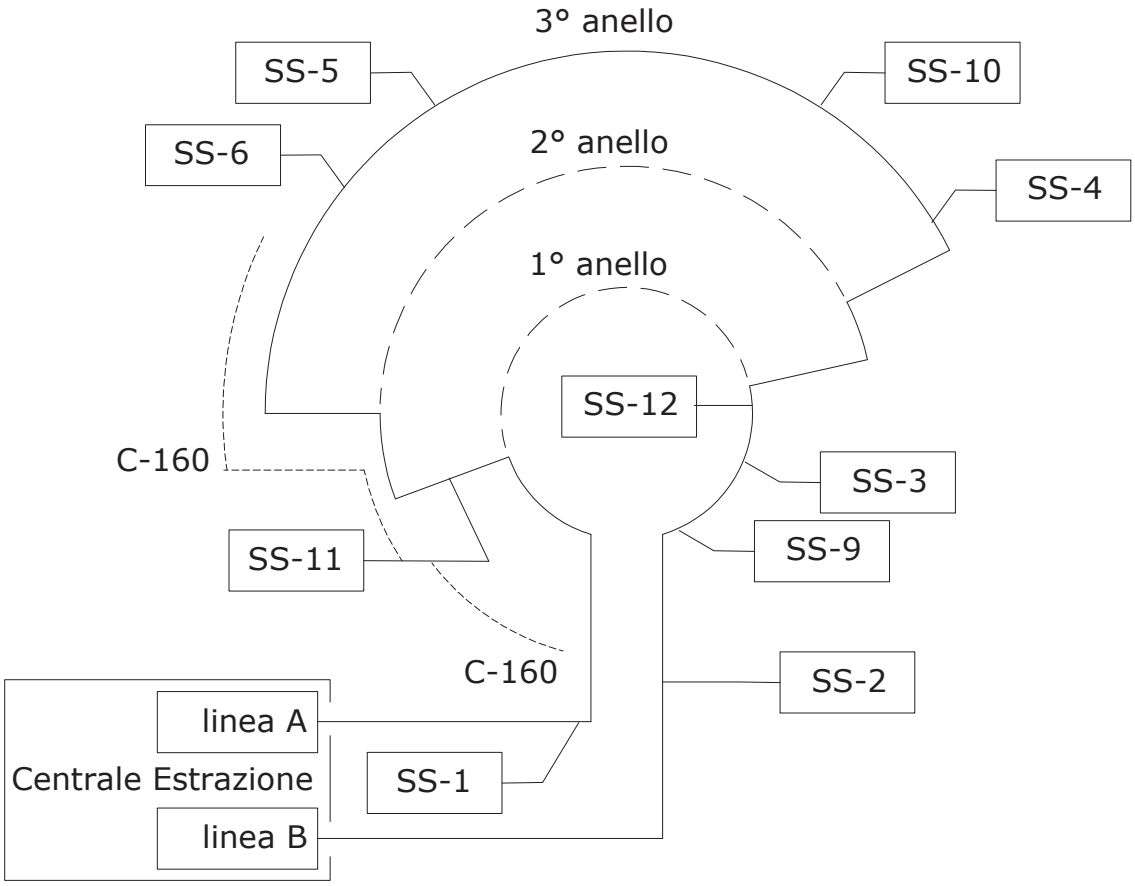



*Figura 7.1: Configurazione attuale della rete di trasporto biogas.*

Tale logica di trasporto biogas verrà mantenuta inalterata anche nel corso dell'ampliamento delle discarica.
La rete di trasporto adducente alla CE-1 verrà solo modificata e limitata alle superfici di copertura definitiva raggiunte dopo la chiusura del fronte esposto nord di detta discarica. In pratica l'anello adducente alla CE-1 verrà ridotto nel tempo contestualmente alla integrazione di un nuovo anello a servizio della CE-2.

La rete primaria dell'ampliamento sarà quindi costituita da un nuovo anello indipendente da quello esistente a servizio della discarica autorizzata. Il nuovo anello

sarà composto da due rami raccordati alle estremità (linea C e linea D) sulle quali saranno disposte le nuove SS.
Nel corso delle operazioni di abbancamento dei rifiuti il nuovo anello sarà riposizionato in funzione delle esigenze di crescita dell'impianto.

Nel calcolo delle linee secondarie è stata considerata la massima portata prevista per ogni singolo pozzo.

Le sezioni interne delle linee secondarie e primarie verranno scelte con riferimento a diametri standard disponibili sul mercato.

Nello schema grafico seguente si illustra indicativamente la logica di funzionamento dei due sistemi di captazione, trattamento e recupero energetico del biogas. Come evidente le due reti saranno completamente indipendenti e separate, l'unico elemento comune sarà rappresentato dalla nuova torcia per la combustione delle eccedenze di biogas non recuperate dagli impianti di trasformazione energetica.

Come premesso potrà essere necessario anticipare l'attivazione della nuova CE-2 e della torcia di sfioro rispetto alla realizzazione della nuova CRE-2 al fine di evitare aggravi prestazionali alla attuale CE-1, ritenuta ai limiti critici di dimensionamento.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

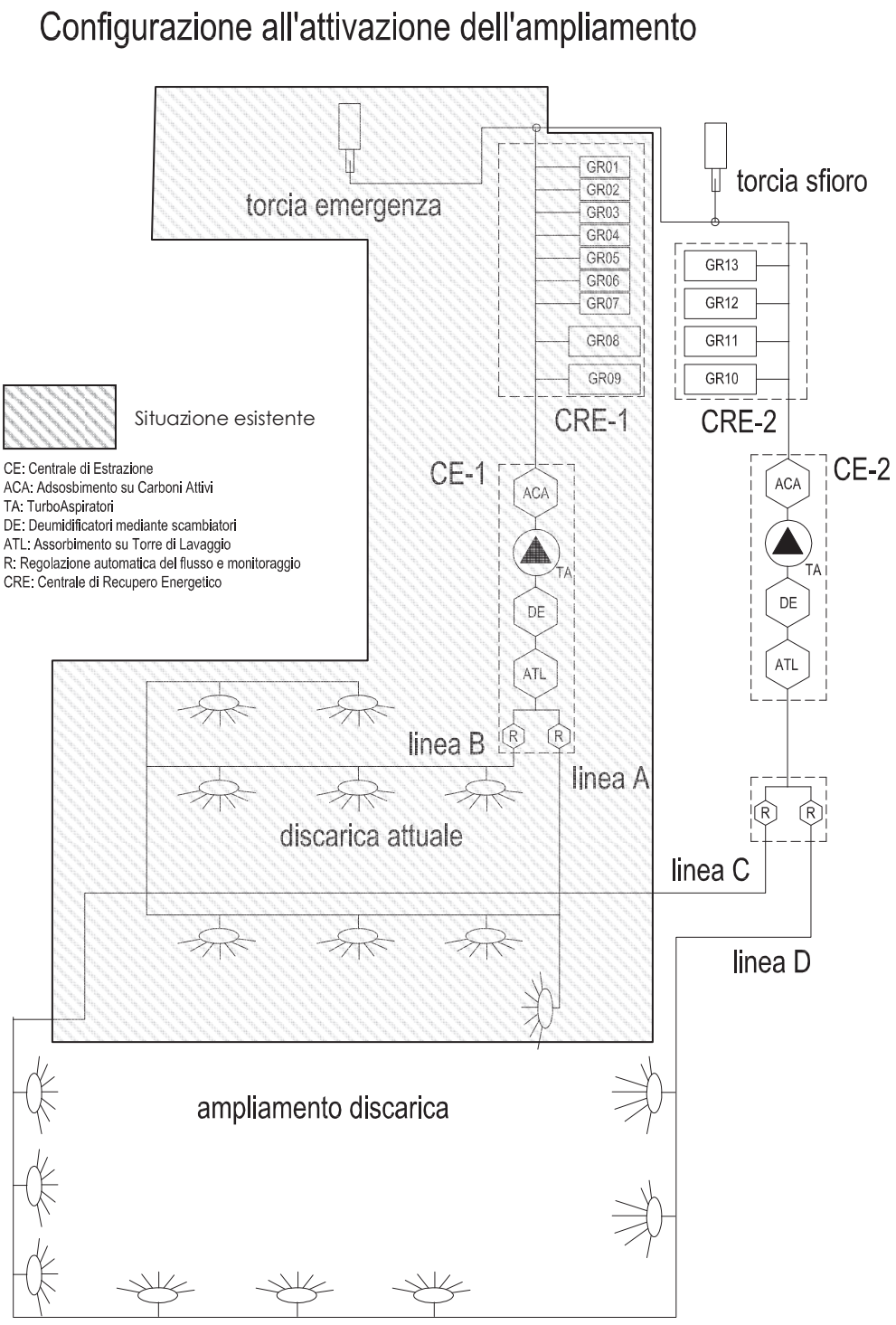



*Figura 7.2: Configurazione definitiva della rete di trasporto biogas*

Il dimensionamento delle tubazioni verrà eseguito tenendo in conto le perdite di carico correlate alla velocità di flusso dei fluidi.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

## 7.2 Rete di smaltimento condense

Tutte le condense formatesi all'interno delle tubazioni secondarie e primarie saranno scaricate nei separatori terminali posti presso le Sotto Stazioni SS e le centrali di Estrazione CE-1 e CE-2.

I collettori primari avranno pendenze tali da consentire lo smaltimento dei liquidi verso punti prestabiliti. Ogni separatore di condense sarà dotato di specifica guardia idraulica, per il dimensionamento della quale sono state considerate le pressioni previste nel collettore.

Per il limite superiore sono stati considerati i valori di sicurezza (+ 500 mm H2O), in quanto durante le fermate dell'impianto è prevedibile che il collettore entri in leggera pressione.

Per il limite inferiore, infine, è stata considerata la depressione di progetto applicata alla rete, al netto delle perdite di carico (- 1.000 mm $H_2O$).

Le guardie idrauliche dovranno altresì garantire il battente minimo anche in presenza di fenomeni sinergici (pressione positiva seguita immediatamente da pressione negativa).

Presso gli scaricatori verranno installate pompe pneumatiche di rilancio atte a convogliare le condense separate nel punto di raccolta del percolato di discarica.

Ogni pompa sarà dotata di sistema automatico d'avviamento ed interruzione, nonché di dispositivo di non ritorno.

## 7.3 Centrale di Estrazione e trattamento

La nuova centrale di Estrazione CE-2 avrà la stessa configurazione impiantistica della attuale CE-1 ma sarà dislocata su spazi più ampi, tali da consentire futuri ampliamenti ed integrazioni.

I due rami C e D dell'anello primario di captazione saranno riunificati in una zona vicina alla attuale Centrale di Estrazione (CE1) al fine da utilizzare l'impianto di analisi del biogas esistente.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

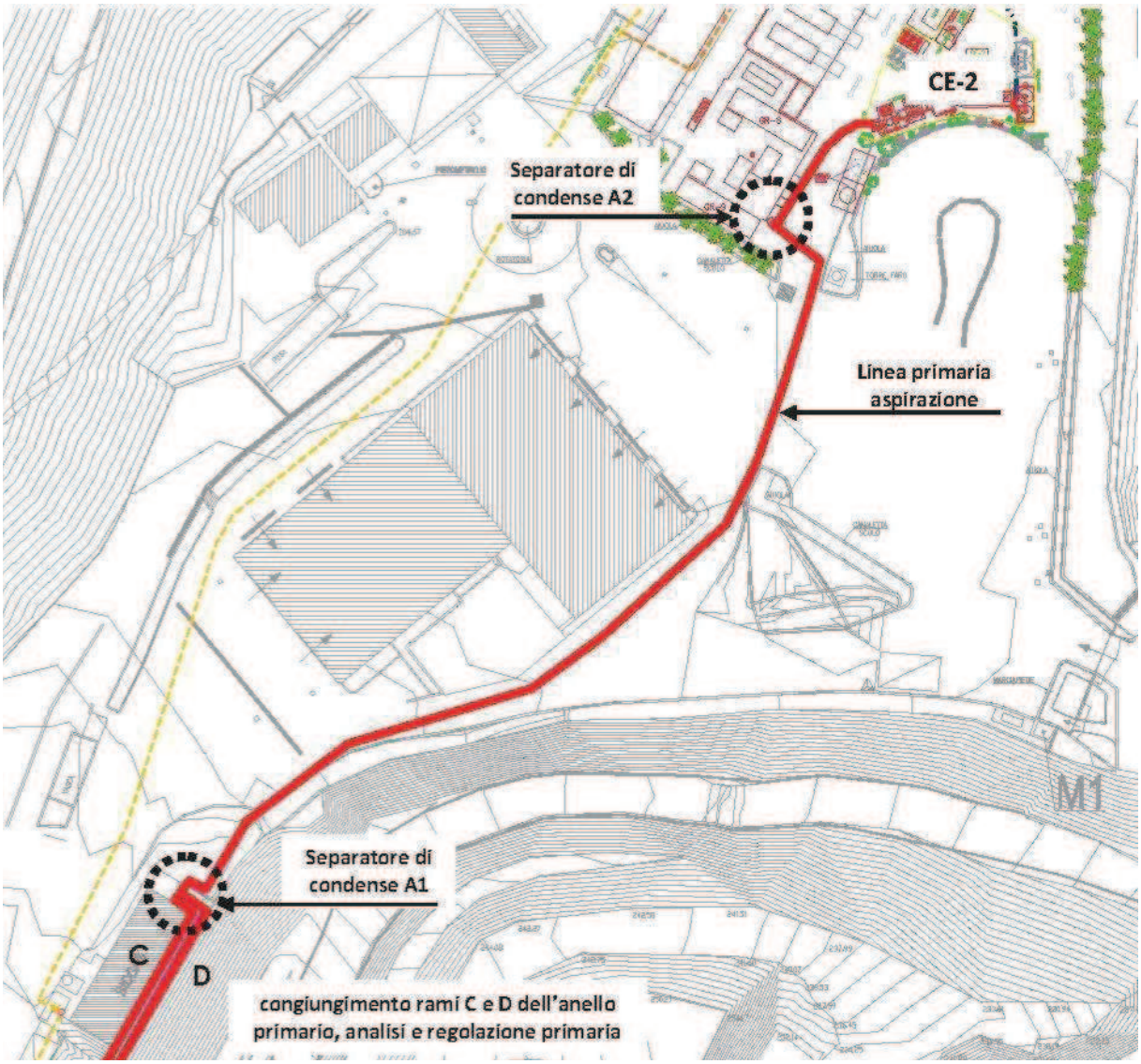



*Figura 7.3: Nuova centrale di estrazione*

In tale zona saranno localizzati i due separatori di condense terminali (A1) dotati di ingresso ciclonico e filtro a coalescenza. Il liquidi già formati che raggiungeranno i separatori saranno allontanati in un pozzetto dotato di guardia idraulica e pompa di sollevamento. Un secondo separatore (A2) sarà posizionato nel punto più basso della rete di trasporto primario in zona limitrofa alla CE-2.

Le due linee saranno regolate automaticamente da due gruppi di regolazione automatici in grado di mantenere costante la depressione applicata o la concentrazione di metano. La regolazione sarà svolta da due valvole motorizzate in logica split range.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*




*Figura 7.4: Nuova centrale di estrazione*

Il flusso del gas captato verrà fatto convogliare ad un sistema di assorbimento su torre di lavaggio (C) in grado di rimuovere le componenti aggressive solubili ed il particolato. Il lay-out prevede il posizionamento di due torri gemelle anche se in prima valutazione si prevede l'installazione di una sola dotazione in grado di trattare circa 2 500 $Nm^3/h$ di biogas. La seconda torre di lavaggio potrà essere posta in parallelo alla prima nel caso fosse necessario incrementare il flusso di trattamento (maggiori flussi di biogas o biogas diluito con aria) oppure in serie nel caso si voglia attribuire ad ogni torre una funzione specifica di trattamento.

A valle del sistema di assorbimento ad umido verrà posizionato un impianto di deumidificazione (D) composta da uno scambiatore gas-acqua alimentato da un circuito di refrigerazione (chiller) con acqua glicolata (E).
La portata di progetto del primo stadio sarà di 2 500 $Nm^3/h$.
Anche in questo caso il lay-out della CE-2 prevede il raddoppio delle dotazioni nel caso di flussi superiori a quelli previsti.
La localizzazione in aspirazione dello scambiatore consentirà di ottimizzare le temperature di lavoro.

La stazione di aspirazione e combustione sarà composta da due turbo-aspiratori gemelli (F) con portata di 2 500 $Nm^3/h$ e prevalenza idonea al superamento di tutte le perdite di carico della rete di trasporto e dei sistemi di trattamento, nonché con la spinta sufficiente ad alimentare i gruppi elettrogeni della CRE-2.

È in ogni caso prevista la postazione per una terza macchina di aspirazione (G) eventualmente necessaria per aumentare le portate in un futuro.

Sul lato premente dell'impianto verrà localizzato il sistema di adsorbimento con carboni attivi (H) costituito da più filtri posti in parallelo tra di loro. Anche in questo caso il lay-out della centrale prevede il raddoppio delle dotazioni.

I gas compressi e pre-trattati saranno raccordati alla linea di alimentazione (I) della nuova CRE-2.

La Centrale sarà dotata di un edificio uffici (U) nel quale saranno ricavati i locali di comando e controllo, un locale di alloggiamento del compressore dell'aria.

Come evidenziato lo schema impiantistico sarà basato sul dimensionamento iniziale che prevede un flusso massimo di 2 500 $Nm^3/h$ di biogas, tale dato corrisponde a circa la media delle massima previsioni Best e Worst case per il solo ampliamento.
Nel caso le esigenze di captazione fossero maggiori sono già stati previsti ampi spazi per il raddoppio e l'integrazione di tutte le dotazioni.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

Si precisa che la massima produzione complessiva (discarica attuale + ampliamento) è prevista nel 2018 con una captazione variabile tra 2 623 e 3 248 $Nm^3/h$, tale captabilità è ampiamente gestibile dalla azione combinata delle due centrali di estrazione (CE-1 e CE-2) che disporranno a tale data di una capacità complessiva di trattamento di 5.000 $Nm^3/h$ (2.500 x 2).

Tale logica progettuale (uso combinato delle due Centrali e possibilità di ampliamento della CE-2) consentirà di verificare in corso d'opera le effettive esigenze di captazione anche sulla base della merceologia dei rifiuti del futuro e sulla evoluzione degli impianti di trattamento degli stessi.
Sarebbe infatti poco corretto sovra-dimensionare oggi le dotazioni elettromeccaniche su di una ipotesi eccessivamente ottimistica (best case) di produzione e captazione del biogas.

## 7.4 Centrale di Recupero Energetico

La nuova centrale di Estrazione CRE-2 sarà localizzata a nord della attuale Centrale di recupero CRE-1.
Il progetto prevede di utilizzare motori endotermici a ciclo otto con potenza unitaria di 1. 063 kW (circa 1 MW) del tipo simile alle ultime due unità di produzione (GR-8 e GR-9) installate recentemente presso la CRE-1.
Ogni gruppo elettrogeno ha un rendimento elettrico del 40% e pertanto una consumo di circa 2,7 MWh di energia "chimica" equivalente al biogas immesso. Considerando un potere calorifico del biogas (ipotesi di concentrazione media del metano al 50%) pari a 4,79 $kWh/Nm^3$ (Tabella 3.1 della presente relazione) è possibile valutare un consumo di biogas pari a circa 540 $Nm^3/h$.
Su tale base di calcolo, sovrapposta alla disponibilità di biogas, è stata sviluppato il dimensionamento della nuova CRE-2.
Nel grafico successivo si riporta la curva di captabilità di biogas del solo ampliamento alla quale sono sovrapposti i consumi della nuova CRE-2, come evidente i consumi sono stati previsti come leggermente superiori alla disponibilità in quanto ogni gruppo elettrogeno ha un campo di regolazione riducibile fino al 60% della sua potenza nominale.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

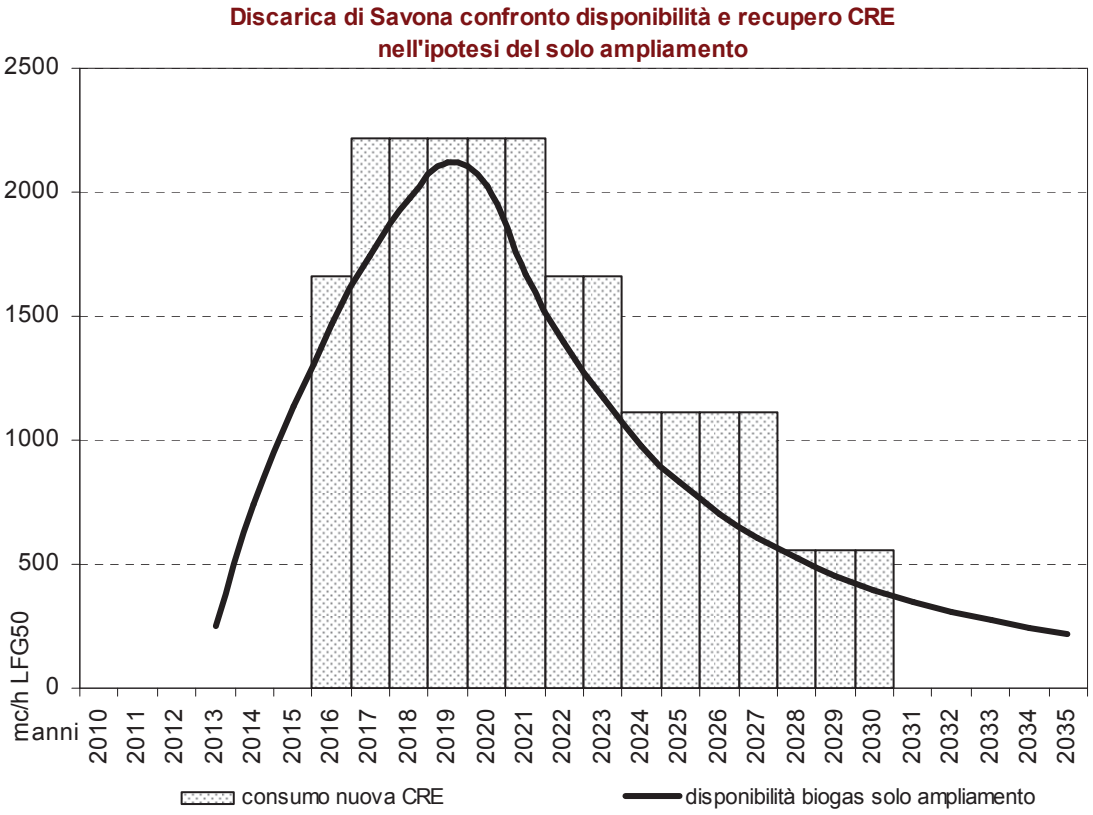



*Figura 7.5: Confronto tra disponibilità e recupero CRE nell'ipotesi del solo ampliamento*

Entrando nella specifica valutazione delle singole macchine si prevede l'utilizzo massimo di 4 unità di generazione con potenza unitaria leggermente superiore ad 1 MW per una potenza complessiva di centrale di circa 4 MW.

Con tale piena potenza installata il consumo complessivo della CRE-2 sarà di circa 2 160 $Nm^3/h$ di biogas (metano al 50%). Tale ipotesi sarebbe raggiungibile qualora la produzione di biogas fosse conforme alla media tra gli scenari best e worst case.

Si precisa che in questo scenario il consumo della CRE-2 è conforme al dimensionamento della CE-2 che corrisponde a 2 500 $Nm^3/h$.

Le singole unità verrebbero attivate in tempi differenti, quando la disponibilità di biogas abbia raggiunto i valori adeguati per sostenere l'alimentazione minima dei nuovi gruppi (circa 330 $Nm^3/h$ di biogas ).

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

Sarà comunque possibile anticipare l'installazione dei gruppi qualora si verificassero particolari esigenze impiantistiche o maggiori disponibilità di biogas oppure si volesse disporre di unità in stand-by in grado sostituire le macchine ferme per manutenzione.

E' comunque prevedibile che la differente merceologia dei rifiuti legata ad una elevata efficienza di intercettazione della componente organica trattata diversamente possa ridurre le produzioni specifiche e quindi la disponibilità complessiva; per tale motivo potrà essere possibile l'installazione di un minor numero di gruppi elettrogeni.

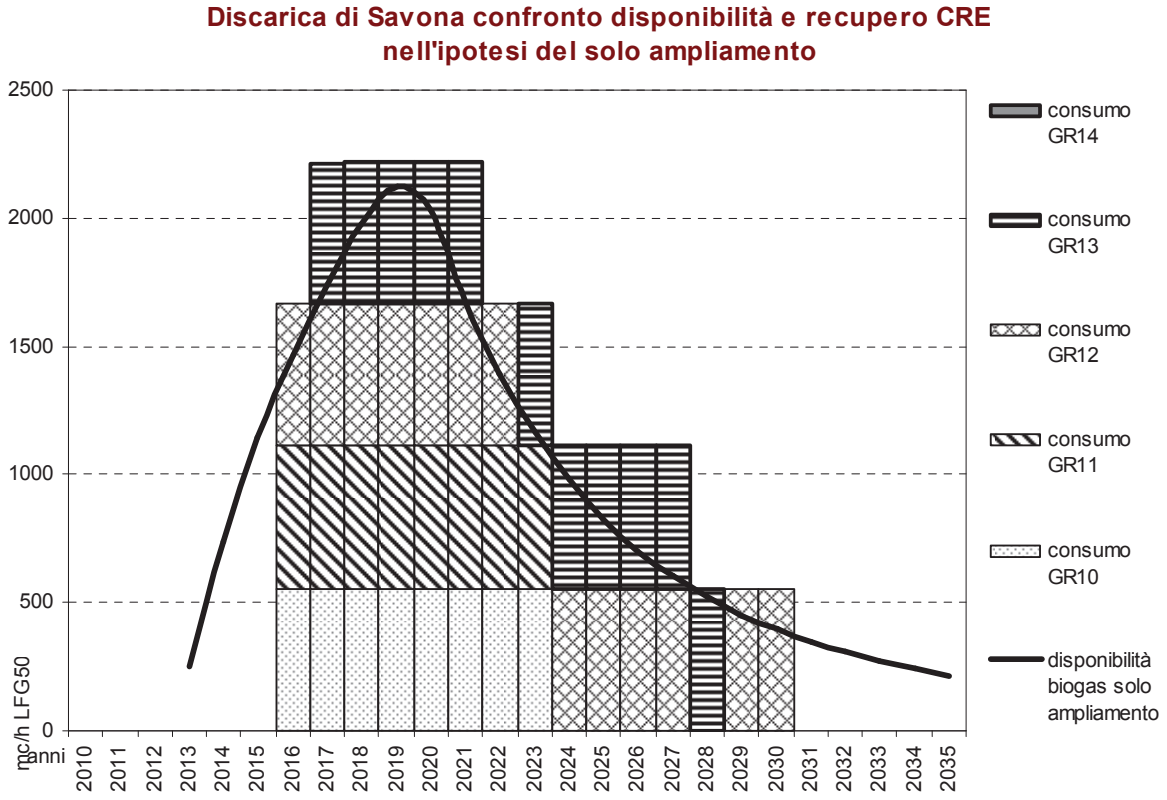



*Figura 7.6: Confronto tra disponibilità e recupero CRE nell'ipotesi del solo ampliamento*

Come per le valutazioni di dimensionamento della nuova Centrale di Estrazione CE-2 la logica progettuale della CRE-2 è stata quindi orientata alla massima flessibilità possibile valutando comunque i massimi ingombri e le maggiori esigenze impiantistiche. La attivazione di ogni singola unità verrà confermata solo dopo le verifiche di effettiva disponibilità della risorsa rinnovabile evitando quindi investimenti inutili ed onerosi.

Si riporta di seguito un lay-out della nuova CRE-2 che prevede la massima configurazione possibile di 4 unità, come evidente nel disegno le prime due unità (GR-10 e GR-11) consentirebbero la realizzazione di una Centrale più compatta mentre il completamento dell'impianto con i gruppi GR-12 e GR-13 implicherebbe l'occupazione della intera area.

Si precisa che la toponomastica delle dotazione di recupero segue quella della attuale Centrale anche se le dotazioni saranno completamente separate e distinte. Ne consegue che il gruppo elettrogeno GR10 segue la numerazione del gruppo GR09 anche se inserito in un impianto distinto (come evidenziato dallo schema a blocchi).

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

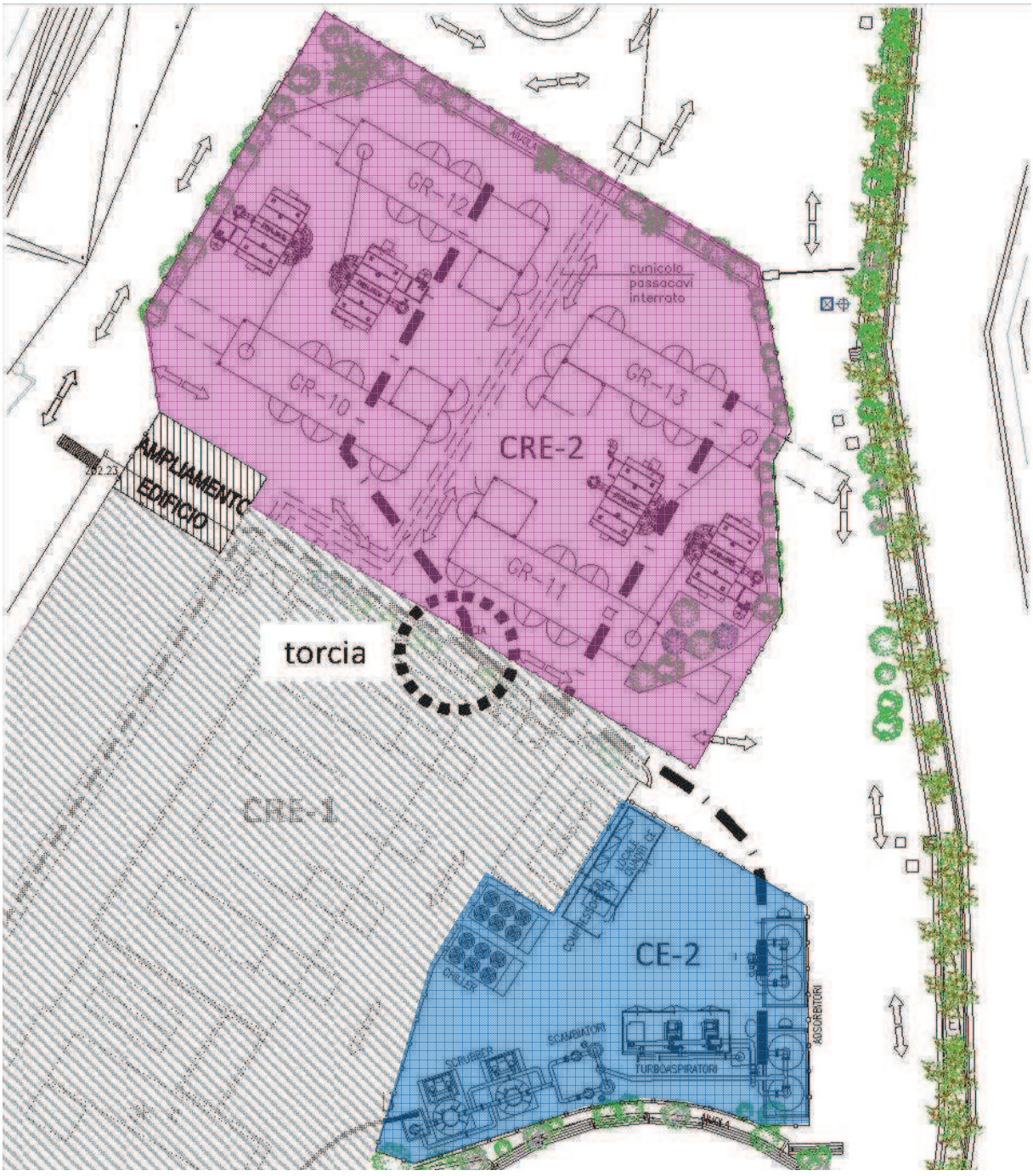



*Figura 7.7: Layout della nuova CRE-2*

Nel Lay-out è evidenziabile anche la posizione della torcia che fungerebbe da elemento di sfioro dei biogas non trasformati in energia.

In pratica il combustore sarà dotato di un sistema automatico di sfioro che destinerà al bruciatore i quantitativi di biogas non utilizzabili dai motori.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

Si ritiene comunque che la logica della nuova CRE-2, dotata di più unità e con potenze leggermente superiori alla captabilità, possa garantire il funzionamento minimale della torcia e che tale elemento sia quindi considerabile come presidio di emergenza.
Tale situazione è stata inoltre confermata nei recenti anni di funzionamento della CRE-1.
Alla stessa torcia perverranno inoltre le eccedenze di biogas provenienti dalla attuale CRE-1 che sarà in funzione almeno fino al 2017. Si prevede quindi una modifica alla rampa di alimentazione in modo tale da sostenere la doppia alimentazione separata.

Ogni singolo gruppo di trasformazione energetica sarà dotato di un efficiente sistema di riduzione delle emissioni conforme alle Normative vigenti ed al massimo stato dell'arte.
Si riporta di seguito una sintetica descrizione del sistema.

## 7.5 IL sistema di abbattimento degli ossidi di azoto

Gli ossidi di azoto, che sono un prodotto della combustione, una volta liberati in atmosfera e reagendo con acqua, danno origine all'acido nitrico. La loro formazione è fortemente influenzata dalle temperature che si raggiungono in camera di combustione e conseguentemente dal rapporto lambda, cioè tra l'effettivo valore di aria immessa in camera di combustione e l'aria stechiometrica necessaria per la combustione. A parità di combustibile, maggiore è la presenza di comburente, minori sono le temperature che si raggiungono in camera di combustione. E' quindi necessario agire durante il processo di combustione per limitare la formazione di ossidi di azoto, per tale motivo i gruppi elettrogeni saranno dotati di uno specifico sistema definito: Leanox.
Il sistema Leanox è un processo di combustione magra che opera mantenendo un valore di lambda in camera di combustione compreso tra 1,6 e 1,9. Il grafico seguente mostra l'andamento della formazione di ossidi di azoto in funzione di diversi valori di $\lambda$.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

Per valori di Lambda maggiori di 1,6, il processo di combustione avviene in una regione dove la formazione di ossidi di azoto è decrescente fino a raggiungere i valori limiti previsti dalla normativa.

Il problema del contenuto degli ossidi di azoto nei gas esausti viene quindi risolto all'origine limitandone la formazione in camera di combustione.

Il parametro Lambda deve, ovviamente, essere mantenuto costante in tutte le condizioni di carico. La regolazione diventa, quindi, abbastanza complessa, in quanto elevati eccessi d'aria potrebbero provocare mancate accensioni della miscela.

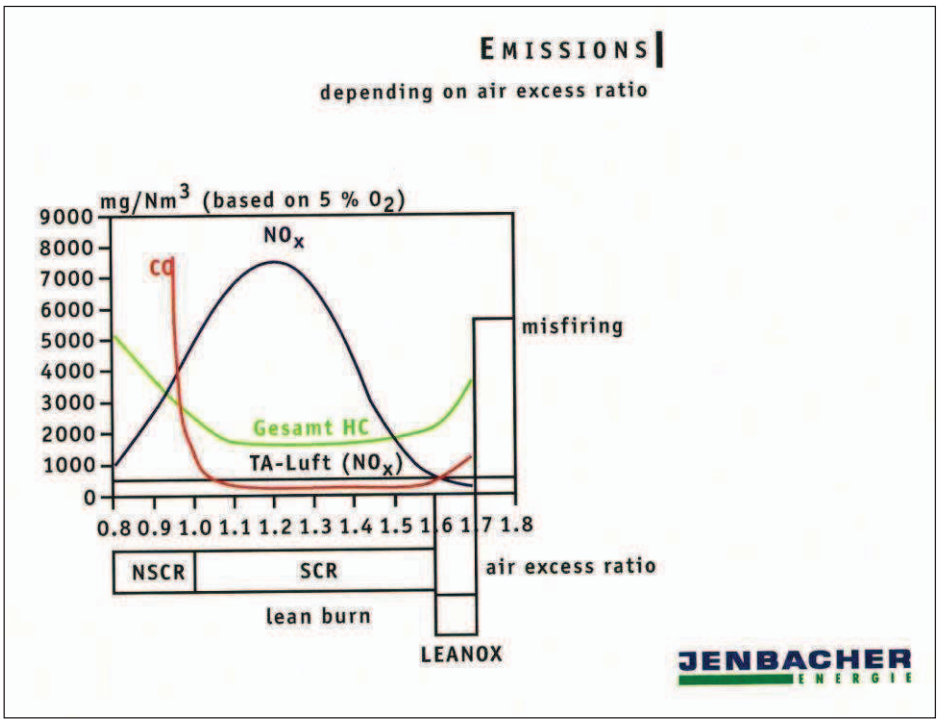



*Figura 7.8: Emissioni in funzione dell'eccesso d'aria*

La miscela aria/ combustibile si forma a monte del turbocompressore in una particolare valvola a cono.

La quantità di aria immessa nella miscela combustibile viene regolata aumentando o diminuendo la distanza del cono dalla sede della valvola. Il gap tra cono e sede della valvola costituisce l'area di passaggio dell'aria.

Prima di essere immessa nella camera di combustione di ciascun cilindro del motore, la miscela viene compressa (si ha così oltre all'effetto desiderato di aumentare la

pressione del combustibile, una perfetta miscelazione aria gas e quindi una migliore qualità della combustione) e raffreddata in un intercooler.

Se il regime di funzionamento del motore è corretto vengono garantite le emissioni di ossidi di azoto.
Una variazione di potenza del gruppo, provoca una variazione di pressione e la valvola miscelatrice modula al fine di mantenere la temperatura costante.
Se il sistema registra una temperatura in aumento la valvola miscelatrice arricchisce la miscela, se, al contrario, la temperatura diminuisce, la valvola diminuisce la portata di aria. Nella figura successiva è riportato il loop di regolazione.

Tale regolazione viene sempre mantenuta nella fascia di potenza di utilizzo del modulo di generazione (60% - 100%).
Se il motore inizia a perdere colpi per mancata accensione della miscela troppo magra, interviene un sistema di controllo ad arricchire la miscela al superamento di 4 colpi nell'arco di 12".

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

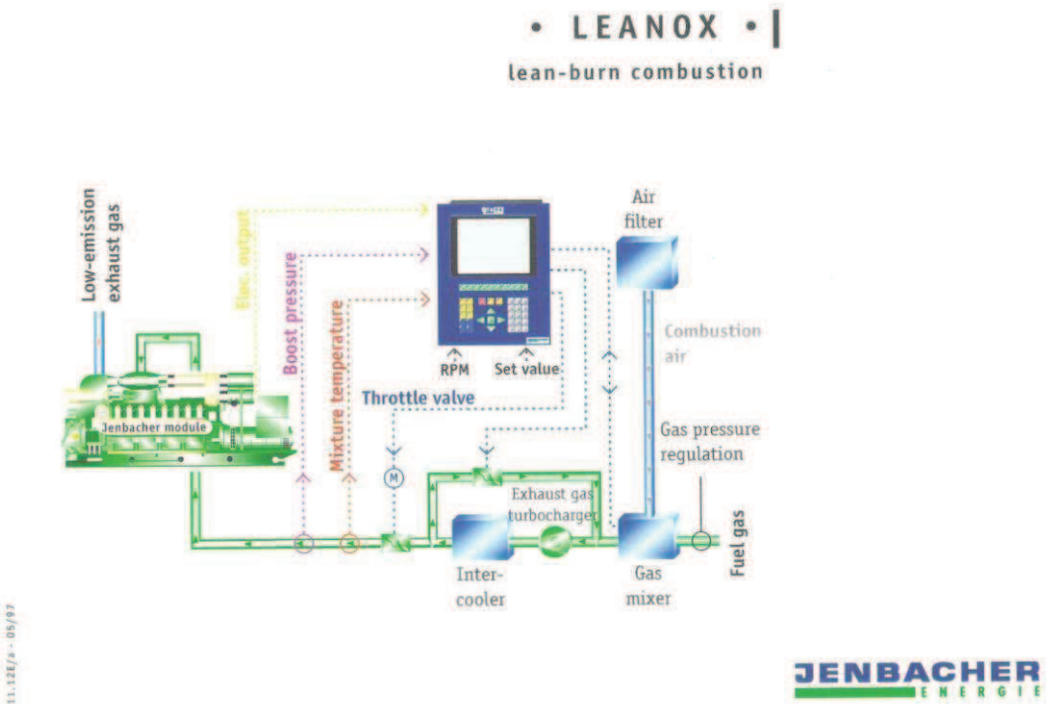



*Figura 7.9: Regolatore Leanox*

Il regolatore Leanox si riporta poi automaticamente al valore di lambda impostato. Per rendere idoneo il motore alla combustione magra secondo il sistema Leanox sono state date funzionali configurazioni della camera di combustione e del cielo del pistone.

## 7.6 Il sistema di abbattimento del monossido di carbonio

Ogni singolo gruppo elettrogeno sarà dotato di uno specifico sistema di abbattimento del monossido di carbonio costituito da un "post-combustore" o "termoreattore rigenerativo".

Il termoreattore rigenerativo CL.AIR riduce l'ossido di carbonio (CO) e gli idrocarburi incombusti (HC)presenti nei fumi del motore permettendo quindi il rispetto anche del COT.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*

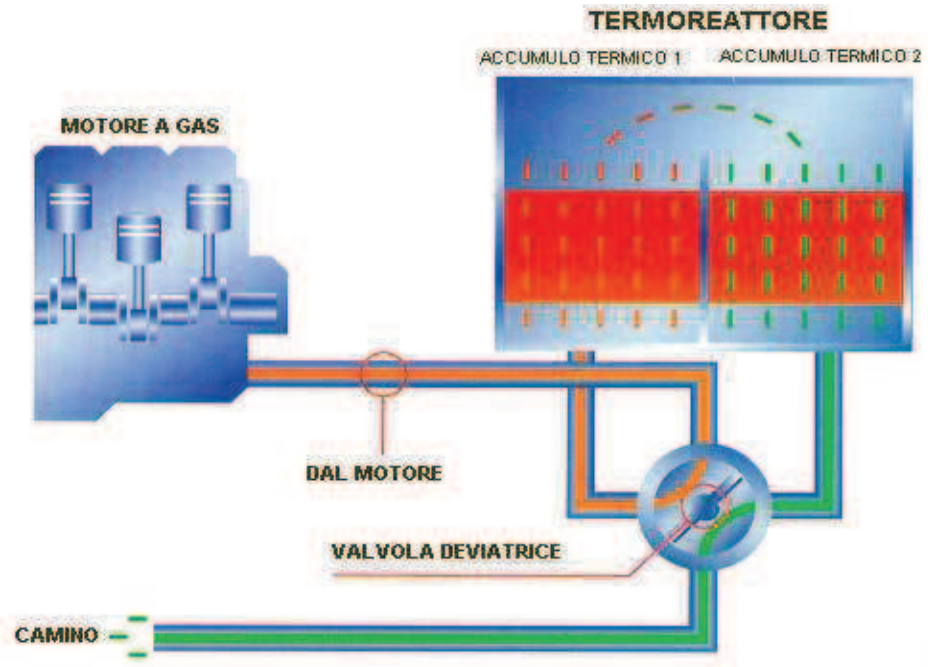



*Figura 7.10: Termoreattore*

Il Termoreattore rigenerativo CL.AIR è un sistema per il trattamento termico dei gas di scarico. È costituito essenzialmente, da uno scambiatore di calore a due camere rigenerativo in materiale ceramico, da una camera di reazione e da un sistema di commutazione.

I gas di scarico del motore vengono trattati secondo il seguente ciclo:

a) entrano nel sistema CL.AIR a circa 420°C nella camera di accumulo termico 1;
b) sono portati ad una temperatura di circa 800°C (la reazione si autosostiene, il consumo si limita a circa 5/10 Nm3/h di biogas); a questa temperatura $CH_4$, NMHC e CO reagiscono con l'ossigeno residuo presente nei fumi e formano $CO_2$ e vapore;
c) passano nella camera di accumulo termico 2 dove cedono calore al materiale ceramico ivi presente;
d) lasciano il sistema a circa 470°C;

Il sistema di controllo automatico provvede quindi, ogni 2, 3 minuti, a invertire il flusso dei gas di scarico, i gas di scarico attraverseranno quindi, prima la camera 2 (preriscaldata nel ciclo precedente) e, prima di lasciare il sistema, la camera 1.

Il sistema è completamente coibentato e necessita, solo all'avviamento da freddo, dell'ausilio di resistenze elettriche per portare in temperatura le camere 1 e 2.
Gli autoconsumi a regime sono circa 2 kW elettrici e 6-7 $Nm^3/h$ di biogas per ogni termoreattore.
Ogni motore deve essere collegato allo scarico con un proprio termoreattore.
La quota di scarico dei fumi allo sbocco dei camini è prevista in 6 m dal piano campagna.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
*reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI*