



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN

RISCHIO AMBIENTALE E PROTEZIONE CIVILE

**“Il sistema Gas Stabilizer: effetti sulla valorizzazione energetica del biogas da discarica.”**

**“The Gas Stabilizer system: effects on the energy valorization of landfill biogas.”**

*Tesi di Laurea Magistrale di:*

**Elisa Giuseppina Barrasso**

*Relatore:*

**Prof.ssa Francesca Beolchini**

*Correlatore:*

**Ing. Sandro de Rosa**

**Sessione Straordinaria  
Anno Accademico 2021/2022**

## INDICE

Capitolo primo.....	4
<b>INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO .....</b>	<b>4</b>
Capitolo Secondo.....	9
<b>PRINCIPALI DISPOSIZIONI NORMATIVE PERTINENTI IN TEMA DI RIFIUTI, DISCARICHE ED ENERGIA.....</b>	<b>9</b>
<i>2.1 DIRETTIVA 1999/31/CE e s.m.i. relativa alle discariche di rifiuti. ....</i>	<i>9</i>
<i>2.2 DECRETO LEGISLATIVO n°36 del 13 gennaio 2003 e s.m.i. relativo alle discariche di rifiuti. ....</i>	<i>12</i>
<i>2.3 DECRETO LEGISLATIVO n°387 del 29 dicembre 2003 .....</i>	<i>16</i>
<i>2.4 DECRETO LEGISLATIVO n°152 del 3 aprile 2006: Norme in materia ambientale. ....</i>	<i>16</i>
<i>2.5 DIRETTIVA 2008/98/CE e s.m.i. relativa ai rifiuti.....</i>	<i>19</i>
<i>2.6 DIRETTIVA 2010/75/UE relativa alle emissioni industriali - prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento.....</i>	<i>22</i>
<i>2.7 DIRETTIVA 2012/27/UE e s.m.i. sull'efficienza energetica. ....</i>	<i>24</i>
<i>2.8 DIRETTIVA 2018/850/UE .....</i>	<i>25</i>
<i>2.9 DIRETTIVA 2018/2001/UE - energia da fonti rinnovabili .....</i>	<i>26</i>
<i>2.10 REGOLAMENTO 2018/1999/UE - azione per il clima. ....</i>	<i>27</i>
<i>2.11 DECISIONE (UE) 2018/1147.....</i>	<i>30</i>
Capitolo terzo.....	31
<b>INQUADRAMENTO DEL SITO .....</b>	<b>31</b>
<i>3.1 La discarica di Monteschiantello .....</i>	<i>31</i>
<i>3.2 La discarica – descrizione funzionale .....</i>	<i>34</i>
Capitolo quarto.....	36

<b>IL BIOGAS .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 Il fenomeno produttivo del biogas.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2 Caratteristiche chimiche del biogas .....</b>	<b>41</b>
<b>4.3 Caratteristiche di combustione.....</b>	<b>43</b>
<b>4.4 Le problematiche causate dal biogas .....</b>	<b>45</b>
<b>Capitolo quinto .....</b>	<b>48</b>
<b>MODALITA' DI GESTIONE DELLA DISCARICA .....</b>	<b>48</b>
<b><i>5.1 Gestione del percolato .....</i></b>	<b><i>49</i></b>
<b><i>5.2 Gestione del biogas .....</i></b>	<b><i>51</i></b>
<b><i>5.3 Il sistema di captazione e trasporto del biogas.....</i></b>	<b><i>53</i></b>
<b><i>5.3.1 I sistemi di captazione nel corpo discarica.....</i></b>	<b><i>54</i></b>
<b><i>5.3.2 Il sistema di trasporto del biogas.....</i></b>	<b><i>58</i></b>
<b><i>5.3.3 Le stazioni di regolazione – impianti collettori di biogas .....</i></b>	<b><i>61</i></b>
<b><i>5.5 Centrale di estrazione e recupero energetico del biogas .....</i></b>	<b><i>65</i></b>
<b><i>5.5.1 Pre – trattamento del biogas.....</i></b>	<b><i>66</i></b>
<b><i>5.5.2 Trattamento finale del biogas.....</i></b>	<b><i>68</i></b>
<b><i>5.6 La regolazione della rete di captazione.....</i></b>	<b><i>77</i></b>
<b>Capitolo sesto .....</b>	<b>81</b>
<b>DESCRIZIONE FUNZIONALE GAS STABILIZER .....</b>	<b>81</b>
<b>Capitolo settimo .....</b>	<b>84</b>
<b>ANALISI DEI DATI .....</b>	<b>84</b>
<b>7.1 Analisi comparativa della qualità del biogas misurata alle stazioni di regolazione, pre e post GAS STABILIZER.....</b>	<b>84</b>

<b>7.1.1 Stazione di regolazione SRA – SKID 1 .....</b>	<b>85</b>
<b>7.1.2 Stazione di regolazione SRG – SKID 2 .....</b>	<b>89</b>
<b>7.2 Analisi dei parametri di captazione automatizzata del biogas in SRA e SRG .....</b>	<b>92</b>
<b>7.3 Analisi dell'efficienza del sistema GAS STABILIZER .....</b>	<b>103</b>
<b>Capitolo ottavo.....</b>	<b>111</b>
<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>111</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>116</b>
<b>SITOGRAFIA.....</b>	<b>118</b>
<b>ALLEGATI.....</b>	<b>119</b>

## CAPITOLO PRIMO

### INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

GAS STABILIZER è un sistema brevettato avente come titolo “System and method to control a biogas collection plant”, frutto di studi decennali sulle dinamiche di gestione delle discariche e sulla produzione di biogas di discarica.

Il sistema coperto da BREVETTO INTERNAZIONALE PCT WO 2017/081671 A1 in licenza alla startup Zero3 srl fondata dagli ingegneri Marco Antonini e Francesca Sandrini, si inserisce nei tradizionali sistemi di captazione ed ha la funzione di migliorare l’efficienza di recupero del biogas (landfill gas - LFG) prodotto dall’ammasso di rifiuti, rendendo massimo il quantitativo di risorsa combustibile (CH<sub>4</sub>) disponibile per il recupero energetico.

Il biogas infatti, è stato indicato tra le fonti energetiche rinnovabili (*direttiva 2018/850/UE*) grazie al suo elevato potere calorifico che nell'impianto di recupero energia (impianto di cogenerazione), può essere convertito in elettricità e calore.

Ottimizzare il recupero del biogas si traduce inoltre, in una riduzione dell’inquinamento ambientale grazie all’abbattimento delle emissioni di gas climalteranti quali il metano e l’anidride carbonica generati dalle discariche.

Nell'attuale contesto climatico occorre prendere coscienza che anche il biogas generato da rifiuti contiene un grande quantitativo di gas climalteranti: il biogas tipico o standard (LFG50) viene caratterizzato da una % vol di metano CH<sub>4</sub> pari al 50% e da una % vol di anidride carbonica CO<sub>2</sub> pari al 35% (*fonte: EPC Libri – 'Biogas da Discarica' di Enrico Magnano*).

Le discariche di rifiuti urbani sono grandi produttori di biogas dato che normalmente dal 30 al 50% dei rifiuti è composto da materiale organico e costituiscono il secondo/terzo contributo (almeno per il 15%) di emissioni incontrollate di metano (di origine antropica) dopo il settore energetico e agricolo. A livello mondiale, oltre il 60% dei rifiuti viene smaltito in discarica (controlled landfill, sanitary landfill–with landfill collection, landfill unspecified, open dump, ...) (*fonte: What a waste 2.0 – World Bank Group, 2018*).

Ridurre l'impatto del biogas prodotto in discarica risulta quindi di fondamentale importanza ed è per questo che nel 2021 la startup è stata premiata da Legambiente con il "Premio innovazione Amica dell'Ambiente 2021" nella categoria Transizione energetica.

Occorre infine considerare che migliorare l'efficienza di recupero del biogas, consente di abbattere l'impatto odorigeno causato dalla discarica. Il flusso di

biogas dal corpo rifiuti, infatti, fa da vettore per i microcomponenti olfattivamente percepibili, trascinandoli e diffondendoli in atmosfera.

L'installazione e la sperimentazione del primo prototipo di Gas Stabilizer è avvenuta ad aprile 2019 presso la "Discarica per rifiuti non pericolosi" di Monteschiattello, sita nel comune di Fano (PU) e gestita dalla ASET S.P.A. Compito del gestore di Discarica è quello di captare la maggiore quantità possibile di biogas al fine di perseguire gli obiettivi visti sopra, tenendo conto che la produzione di biogas risulta molto variabile sia qualitativamente che quantitativamente, essendo dipendente da molti fattori: merceologia ed età dei rifiuti, condizioni chimico-fisiche (aerobiche o anaerobiche), umidità del corpo rifiuti, pressione barometrica, ecc. Queste condizioni (in particolare quelle chimico-fisiche) variano continuamente, facendo di conseguenza fluttuare (anche a distanza di poche ore) anche la produzione di biogas e la concentrazione di metano in essa contenuto.

Il biogas viene captato dal corpo rifiuti attraverso una fitta rete di captazione ed inviato ad una stazione di regolazione (*Figura 1*) che consente la regolazione di alcuni parametri del biogas, al fine di essere avviato al trattamento di combustione con recupero di energia (cogenerazione).



*FIGURA 1 - STAZIONE DI REGOLAZIONE CON GAS STABILIZER, DISCARICA DI MONTESCHIANTELLO – ASET SPA. FONTE: "GAS STABILIZER SYSTEM AND METHOD TO CONTROL A BIOGAS COLLECTION PLANT" AUTORI: M. ANTONINI, F.SANDRINI*

In assenza di GAS STABILIZER, per ottimizzare la quantità di biogas da estrarre occorre regolare continuamente il tasso di aspirazione su ogni singola linea-pozzo, operazione che viene eseguita manualmente presso le sottostazioni di regolazione. Essendo un'operazione manuale da effettuare su molti punti richiede molto tempo, può quindi essere eseguita solo con frequenza settimanale-mensile. Grazie a GAS STABILIZER la regolazione avviene automaticamente e la captazione è massimizzata, con un deciso incremento della qualità del biogas avviato a trattamento di combustione e dell'energia elettrica prodotta (cogenerazione).

Scopo di questa tesi è quello di analizzare i primi dati risultanti dall'implementazione del sistema GAS STABILIZER presso la discarica di Monteschiantello, al fine di determinare l'incremento della qualità del biogas e comprendere come il sistema ha lavorato, determinando altresì un aumento dell'energia elettrica prodotta.

## CAPITOLO SECONDO

### PRINCIPALI DISPOSIZIONI NORMATIVE PERTINENTI IN TEMA DI RIFIUTI, DISCARICHE ED ENERGIA

#### ***2.1 DIRETTIVA 1999/31/CE E S.M.I. RELATIVA ALLE DISCARICHE DI RIFIUTI.***

In questa direttiva i punti fondamentali sono i seguenti:

**Art.1 comma 1:** “Per sostenere la transizione dell’Unione verso un’economia circolare e ... omissis ... , lo scopo della presente direttiva è ... omissis ... prevedere, mediante rigidi requisiti operativi e tecnici per i rifiuti e le discariche, misure, procedure e orientamenti volti a prevenire o a ridurre il più possibile le ripercussioni negative sull’ambiente, in particolare l’inquinamento delle acque superficiali, delle acque di falda, del suolo e dell’aria, e sull’ambiente globale, compreso l’effetto serra, nonché i rischi per la salute umana risultanti dalle discariche di rifiuti, durante l’intero ciclo di vita della discarica.”

**Art.7 lettere e), f) e g):** “Gli Stati membri provvedono affinché la domanda di autorizzazione per una discarica contenga almeno i seguenti dati: ... omissis ...

- e) i metodi previsti per la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento.
- f) il piano previsto per il funzionamento, la sorveglianza ed il controllo.

g) il piano per la chiusura e la gestione successiva alla chiusura.”

**Art.8 lettera a) punto iii):** per quanto riguarda il funzionamento della discarica, siano adottate le misure necessarie per prevenire gli incidenti e limitarne le conseguenze”

**Art.12:** “Gli Stati membri adottano provvedimenti affinché le procedure di controllo e sorveglianza nella fase operativa rispondano almeno ai requisiti seguenti:

a) Il gestore della discarica esegue durante la fase operativa il programma di controllo e di sorveglianza di cui all'allegato III.

b) Il gestore notifica all'autorità competente eventuali significativi effetti negativi sull'ambiente riscontrati a seguito delle procedure di controllo e sorveglianza e si conforma alla decisione dell'autorità competente sulla natura delle misure correttive e sui termini di attuazione delle medesime. Tali misure sono adottate a spese del gestore.

Con frequenza che sarà stabilita dall'autorità competente e comunque almeno una volta l'anno, il gestore, sulla scorta di dati globali, riferisce alle autorità competenti i risultati complessivi della sorveglianza per dimostrare la conformità della discarica alle condizioni dell'autorizzazione e arricchire le conoscenze sul comportamento dei rifiuti nelle discariche.”

**Art.13 lettere c) e d):** “Procedura di chiusura e di gestione successiva alla chiusura. Gli Stati membri provvedono affinché, in conformità, se del caso, dell'autorizzazione:

c) dopo la chiusura definitiva della discarica, il gestore sia responsabile della manutenzione, della sorveglianza e del controllo nella fase della gestione successiva alla chiusura per tutto il tempo che sarà ritenuto necessario dall'autorità competente, tenendo conto del periodo di tempo durante il quale la discarica può comportare rischi.

d) fintantoché l'autorità competente ritiene che la discarica possa comportare rischi per l'ambiente e senza pregiudicare qualsivoglia normativa comunitaria o nazionale in materia di responsabilità del detentore dei rifiuti, il gestore della discarica impegni la propria responsabilità nel controllare e analizzare il gas di discarica e il colaticcio del sito nonché le acque freatiche nelle vicinanze, a norma dell'allegato III.”

#### **Allegato I - punto 4. Controllo dei gas.**

- **4.1.** “Si devono adottare misure adeguate per controllare l'accumulo e la migrazione dei gas della discarica.”
- **4.2.** “Il gas della discarica deve essere raccolto da tutte le discariche che raccolgono rifiuti biodegradabili, trattato e utilizzato. Qualora il gas

raccolto non possa essere utilizzato per produrre energia, deve essere combusto.”

- **4.3.** “La raccolta, il trattamento e l'utilizzazione del gas della discarica di cui al punto 4.2 devono essere effettuati in modo tale da ridurre al minimo il danneggiamento o il degrado dell'ambiente e il rischio per la salute delle persone.”

#### **Allegato I - punto 5. Disturbi e rischi.**

“Si devono adottare misure che riducano al minimo i disturbi e i rischi provenienti dalla discarica causati da: emissioni di odori e polvere,

... omissis ... incendi. ... omissis ...”

#### ***2.2 DECRETO LEGISLATIVO N°36 DEL 13 GENNAIO 2003 E S.M.I.***

##### ***RELATIVO ALLE DISCARICHE DI RIFIUTI.***

La direttiva 1999/31/CE è stata recepita in Italia con D.lgs. 36/03. I punti fondamentali di tale decreto sono i seguenti.

**Allegato I – punto 2.5. Controllo dei gas.** “Le discariche che accettano rifiuti biodegradabili devono essere dotate di impianti per l'estrazione dei gas che garantiscano la massima efficienza di captazione e il conseguente utilizzo energetico, ove questo venga ritenuto tecnicamente fattibile.

La gestione del biogas deve essere condotta in modo tale da ridurre al minimo il rischio per l'ambiente e per la salute umana; l'obiettivo è quello di non far percepire la presenza della discarica al di fuori di una ristretta fascia di rispetto.

Poiché il naturale assestamento della massa dei rifiuti depositati può danneggiare il sistema di estrazione del biogas, è indispensabile un piano di mantenimento dello stesso, che preveda anche l'eventuale sostituzione dei sistemi di captazione deformati in modo irreparabile.

È inoltre indispensabile mantenere al minimo il livello del percolato all'interno dei pozzi di captazione del biogas, per consentirne la continua funzionalità, anche con sistemi di estrazione del percolato eventualmente formatosi; tali sistemi devono essere compatibili con la natura di gas esplosivo, e rimanere efficienti anche nella fase post-operativa. Il sistema di estrazione del biogas deve essere dotato di sistemi per l'eliminazione

dell'acqua di condensa, che può essere reimpressa nel corpo dei rifiuti, in caso contrario, andrà trattata e/ o smaltita come rifiuto liquido in idoneo impianto.

Il biogas deve essere di norma utilizzato per la produzione di energia, anche a seguito di un eventuale trattamento, senza che questo pregiudichi le condizioni di sicurezza per la salute dell'uomo e per l'ambiente.

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

L'effettivo riutilizzo energetico è subordinato ad una produzione minima del biogas realmente estraibile caratterizzata da una portata non inferiore a 100 Nm<sup>3</sup>/h e da una durata del flusso previsto ai valori minimi non inferiore a 5 anni.

Il sistema di estrazione e trattamento del biogas deve essere mantenuto in esercizio per tutto il tempo in cui nella discarica è presente la formazione del gas e comunque per il periodo necessario, come indicato all'articolo 13, comma 2.

In presenza di una produzione di metano inferiore a 0,001 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h, sarà possibile far ricorso alla ossidazione biologica in situ, mediante l'utilizzo di biofiltri o l'allestimento di coperture bioossidative adeguatamente progettate e dimensionate.”

**Allegato I – Punto 2.6. Disturbi ed impatti.** “Il gestore degli impianti di discarica per rifiuti non pericolosi e pericolosi deve adottare misure idonee a ridurre al minimo i disturbi e gli impatti provenienti dalla discarica e causati

da: emissione di odori; produzione di polvere; ...omissis ...omissis ...omissis  
... formazione di aerosol; incendi.”

**Allegato I – Punto 5.4. Emissioni gassose e qualità dell’aria.** “Per le discariche dove sono smaltiti rifiuti biodegradabili e rifiuti contenenti sostanze che possono sviluppare gas o vapori deve essere previsto un monitoraggio delle emissioni gassose, convogliate e diffuse, della discarica stessa, in grado di individuare anche eventuali fughe di gas esterne al corpo della discarica stessa. A tal proposito il Piano deve definire livelli di guardia relativamente alla presenza del gas di discarica all'esterno della discarica, anche nel suolo e nel sottosuolo, nonché contenere un piano d'intervento da realizzare ed attivare in caso di superamento degli stessi.

I parametri di monitoraggio sul gas di discarica devono comprendere almeno CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, con regolarità mensile, altri parametri quali H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, polveri totali, NH<sub>3</sub>, mercaptani e composti volatili in relazione alla composizione dei rifiuti. Si deve provvedere, inoltre, a caratterizzare quantitativamente il gas di discarica. ... omissis ... L'autorità di controllo stabilirà anche eventuali misure per l'identificazione di migrazioni del gas nel suolo e nel sottosuolo ... omissis ...”

### ***2.3 DECRETO LEGISLATIVO N°387 DEL 29 DICEMBRE 2003***

Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità.

**Art 1 – Finalità.** “Il presente decreto, nel rispetto della disciplina nazionale, comunitaria ed internazionale vigente, nonché nel rispetto dei principi e criteri direttivi stabiliti dall'articolo 43 della legge 1° marzo 2002, n. 39, è finalizzato a:

- a) promuovere un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di elettricità nel relativo mercato italiano e comunitario; ...omiss...

**Art.12 - Comma 1.** “Le opere per la realizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili, nonché le opere connesse e le infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio degli stessi impianti, autorizzate ai sensi del comma 3, sono di pubblica utilità ed indifferibili ed urgenti.”

### ***2.4 DECRETO LEGISLATIVO N°152 DEL 3 APRILE 2006: NORME IN MATERIA AMBIENTALE.***

**Parte quarta: norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati.**

**Titolo 1 – Capo 1 - Art 178. Comma 1.** “La gestione dei rifiuti costituisce attività di pubblico interesse ed è disciplinata dalla parte quarta del presente decreto al fine di assicurare un'elevata protezione dell'ambiente e controlli efficaci, tenendo conto della specificità dei rifiuti pericolosi.”

Comma 2. “I rifiuti devono essere recuperati o smaltiti senza pericolo per la salute dell'uomo e senza usare procedimenti o metodi che potrebbero recare pregiudizio all'ambiente e, in particolare:

- a) senza determinare rischi per l'acqua, l'aria, il suolo, nonché per la fauna e la flora;
- b) senza causare inconvenienti da rumori o odori;
- c) senza danneggiare il paesaggio e i siti di particolare interesse, tutelati in base alla normativa vigente.”

Comma 3. “La gestione dei rifiuti è effettuata conformemente ai principi di precauzione, di prevenzione, di proporzionalità, di responsabilizzazione e di cooperazione di tutti i soggetti coinvolti nella produzione, nella distribuzione, nell'utilizzo e nel consumo di beni da cui originano i rifiuti, nel rispetto dei principi dell'ordinamento nazionale e comunitario, con particolare riferimento al principio comunitario "chi inquina paga". A tal fine la gestione dei rifiuti è effettuata secondo criteri di efficacia, efficienza, economicità e trasparenza.”

Comma 4. “Per conseguire le finalità e gli obiettivi della parte quarta del presente decreto, lo Stato, le regioni, le province autonome e gli enti locali esercitano i poteri e le funzioni di rispettiva competenza in materia di gestione dei rifiuti in conformità alle disposizioni di cui alla parte quarta del presente decreto, adottando ogni opportuna azione ed avvalendosi, ove opportuno, mediante accordi, contratti di programma o protocolli d'intesa anche sperimentali, di soggetti pubblici o privati.”

**Parte quinta: Norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera**

**Titolo 1 – Art 267.** Comma 1. “Il presente titolo, ai fini della prevenzione e della limitazione dell'inquinamento atmosferico, si applica agli impianti, inclusi gli impianti termici civili non disciplinati dal titolo II, ed alle attività che producono emissioni in atmosfera e stabilisce i valori di emissione, le prescrizioni, i metodi di campionamento e di analisi delle emissioni ed i criteri per la valutazione della conformità dei valori misurati ai valori limite.”

Comma 4. “Al fine di consentire il raggiungimento degli obiettivi derivanti dal Protocollo di Kyoto e di favorire comunque la riduzione delle emissioni in atmosfera di sostanze inquinanti, la normativa di cui alla parte quinta del presente decreto intende determinare l'attuazione di tutte le più opportune azioni volte a promuovere l'impiego dell'energia elettrica prodotta da impianti

di produzione alimentati da fonti rinnovabili ai sensi della normativa comunitaria e nazionale vigente e, in particolare, della direttiva 2001/77/CE e del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387, determinandone il dispacciamento prioritario.”

## ***2.5 DIRETTIVA 2008/98/CE E S.M.I. RELATIVA AI RIFIUTI.***

**Capo 1. Art 1 – Oggetto e campo di applicazione.** “La presente direttiva stabilisce misure volte a proteggere l’ambiente e la salute umana evitando o riducendo la produzione di rifiuti, gli effetti negativi della produzione e della gestione dei rifiuti, riducendo gli effetti generali dell’uso delle risorse e migliorandone l’efficienza, che costituiscono elementi fondamentali per il passaggio a un’economia circolare e per assicurare la competitività a lungo termine dell’Unione.”

**Art 3 – Definizioni.** “Ai fini della presente direttiva si intende per:

- 1) «rifiuto» qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l’intenzione o l’obbligo di disfarsi;
- 2) «rifiuto pericoloso» rifiuto che presenta una o più caratteristiche pericolose di cui all’allegato III;
- 2 bis) «rifiuto non pericoloso», rifiuto non contemplato dal punto 2;
- 2 ter) «rifiuti urbani»:

- a) rifiuti domestici indifferenziati e da raccolta differenziata, ivi compresi: carta e cartone, vetro, metalli, plastica, rifiuti organici, legno, tessili, imballaggi, rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche, rifiuti di pile e accumulatori, e rifiuti ingombranti, ivi compresi materassi e mobili;
- b) rifiuti indifferenziati e da raccolta differenziata provenienti da altre fonti e che sono simili per natura e composizione ai rifiuti domestici;

I rifiuti urbani non includono i rifiuti della produzione, dell'agricoltura, della silvicoltura, della pesca, delle fosse settiche, delle reti fognarie e degli impianti di trattamento delle acque reflue, ivi compresi i fanghi di depurazione, i veicoli fuori uso o i rifiuti da costruzione e demolizione.”

...omiss...

...omiss...

**Art 4 – Gerarchia dei rifiuti.** “1. La seguente gerarchia dei rifiuti si applica quale ordine di priorità della normativa e della politica in materia di prevenzione e gestione dei rifiuti:

- a) prevenzione;
- b) preparazione per il riutilizzo;
- c) riciclaggio;

d) recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia; e

e) smaltimento.”

2. “Nell’applicare la gerarchia dei rifiuti di cui al paragrafo 1, gli Stati membri adottano misure volte a incoraggiare le opzioni che danno il miglior risultato ambientale complessivo... omiss...

...omiss...

Conformemente agli articoli 1 e 13, gli Stati membri tengono conto dei principi generali in materia di protezione dell’ambiente di precauzione e sostenibilità, della fattibilità tecnica e praticabilità economica, della protezione delle risorse nonché degli impatti complessivi sociali, economici, sanitari e ambientali.”

**Art 13 - Protezione della salute umana e dell’ambiente.** “Gli Stati membri prendono le misure necessarie per garantire che la gestione dei rifiuti sia effettuata senza danneggiare la salute umana, senza recare pregiudizio all’ambiente e, in particolare:

a) senza creare rischi per l’acqua, l’aria, il suolo, la flora o la fauna;

b) senza causare inconvenienti da rumori od odori e

c) senza danneggiare il paesaggio o i siti di particolare interesse.”

***2.6 DIRETTIVA 2010/75/UE RELATIVA ALLE EMISSIONI INDUSTRIALI -  
PREVENZIONE E RIDUZIONE INTEGRATE DELL'INQUINAMENTO.***

La direttiva 2010/75/UE è stata recepita in Italia con il D.Lgs 4 marzo 2014, n.46 recante modifiche al D.lgs. 3 aprile 2006, n.152. I punti fondamentali di questa direttiva sono i seguenti.

**Capo1 - Art 1 – Oggetto.** “La presente direttiva stabilisce norme riguardanti la prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento proveniente da attività industriali. Essa fissa inoltre norme intese a evitare oppure, qualora non sia possibile, ridurre le emissioni delle suddette attività nell'aria, nell'acqua e nel terreno e ad impedire la produzione di rifiuti, per conseguire un livello elevato di protezione dell'ambiente nel suo complesso.”

**Art 3 – Definizioni.** “10. «migliori tecniche disponibili», la più efficiente e avanzata fase di sviluppo di attività e relativi metodi di esercizio indicanti l'idoneità pratica di determinate tecniche a costituire la base dei valori limite di emissione e delle altre condizioni di autorizzazione intesi ad evitare oppure, ove ciò si riveli impraticabile, a ridurre le emissioni e l'impatto sull'ambiente nel suo complesso:

- a) per «tecniche» sia le tecniche impiegate sia le modalità di progettazione, costruzione, manutenzione, esercizio e chiusura dell'installazione;

- b) per «tecniche disponibili» le tecniche sviluppate su una scala che ne consenta l'applicazione in condizioni economicamente e tecnicamente attuabili nell'ambito del pertinente comparto industriale, prendendo in considerazione i costi e i vantaggi, indipendentemente dal fatto che siano o meno applicate o prodotte nello Stato membro di cui si tratta, purché il gestore possa avervi accesso a condizioni ragionevoli;
- c) per «migliori», si intendono le tecniche più efficaci per ottenere un elevato livello di protezione dell'ambiente nel suo complesso.”

**Capo 2 - Art 11 - Principi generali degli obblighi fondamentali del gestore.**

“Gli Stati membri adottano le misure necessarie affinché l'installazione sia gestita in modo conforme ai principi che seguono:

- a) sono adottate tutte le opportune misure di prevenzione dell'inquinamento;
- b) sono applicate le migliori tecniche disponibili;
- c) non si verificano fenomeni di inquinamento significativi;
- d) è prevenuta la produzione di rifiuti, a norma della direttiva 2008/98/CE;  
...omiss...
- e) l'energia è utilizzata in modo efficiente;  
...omiss...

## ***2.7 DIRETTIVA 2012/27/UE E S.M.I. SULL'EFFICIENZA ENERGETICA.***

La Direttiva 2012/27/UE è stata recepita in Italia con il DECRETO Legislativo 4 luglio 2014, n.102. Le principali modifiche a questa direttiva sono state introdotte con la Decisione (UE)2019/504.

“Considerando quanto segue:

1. L'Unione si trova di fronte a sfide senza precedenti determinate da una maggiore dipendenza dalle importazioni di energia, dalla scarsità di risorse energetiche, nonché dalla necessità di limitare i cambiamenti climatici e di superare la crisi economica. L'efficienza energetica costituisce un valido strumento per affrontare tali sfide. Essa migliora la sicurezza di approvvigionamento dell'Unione, riducendo il consumo di energia primaria e diminuendo le importazioni di energia. Essa contribuisce a ridurre le emissioni di gas serra in modo efficiente in termini di costi e quindi a ridurre i cambiamenti climatici. Il passaggio a un'economia più efficiente sotto il profilo energetico dovrebbe inoltre accelerare la diffusione di soluzioni tecnologiche innovative e migliorare la competitività dell'industria dell'Unione, rilanciando la crescita economica e la creazione di posti di lavoro di qualità elevata in diversi settori connessi con l'efficienza energetica.

...omiss...

Viene adottata la presente direttiva:

**Capo 1 - Art 1 - Oggetto e ambito di applicazione.** “La presente direttiva stabilisce un quadro comune di misure per la promozione dell'efficienza energetica nell'Unione al fine di garantire il conseguimento dell'obiettivo principale dell'Unione relativo all'efficienza energetica del 20 % entro il 2020 e di gettare le basi per ulteriori miglioramenti dell'efficienza energetica al di là di tale data. Essa stabilisce norme atte a rimuovere gli ostacoli sul mercato dell'energia e a superare le carenze del mercato che frenano l'efficienza nella fornitura e nell'uso dell'energia e prevede la fissazione di obiettivi nazionali indicativi in materia di efficienza energetica per il 2020.”

**Art 2 – Definizioni - Comma 1.** “Energia: tutte le forme di prodotti energetici, combustibili, energia termica, energia rinnovabile, energia elettrica o qualsiasi altra forma di energia ... omiss...”

## ***2.8 DIRETTIVA 2018/850/UE***

La direttiva 1999/31/CE modifica la DIRETTIVA 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti. In particolare, le modifiche apportate sono le seguenti:

1. All'articolo 1, il paragrafo 1 è sostituito dal seguente: «Per sostenere la transizione dell'Unione verso un'economia circolare e adempiere i requisiti della direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, in

particolare degli articoli 4 e 12, lo scopo della presente direttiva è di garantire una progressiva riduzione del collocamento in discarica dei rifiuti, in particolare quelli idonei al riciclaggio o al recupero di altro tipo, e prevedere, mediante rigidi requisiti operativi e tecnici per i rifiuti e le discariche, misure, procedure e orientamenti volti a prevenire o a ridurre il più possibile le ripercussioni negative sull'ambiente, in particolare l'inquinamento delle acque superficiali, delle acque di falda, del suolo e dell'aria, e sull'ambiente globale, compreso l'effetto serra, nonché i rischi per la salute umana risultanti dalle discariche di rifiuti, durante l'intero ciclo di vita della discarica.

2. Viene inserito il paragrafo seguente: «3 bis. Gli Stati membri si adoperano per garantire che, entro il 2030, tutti i rifiuti idonei al riciclaggio o al recupero di altro tipo, in particolare i rifiuti urbani, non siano ammessi in discarica, a eccezione dei rifiuti per i quali il collocamento in discarica produca il miglior risultato ambientale conformemente all'articolo 4 della direttiva 2008/98/CE.»

In Italia è il D.lgs.121/2020 (che agisce novellando il D.lgs.36/03) a recepire la Direttiva 2018/850 in materia di discariche di rifiuti.

## ***2.9 DIRETTIVA 2018/2001/UE - ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI***

La Direttiva (UE) 2018/2001 è stata recepita in Italia con il Decreto Legislativo 8 novembre 2021, n.199. Tale direttiva promuove l'uso dell'energia da fonti rinnovabili; i punti fondamentali sono i seguenti:

**Art 1 – Oggetto.** “La presente direttiva stabilisce un quadro comune per la promozione dell'energia da fonti rinnovabili. Essa fissa un obiettivo vincolante dell'Unione per la quota complessiva di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia dell'Unione nel 2030. Detta anche norme relative al sostegno finanziario per l'energia elettrica da fonti rinnovabili, all'autoconsumo di tale energia elettrica, all'uso di energia da fonti rinnovabili nel settore del riscaldamento e raffrescamento e nel settore dei trasporti, alla cooperazione regionale tra gli Stati membri e tra gli Stati membri e i paesi terzi, alle garanzie di origine, alle procedure amministrative e all'informazione e alla formazione. Fissa altresì criteri di sostenibilità e di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra per i biocarburanti, i bioliquidi e i combustibili da biomassa.”

**Art 2 – Definizioni.** “Viene definita «energia da fonti rinnovabili» oppure «energia rinnovabile»: energia proveniente da fonti rinnovabili non fossili, vale a dire energia eolica, solare (solare termico e fotovoltaico) e geotermica, energia dell'ambiente, energia mareomotrice, del moto ondoso e altre forme di energia marina, energia idraulica, **biomassa, gas di discarica**, gas residuati dai processi di depurazione e biogas.”

## ***2.10 REGOLAMENTO 2018/1999/UE - AZIONE PER IL CLIMA.***

Il Regolamento (UE) 2018/1999 è stato recentemente modificato dalla cd. "Legge europea sul clima", ovvero dal Regolamento 2021/1119/UE.

Il Regolamento (UE) 2018/1999 reca istituti e procedure per conseguire gli obiettivi dell'Unione per il 2030 in materia di energia e di clima, delineando cinque punti fondamentali dell'Unione dell'energia:

- a) sicurezza energetica;
- b) mercato interno dell'energia;
- c) efficienza energetica;
- d) decarbonizzazione;
- e) ricerca, innovazione e competitività.

Il meccanismo di governance delineato nel Regolamento è essenzialmente basato sulle Strategie nazionali a lungo termine per la riduzione dei gas ad effetto serra, e, principalmente, sui *Piani nazionali integrati per l'energia e il clima - PNIEC* che coprono periodi di dieci anni a partire dal decennio 2021-2030, nonché sulle corrispondenti relazioni intermedie, trasmesse dagli Stati membri, e sulle modalità integrate di monitoraggio della Commissione circa il raggiungimento dei target cui tutti gli Stati membri concorrono secondo le modalità indicate nei rispettivi documenti programmatici.

Il primo PNIEC, che copre il periodo 2021-2030, è stato presentato dall'Italia alle istituzioni europee a fine dicembre 2019.

**Art 1 - Oggetto e ambito di applicazione.** “Il presente regolamento istituisce un meccanismo di governance per:

- a) attuare strategie e misure volte a conseguire gli obiettivi e traguardi dell'Unione dell'energia e gli obiettivi a lungo termine dell'Unione relativi alle emissioni dei gas a effetto serra conformemente all'accordo di Parigi, e in particolare, per il primo decennio compreso tra il 2021 e il 2030, i traguardi dell'Unione per il 2030 in materia di energia e di clima;
- b) incoraggiare la cooperazione tra gli Stati membri, anche, se del caso, a livello regionale, al fine di conseguire gli obiettivi e i traguardi dell'Unione dell'energia;
- c) assicurare la tempestività, la trasparenza, l'accuratezza, la coerenza, la comparabilità e la completezza delle informazioni comunicate dall'Unione e dagli Stati membri al segretariato della convenzione UNFCC e dell'accordo di Parigi;

...omiss...

Il meccanismo di governance è basato sulle strategie a lungo termine, sui piani nazionali integrati per l'energia e il clima che coprono periodi di dieci anni a partire dal decennio 2021-2030, sulle corrispondenti relazioni intermedie nazionali integrate sull'energia e il clima trasmesse dagli Stati membri e sulle modalità integrate di monitoraggio della Commissione. Il meccanismo di

governance garantisce al pubblico effettive opportunità di partecipare alla preparazione di tali piani nazionali e di tali strategie a lungo termine. Esso comprende un processo strutturato, trasparente e iterativo tra la Commissione e gli Stati membri volto alla messa a punto e alla successiva attuazione dei piani nazionali integrati per l'energia e il clima, anche per quanto riguarda la cooperazione regionale, e la corrispondente azione della Commissione.”

### ***2.11 DECISIONE (UE) 2018/1147***

Stabilisce le conclusioni sulle migliori tecniche disponibili (BAT) per il trattamento dei rifiuti ai sensi della direttiva 2010/75/UE del Parlamento europeo e del Consiglio.

## CAPITOLO TERZO

### INQUADRAMENTO DEL SITO

#### *3.1 LA DISCARICA DI MONTESCHIANTELLO*

La sperimentazione del primo prototipo di GAS STABILIZER è avvenuta presso la Discarica di Monteschiantello in Fano (PU) sotto gestione della società ASET S.P.A.

La Discarica di Monteschiantello, ai sensi del D.Lgs. 36/2003, è classificata come “Discarica per rifiuti non pericolosi”, riceve quindi rifiuti urbani e rifiuti speciali classificati come non pericolosi.

I **rifiuti urbani** sono i rifiuti domestici derivanti da luoghi adibiti ad abitazioni civili; i **rifiuti speciali**, sono quelli derivanti da ogni tipologia di attività produttiva, ad esempio i rifiuti derivanti da attività sanitarie, i fanghi derivanti da trattamenti di depurazione delle acque reflue, i materiali derivanti dalle attività di demolizione, costruzione.

L'impianto prende il nome dal sito in cui è stato realizzato: si tratta di una vallecola nascosta posta in zona rurale ai confini del Comune di Fano, utilizzata in passato come cava di argilla per la produzione di laterizi.

Il sito risulta ottimale per l'inserimento di un impianto di questo tipo, specie dal punto di vista geologico; la Discarica è infatti situata all'interno di una

formazione pliocenica costituita da una successione di argille marnose, caratterizzate da una bassissima permeabilità idraulica e da assenza di falda acquifera.

L'impianto si estende su una superficie di 25 ettari; il primo lotto (denominato Bacino 1) è stato aperto nel 1978 nella porzione più alta della valle ed è stato



*FIGURA 2 - VISUALE AEREA DELLA DISCARICA DI MONTESCHIANTELLO – FONTE:  
[HTTPS://WWW.ASETSERVIZI.IT/SERVIZI-AMBIENTALI/SERVIZI/DISCARICA/DISCARICA-CONTROLLATA-PER-RIFIUTI-NON-PERICOLOSI/](https://www.aset.servizi.it/servizi-ambientali/servizi/discardica/discardica-controllata-per-rifiuti-non-pericolosi/)*

utilizzato fino al 1995, con uno deposito di circa 1.500.000 tonnellate di rifiuti.

Detta area oggi è stata completamente sigillata ed inerbita, restituendola così all'ambiente naturale.

Nel 1996 è stato aperto un nuovo lotto (Bacino 2), a valle del precedente, nel quale sono state messe a dimora ad oggi circa 1.500.000 tonnellate di rifiuti.

Il Bacino 2 è suddiviso in zone; nello specifico la zona 1 ha operato fino a tutto il 2008 (son state messe a dimora circa 730.000 tonnellate di rifiuti) e, dopo una fase di copertura provvisoria con teli impermeabili necessaria a far maturare i previsti assestamenti, è stato riaperto nel 2014, per completarne la volumetria disponibile mediante nuovi abbancamenti. Questi sono stati effettuati solo su una porzione della Zona 1, raggiungendo su questa parte le quote finali di progetto.

Occorrerà successivamente continuare l'abbancamento nella relativa zona per completare la volumetria prevista per la Zona 1 e poter poi così procedere, una volta terminati i normali assestamenti, alla sigillatura definitiva (*capping*) e al ripristino ambientale di quest'area.

Questa fase del lavoro sul Bacino 2 - Zona 1 è attualmente sospesa a seguito delle scelte organizzative e gestionali effettuate con riferimento alla ottimizzazione dell'operatività all'interno dell'impianto.

Sempre all'interno del perimetro dell'impianto dal 2009 è operativo il terzo lotto (Bacino 2 – Zone 2-5), della capacità totale di circa 930.000 mc, che costituisce il completamento delle possibilità geometriche di abbancamento

nell'area. Questo lotto è già stato – in minima parte – utilizzato dal 2009 al 2014 per la messa a dimora di circa 100.000 mc di rifiuti: la sua coltivazione è stata ripresa a seguito della sospensione del ricarico sul Bacino 2 – zona 1.

Agli attuali ritmi di conferimento, grazie alle alte percentuali di raccolta differenziata raggiunte nei Comuni soci, si prevede la possibilità di abbancare rifiuti in Discarica, secondo i profili autorizzati, fino al 2025 - 2026.

Si stima che la discarica, così per come è ad oggi autorizzata, abbia un volume abbancabile ancora disponibile di 273.700 mc, corrispondente a circa 302.000 t. Il Piano Provinciale dei Rifiuti assegna alla Discarica di Fano l'ambito di smaltimento dei rifiuti urbani prodotti dai Comuni di Fano, S. Costanzo, Mondolfo, Cartoceto, Fossombrone, Mondavio, Pergola, Sant'Ippolito, Isola del Piano, Montefelcino, San Lorenzo in C., Colli al Metauro, Terre Roveresche e Monte Porzio.

Mediamente vengono conferite circa 55.000 tonnellate/anno di rifiuti, di cui il 65% di provenienza urbana e 35% di rifiuti speciali, mentre quotidianamente si ha un conferimento medio di circa 170 tonnellate/giorno.

### ***3.2 LA DISCARICA – DESCRIZIONE FUNZIONALE***

Le discariche prevedono uno stoccaggio definitivo dei rifiuti mediante interrimento, in siti idonei e controllati. La messa a dimora dei rifiuti avviene

per strati sovrapposti adeguatamente costipati, allo scopo di facilitare la fermentazione della materia organica.

Si sottolinea che, come definito dalla circolare del Ministero dell'Ambiente del 6 agosto 2013, prima del conferimento in discarica il rifiuto deve subire un trattamento allo scopo di stabilizzare la frazione organica fermentescibile del rifiuto, minimizzando così molte delle criticità che si hanno nel successivo conferimento in discarica (produzione di biogas e percolato). Il trattamento meccanico biologico, noto come biostabilizzazione, porta alla produzione di FOS (Frazione Organica Stabilizzata) un prodotto stabile dal punto di vista biologico, attraverso un processo di bioossidazione della sostanza organica.

Il rifiuto così stabilizzato può essere conferito in discarica e la sostanza organica residua subirà i processi di decomposizione ad opera dei batteri anaerobici; con produzione di percolato e biogas.

Il **percolato** è il liquido derivante principalmente dalla percolazione di acqua piovana (e in minima parte biogenica derivante dalla biodegradazione del rifiuto) attraverso l'ammasso di rifiuti abbancati e conseguente lisciviazione dei componenti solubili.

Il **biogas** è una miscela di gas composta principalmente da anidride carbonica e metano, prodotta dalla fermentazione dei rifiuti.

## CAPITOLO QUARTO

### IL BIOGAS

#### 4.1 IL FENOMENO PRODUTTIVO DEL BIOGAS

Vengono descritti i principali fenomeni che concorrono al processo di biogassificazione dei rifiuti, nonché i principali fattori che influenzano qualità e quantità del biogas prodotto.

La decomposizione della componente organica dei rifiuti avviene attraverso diversi processi che presentano spesso aspetti vari e complessi. Si tratta principalmente di processi fisici, chimici e biologici che agiscono in contemporanea:

- la DEGRADAZIONE FISICA comporta la modifica delle caratteristiche fisiche del rifiuto stesso come la riduzione di volume e la precipitazione, il rilascio e l'assorbimento di sostanze;
- la DEGRADAZIONE CHIMICA comporta l'attivazione di reazioni tra le diverse sostanze componenti il rifiuto; ad esempio, sono significative nella qualità dei percolati (variazione del PH, del potenziale redox, della solubilità);
- la DEGRADAZIONE BIOLOGICA processo di trasformazione della materia del rifiuto grazie alla presenza naturale di diverse classi di batteri. il

processo è molto complesso perché segue diverse fasi in sequenza o in parallelo e porta alla produzione di diversi prodotti.

Degradazione biologica:

**Stadio 1. Idrolisi e degradazione aerobica.** La presenza di ossigeno è assicurata all'inizio, quando i rifiuti vengono movimentati e disposti in discarica. Il calore generato dalla biodegradazione (il processo è esotermico) può portare la temperatura dei rifiuti fino a 70-90°C.

I principali prodotti della biodegradazione in questa fase sono anidride carbonica e acqua. L'anidride carbonica può essere anche disciolta nel percolato (in forma di acido carbonico), dando a questa caratteristica di acidità.

**Stadio 2. Idrolisi e fermentazione acida (digestione anaerobica).** Quando l'ossigeno inizia ad essere carente si instaurano condizioni non aerobiche e i batteri anaerobi diventano quindi dominanti. In questa fase carboidrati, lipidi e proteine vengono idrolizzati in molecole più semplici. In questo stadio la temperatura scende tra i 30 e 50 °. I monomeri vengono poi trasformati dai batteri fermentativi, in acidi organici. Il percolato in questa fase è caratterizzato da un alto contenuto acidi organici che rendono il PH acido, fino ad un valore di 4. La composizione del biogas può arrivare ad 80% in CO<sub>2</sub> e 20% H<sub>2</sub>.

**Stadio 3. Acetogenesi.** Gli acidi organici prodotti nello stadio due in condizione anaerobiche, vengono convertiti dai batteri acetogenici in acido acetico con formazione di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>. Il percolato in questa fase sarà acido. Le condizioni acide di questo stadio aumentano la solubilità dei metalli e quindi ne aumentano la concentrazione nel percolato. Il biogas è ancora troppo ricco di CO<sub>2</sub>. In questo stadio avviene anche la formazione di acido solfidrico (uno dei maggiori responsabili dell'impatto odorigeno).

Quindi in questa fase il percolato risulta acido e ricco di metalli; il biogas non è ancora valorizzabile perché contiene molta CO<sub>2</sub>.

**Stadio 4. Fase metanigena anaerobica.** È lo stadio finale della decomposizione dei rifiuti organici, caratterizzato dalla maggior produzione di biogas. In questa fase i microrganismi convertono gli acidi organici (acido acetico) prodotti nello stadio 3 in metano, anidride carbonica e in altri microcomponenti. In questa fase il biogas raggiunge percentuali di CH<sub>4</sub> intorno al 60%. La temperatura ottimale per questa fase è nel range tra i 30 e i 45 °. Il pH del percolato aumenta fino a valore di 7-8 a causa della degradazione degli acidi organici.

La fase metanigena si instaura dopo un periodo che varia tra i 3-6 e i 9-12 mesi dall'abbancamento del rifiuto in discarica. Una volta avviata questa fase, la produzione di biogas si mostra per parecchi anni (oltre 30 anni), secondo un

andamento che evidenzia la massima produzione nei primi anni e un progressivo esaurimento asintotico fino alla completa degradazione della sostanza organica o fino a quando esistono le condizioni ambientali idonee al processo.

Quella appena descritta è la fenomenologia tipica di produzione del biogas, in una discarica la differenziazione dei fenomeni è molto complessa in quanto intervengono numerose variabili connesse alle caratteristiche dei rifiuti (composizione del rifiuto, pezzatura, densità, umidità) sia variabili ambientali (temperatura, barometria, precipitazioni, ventosità). Di seguito vengono brevemente descritti questi fattori influenzanti la produzione di biogas.

- **Composizione del rifiuto:** una massiccia presenza di sostanza organica comporterà un'alta produttività, mentre la presenza di materiale inerte o di sostanze chimiche inibitrici la limiterà fortemente.
- **Pezzatura:** la riduzione della pezzatura aumenta sensibilmente la superficie reattiva e di conseguenza il processo di idrolisi, con effetti rilevanti sul tasso di produzione del biogas.
- **Densità:** in rifiuti secchi, si è riscontrato un aumento della produzione di biogas all'aumentare della densità (*Rees J.F. – 1981- Major affecting methane production in landfills*). Si è visto che, in seguito alla compattazione dei rifiuti effettuata dopo il deposito degli stessi, si ha un

aumento della densità a cui si può associare un fenomeno di “spremitura” di parte dell'acqua trattenuta sotto forma di umidità che tende a saturare la massa dei rifiuti. Questo porta ad un aumento della produzione di biogas. Occorre però considerare che l'incremento di densità ostacola la trasmissività del biogas; in pratica il biogas si sposta con maggiore difficoltà e la captazione forzata è meno efficace. La densità ideale deve quindi essere compresa tra 0,5 e 1,5 t/m<sup>3</sup>.

- **Umidità:** la funzione dell'umidità nel processo di metanogenesi è triplice: consente l'attività dei microrganismi, crea un'interfaccia solido-liquido e favorisce la diffusione nell'ammasso di rifiuti dei microrganismi e dei nutrienti.

Numerose esperienze, di laboratorio e sul campo, hanno mostrato un aumento consistente della produzione di biogas all'aumentare dell'umidità; è stato altresì riscontrato, che una volta stabilizzata la diffusione e l'interfaccia solido liquido, l'umidità aggiuntiva non ha effetti rilevanti sulla metanogenesi.

L'umidità dell'ammasso dei rifiuti varia in funzione di numerosi fattori: umidità del rifiuto al momento dello smaltimento, percolazione di acque meteoriche, afflusso di acque sotterranee, temperatura atmosferica, irraggiamento solare, ventosità della zona, presenza e tipo di

vegetazione, modalità di impermeabilizzazione delle pareti della discarica e del fondo.

- **Variabili ambientali:** i fattori ambientali influenzanti la produzione del biogas sono la temperatura, l'umidità relativa dell'aria, le precipitazioni, la ventosità e l'irraggiamento solare. In numerosi studi si è visto che con un aumento della temperatura e dell'umidità, con abbondanti precipitazioni, sia una produzione di biogas più rapida e concentrata nel tempo (*“Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge”*. – Valerio Paolini, Francesco Petracchini, Marco Segreto, Laura Tomassetti, Nour Naja & Angelo Cecinato).

#### 4.2 CARATTERISTICHE CHIMICHE DEL BIOGAS

I gas macrocomponenti caratteristici del biogas sono il **metano** (CH<sub>4</sub>) e l'**anidride carbonica** (CO<sub>2</sub>). In proporzione dell'incidenza della fase aerobica oppure dell'intrusione di aria atmosferica nel corso della captazione forzata che avviene in discarica, è possibile la presenza di aria nella miscela e pertanto tra i macrocomponenti del biogas è corretto considerare anche l'**ossigeno** (O<sub>2</sub>) e l'**azoto** (N<sub>2</sub>). L'**acqua** allo stato di vapore è quasi costante.

Componenti minori (si misurano in genere in ppm o mg/m<sup>3</sup>) sono l'**acido solfidrico** (H<sub>2</sub>S) e l'**ammoniaca** (NH<sub>3</sub>) che hanno ben distinte caratteristiche

odorigene e sono la causa principale dell'impatto olfattivo notoriamente attribuito alle discariche.

Le percentuali dei singoli gas nella miscela che costituisce il biogas, sono fortemente dipendenti dalla tipologia dei rifiuti conferiti, dalle modalità di gestione dell'impianto e dell'età della deposizione. Per praticità e per il confronto dei dati, nella gestione di una discarica si fa sempre riferimento ad un biogas con un tenore di metano del 50% (**LFG<sub>50</sub> - LandFillGas**).<sup>1</sup>

Si riportano i PARAMETRI STANDARD A CARATTERIZZAZIONE DEL BIOGAS 'TIPICO' definiti dalla letteratura tecnica:

<b>PARAMETRI STANDARD BIOGAS</b>	<b>U.M.</b>	<b>VALORE STANDARD</b>
Unità di misura volumetrica <sup>2</sup>	Nm <sup>3</sup>	
Composizione		
Metano CH <sub>4</sub>	<b>% vol</b>	<b>50</b>
Anidride carbonica CO <sub>2</sub>	% vol	35
Ossigeno O <sub>2</sub>	% vol	3
Azoto N <sub>2</sub>	% vol	12
Microcomponenti		tracce
Potere Calorifico (proporzionale alla concentrazione del metano)	kWh	4,79
Limiti infiammabilità in aria		
Inferiore (LIE o LEL)	% in aria	5

<sup>1</sup> La qualità del biogas da discarica viene sempre standardizzata alla concentrazione di metano di riferimento ovvero al 50%.

<sup>2</sup> La portata di un gas è suscettibile alle variazioni di temperatura e pressione e pertanto dovrebbe essere normalizzata. Il Normal metro cubo è un'unità di misura impiegata per misurare la quantità di gas a condizioni normalizzate. Per definizione è la quantità di gas necessaria ad occupare 1 m<sup>3</sup> di volume a 0 °C di temperatura e 1013 mbar assoluti di pressione (pressione sul livello del mare).

Superiore (LSE o UEL)	% in aria	15
Densità		
assoluta	Kg/Nm <sup>3</sup>	1,4
relativa rispetto all'aria	Kg/Nm <sup>3</sup>	0,96
Temperatura	°C	40
Pressione		
assoluta	hPa	1013 (livello mare)
relativa	hPa	0
Umidità	% ur	100

TABELLA 1 – COMPOSIZIONE STANDARD BIOGAS

Nel biogas sono presenti (in tracce) anche numerosi microcomponenti tra cui: VOC, IPA, idrocarburi non metanici che si generano anch'essi dalle reazioni biochimiche che avvengono all'interno del corpo rifiuti o che provengono direttamente dalle sostanze di sintesi contenute nei rifiuti stessi. Alcuni di questi gas sono tossici e pertanto vanno adeguatamente monitorati, sia per la salvaguardia del personale che opera nell'impianto, sia per il loro impatto ambientale e sanitario.

#### 4.3 CARATTERISTICHE DI COMBUSTIONE

I gas combustibili presenti nella miscela di biogas sono:

- Metano
- Idrogeno
- Idrogeno solforato
- Ammoniaca

- Monossido di carbonio

Ad eccezione del metano raramente gli altri composti possono essere influenti in un fenomeno di combustione data la loro limitata concentrazione chimica, per tale motivazione **si tende ad assumere solo metano quale combustibile caratteristico del biogas. Il potere calorifico del gas è proporzionale alla concentrazione del metano.**<sup>3</sup>

Il comburente per eccellenza è l'ossigeno presente nell'aria. Affinché la combustione avvenga deve però esserci una precisa proporzione tra i gas nella miscela. Tale rapporto è definito dal cosiddetto “campo di infiammabilità”.

Assumendo il solo metano come gas combustibile, il “campo di infiammabilità” del metano in aria è pertanto compreso tra il 5 ed il 15%. In particolare, si ha:

- un limite inferiore (c.d. di esplosività o LEL) pari al 5%;
- ed un limite superiore di esplosività (UEL) pari al 15%

Pertanto, a concentrazioni di metano inferiori al 5% non avviene la combustione in quanto non si ha sufficiente combustibile, mentre concentrazioni superiori al 15% non si ha sufficiente comburente.

---

<sup>3</sup> Il potere calorifico è l'energia sviluppata dalla combustione completa dell'unità di massa o di volume di una sostanza combustibile (MJ/Kg o MJ/Nm<sup>3</sup>).

Per effetto delle diluizioni del biogas (con alte % di metano) si avranno sempre delle zone in cui si rientra nel campo di infiammabilità, occorre quindi fare molta attenzione, specie dove può crearsi un accumulo di biogas (in spazi confinati) dove al rischio incendio si aggiunge il rischio di esplosione.

#### **4.4 LE PROBLEMATICHE CAUSATE DAL BIOGAS**

Si riporta di seguito un elenco indicativo delle principali problematiche causate dal biogas.

**Rischio incendi ed esplosioni:** come descritto in precedenza, il biogas ha caratteristiche di infiammabilità ed esplosività dovute alla presenza di composti infiammabili quali il metano. Questi composti se miscelati ad un'adeguata concentrazione con aria (comburente), possono dar luogo a combustioni in presenza di un innesco. Si citano alcuni eventi d'incendio in discarica (fonte *ANSA*), avvenuti sul territorio italiano nel corso di alcuni mesi del 2021, anno segnato dalla pandemia da Covid 19:

- 24 settembre 2021 – Discarica di Genzano di Lucania (PZ)
- 14 agosto 2021 – Discarica di Castelceriolo (AL)
- 4 agosto 2021 – Discarica di Borgo La Martella di Matera (MT)
- 17 maggio 2021 - Discarica Ischia Frizzi di Vadena (BZ)

Il fenomeno di combustione in ambienti chiusi può sviluppare inoltre delle esplosioni con danni fisici importanti sulle superfici di contenimento della discarica. La potenziale esplosività del biogas può essere anche causa di instabilità del corpo di discarica e quindi originare frane con gravi danni alle persone e cose (es. caso di Istanbul nel 2004 dove una frana di rifiuti ha causato 25 decessi).

La riduzione di tali rischi si attua attraverso la prevenzione: in particolare è richiesta la presenza di un sistema di captazione efficiente per evitare le sovrappressioni di biogas all'interno del corpo rifiuti e ridurre quindi il rischio.

**Impatti olfattivi:** alcuni microcomponenti presenti nel biogas (acido solfidrico, ammoniaca, putrescina) sono la causa di odori poco gradevoli che possono costituire una sensazione di fastidio se percepiti continuamente dalla popolazione limitrofa alla discarica.

Il flusso di biogas dal corpo rifiuti verso la superficie della discarica (che si genera a causa della sovrappressione all'interno del corpo rifiuti stesso) trascina i microcomponenti olfattivamente percepibili e li diffonde in atmosfera. il biogas, quindi, è da identificarsi spesso come elemento “**vettore**” di odori.

Si comprende quindi quanto è importante l'azione di captazione forzata del biogas dal corpo rifiuti: la presenza di una depressione nella massa dei rifiuti

riduce drasticamente l'azione di vettorizzazione degli odori verso l'esterno, con riduzione dell'impatto odorigeno ma anche ambientale.

**Emissioni in atmosfera di gas clima alteranti (*GreenHouse Gas – GHG*):** il

biogas è una miscela costituita prevalentemente da metano ed anidride carbonica. L'anidride carbonica è uno dei principali gas serra presenti nell'atmosfera terrestre; anche il metano è un gas serra presente in atmosfera in concentrazioni molto inferiori a quelli dell'anidride carbonica ma con un potenziale di riscaldamento globale (*Global Warming Potential – GWP*) ben 27,9 volte superiore rispetto a quello della CO<sub>2</sub> su un orizzonte temporale di 100 anni ed 81,2 volte maggiore di quello della CO<sub>2</sub> su un orizzonte temporale di 20 anni, così come riportato nel sesto ed ultimo rapporto di valutazione dell'IPPC pubblicato il 9 agosto 2021 e denominato *AR6*. Questo rapporto mette in evidenza come il metano sia un gas climalterante dannoso, in special modo nel 'breve periodo' (i primi 20 anni) di emissione e permanenza in atmosfera. Le emissioni diffuse di biogas in atmosfera giocano quindi un ruolo nel surriscaldamento globale andando ad intensificare l'effetto serra.

Definite queste problematiche, risulta chiaro che la presenza di un efficiente sistema di captazione del biogas, evitando sovrappressioni nel corpo rifiuti ed emissioni incontrollate dallo stesso, è fondamentale per ridurre i rischi e l'impatto sull'uomo e sull'ambiente.

## CAPITOLO QUINTO

### MODALITA' DI GESTIONE DELLA DISCARICA

I prodotti della biodegradazione, percolato e biogas, rappresentano il principale problema connesso alla gestione di una Discarica, per effetto dei rischi che essi comportano.

Come definito nel paragrafo precedente, i consistenti volumi di biogas generati all'interno di ambiti limitati (massa dei rifiuti compattati) possono dare luogo a sovrappressioni consistenti, pericolose per il rischio di incendi ed esplosione. Inoltre, i flussi di biogas che si generano all'interno della massa dei rifiuti e che si muovono verso la superficie della discarica diffondendosi in atmosfera, vanno ad intensificare l'effetto serra.

Il percolato è un refluco con un tenore più o meno elevato di inquinanti organici e inorganici (es. metalli) ed una sua incontrollata dispersione al di fuori del perimetro di impianto può determinare l'inquinamento della matrici ambientali.

I criteri di costruzione di una discarica controllata devono dunque garantire la **limitazione del flusso degli inquinanti verso l'ambiente esterno**, tramite la realizzazione di barriere di impermeabilizzazione, sistemi di drenaggio del percolato e di captazione del biogas.

## ***5.1 GESTIONE DEL PERCOLATO***

Le caratteristiche qualitative e quantitative del percolato da Discarica dipendono da molteplici fattori, alcuni dei quali peraltro difficilmente controllabili (meteorologia, idrogeologia del sito, composizione, tipologia ed età del rifiuto, ecc.).

Dal punto di vista quantitativo, la produzione di percolato è attribuibile in larga parte ad apporti esterni (infiltrazione di acque meteoriche, superficiali e/o di falda) ed in frazione residuale ad apporti/consumi interni (umidità del rifiuto conferito e bilanci idrici connessi alle reazioni biochimiche nel corpo rifiuti).

Dal punto di vista qualitativo, è difficile stabilire una “composizione-tipo” per il percolato da Discarica, essendo questa influenzata – come per l’aspetto quantitativo - da una molteplicità di fattori che influenzano specificatamente il processo di degradazione biologica del rifiuto e, di conseguenza, anche il passaggio degli inquinanti da questo al liquido lisciviante.

Insieme al biogas, il percolato rappresenta il principale problema connesso alla gestione di una Discarica, per effetto dei rischi ambientali che esso comporta e dei danni che è potenzialmente in grado di produrre una sua incontrollata dispersione al di fuori del perimetro di impianto. Ne deriva che la gestione di una Discarica sarà incentrata alla minimizzazione della produzione del

percolato stesso, alla sua raccolta ed eventuale trattamento fino allo smaltimento finale.

In discarica, le vasche in cui vengono stoccati i rifiuti sono munite di sistemi di impermeabilizzazione e protezione del fondo e delle sponde, costituiti da uno strato di argilla compattata, geomembrane impermeabili e geotessuti di protezione.

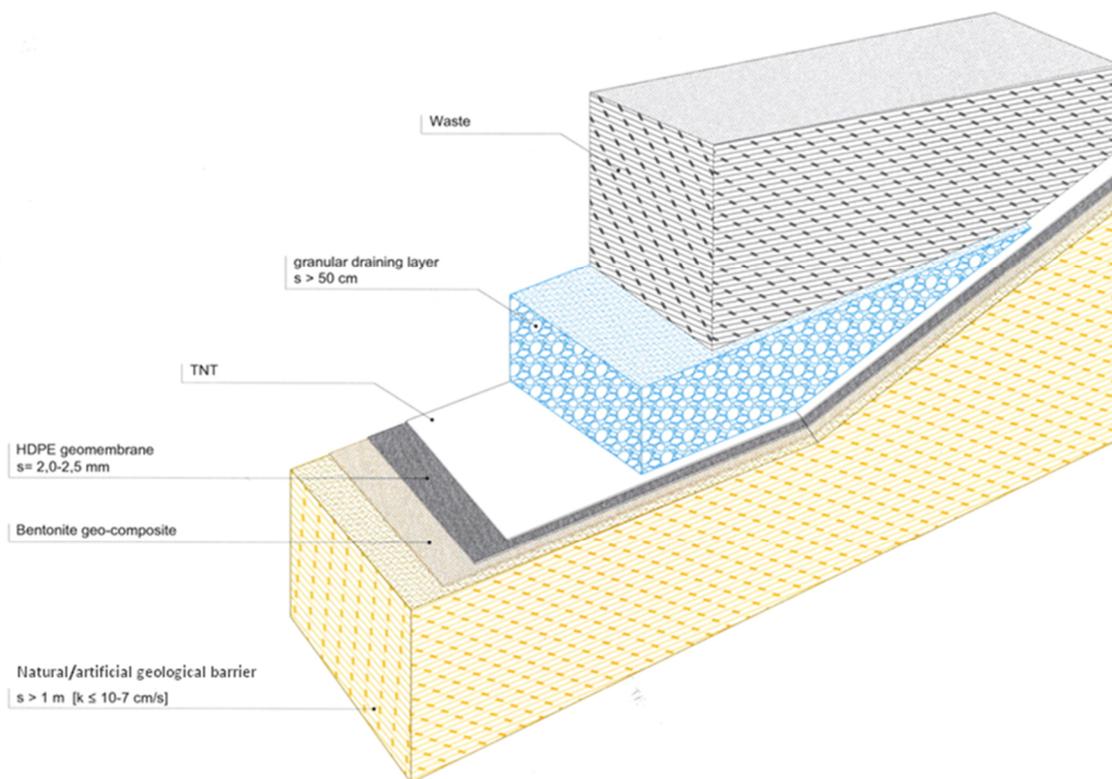


FIGURA 3 - ESEMPIO DI BARRIERA IMPERMEABILIZZANTE DI FONDA/ SPONDA. FONTE: "SMARTENVI PROJECT - SMART DECISION TOOLS FOR REDUCING HAZARDS TO OUR ENVIRONMENT AND WATER RESOURCES BY REHABILITATING OPEN DUMPS" – ASET SPA

Una fitta rete di tubazioni e adeguati spessori di ghiaia garantiscono invece il drenaggio del percolato.

Questo viene raccolto a valle della Discarica di Monteschiannello in un bacino di fondo con sistema di pompaggio, da qui viene inviato ad una vasca di lagunaggio ed equalizzazione, quindi inviato allo scarico in fognatura dedicata che collega la Discarica di Monteschiannello con il depuratore di ASET.

Il sistema di pompaggio dal bacino di fondo avviene tramite tre pompe di cui una in funzione e le altre due di scorta. L'alimentazione a gasolio evita problemi in caso di blackout della rete elettrica. Il bacino di fondo, così come quello di rilancio in fognatura vengono sempre mantenuti ad un livello abbastanza basso in maniera da avere un'elevata capacità di ricezione del percolato durante le precipitazioni.

## ***5.2 GESTIONE DEL BIOGAS***

Come specificato in precedenza è fondamentale la presenza di un efficiente sistema di captazione del biogas per ridurre i rischi e l'impatto sull'uomo e sull'ambiente.

Uno dei fattori che ricoprono un'importanza fondamentale nella captazione, è la pressione di captazione. La **pressione di captazione** è rappresentata dall'azione gestionale che impone all'ammasso di rifiuti un gradiente di pressione negativo (depressione) idoneo a convogliare il biogas prodotto verso specifiche dotazioni di trattamento.

La pressione positiva all'interno dell'ammasso dei rifiuti è dovuta alla generazione costante di biogas. Se il biogas prodotto non viene intercettato ed estratto mediante i sistemi di captazione della discarica, esso tende a migrare attraverso vie preferenziali (a minor densità e maggior 'permeabilità') dell'ammasso dei rifiuti, fino a raggiungere la superficie per liberarsi in atmosfera.

La captazione del biogas deve dunque avvenire in modo tale da intercettare tutti i flussi mediante l'applicazione di una depressione al corpo discarica. La depressione viene generata da specifiche macchine aspiratrici ed è distribuita dal sistema di captazione (dreni, pozzi, linee di trasporto e stazioni di regolazione).

Maggiore è l'efficienza di recupero del biogas, minore sarà il rischio di incorrere in sovrappressioni interne al corpo discarica e minore sarà la diffusione incontrollata di biogas dalla superficie.

Presso la Discarica di Monteschiannello è presente ed attivo "un sistema di captazione e combustione del biogas con recupero energetico".

### **5.3 II SISTEMA DI CAPTAZIONE E TRASPORTO DEL BIOGAS**

L'attività di captazione del biogas consiste nella realizzazione e gestione di manufatti, posti a diretto contatto con i rifiuti, in grado di intercettare il gas appena prodotto dalla loro fermentazione.

Si riportano alcune considerazioni sullo stato dell'arte dei sistemi di captazione del biogas presenti nelle discariche italiane che sono autorizzate in AIA – Autorizzazione Integrata Ambientale, al ricevimento di rifiuti “biodegradabili” ovvero di rifiuti a componente/frazione/matrice organica; tali sistemi di captazione si compongono principalmente dei seguenti elementi (*Figura 4*):

- I **sistemi di captazione** presenti nel corpo discarica costituiti da elementi statici posti all'interno del corpo discarica - quali pozzi verticali di captazione, dreni di protezione meccanica di sponda, dreni infra-telo, drenaggi orizzontali interni all'ammasso dei rifiuti, trincee perimetrali, dreni corticali- collegati idraulicamente ai sistemi di captazione in superficie.
- Il **sistema di trasporto del biogas**, costituito dalle linee secondarie di trasporto del biogas che collegano il pozzo di captazione con la stazione di regolazione e dalle linee principali di trasporto del biogas che collegano le stazioni di regolazione alla centrale di estrazione;

- Le **stazioni di regolazione**, impianti collettori del biogas proveniente dalle linee secondarie di trasporto; in esse sono collocate le valvole che permettono di regolare manualmente la captazione del biogas;
- La **centrale di aspirazione** ovvero l'impianto in grado di generare forza motrice per l'aspirazione del biogas dal corpo discarica.

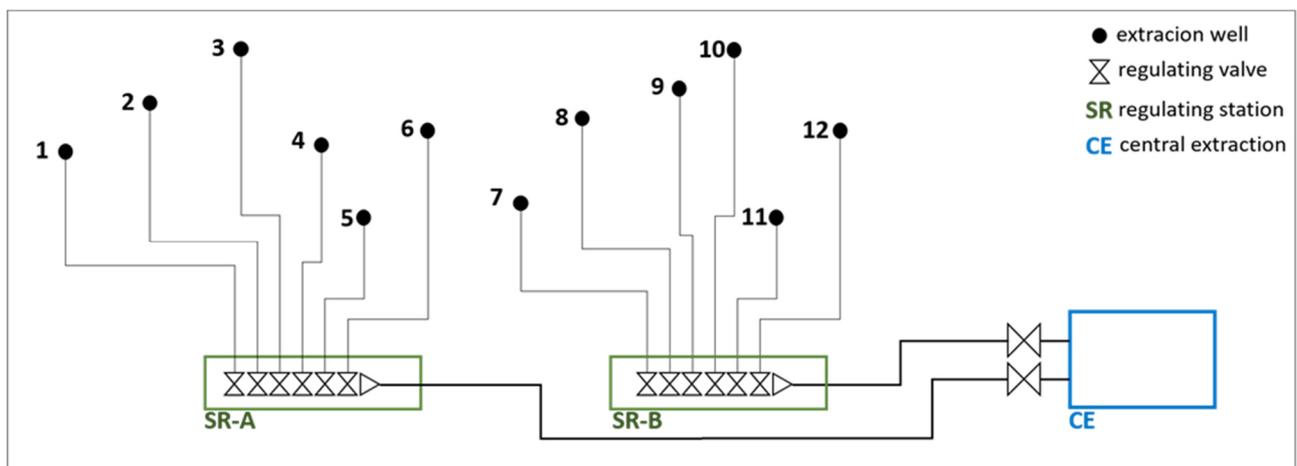


FIGURA 4 - SCHEMA TIPICO DI UN SISTEMA DI TRASPORTO DEL BIOGAS DI DISCARICA - FONTE: "BIOGAS DA DISCARICA" EPC LIBRI 2010, AUTORE: MAGNANO

### 5.3.1 I SISTEMI DI CAPTAZIONE NEL CORPO DISCARICA

Il primo elemento di captazione che si vuole descrivere è il **pozzo (o camino) verticale** il quale è costituito da una colonna circolare di inerti e da una sonda (tubo fessurato) posti all'interno del corpo discarica. La colonna di ghiaia garantisce la superficie di drenaggio del gas, mentre la sonda fessurata assicura la possibilità di allaccio in superficie alla rete di aspirazione e trasporto del biogas.

Il pozzo può essere predisposto in corso d'opera, sin dalla base della vasca che alloggerà i rifiuti (*Figura 5*): in tal caso la colonna di ghiaia sarà protetta da una gabbia metallica.



*FIGURA 5 - POZZO VERTICALE CON COLONNA DI INERTI E RETE METALLICA DI CONTENIMENTO – FONTE: “SMARTENVI PROJECT - SMART DECISION TOOLS FOR REDUCING HAZARDS TO OUR ENVIRONMENT AND WATER RESOURCES BY REHABILITATING OPEN DUMPS” – ASET SPA*

Con il procedere della coltivazione della discarica, la colonna di ghiaia e la sonda centrale verranno via via rialzate fino alle quote di lavoro.

Le parti metalliche nel tempo si degradano, ma senza arrecare danno, in quanto ormai sarà il corpo rifiuti stesso a contenere la colonna di ghiaia. La ghiaia (di pezzatura grossolana: 40/70) dovrà preferibilmente essere costituita da materiali silicei o basaltici (tipicamente viene utilizzato il *ballast*

basaltico delle massicciate ferroviarie), evitando l'utilizzo di rocce calcaree che tendono ad essere aggredite e disgregate dagli acidi contenuti nel percolato e nel gas di discarica. Per la sonda centrale in genere vengono utilizzati tubi in polietilene ad alta densità (HDPE), appositamente fessurati. I pozzi hanno generalmente diametri di 60/120 cm, mentre la sonda in polietilene ha diametro esterno di 20/60 cm.

I pozzi di captazione possono avere la duplice funzione di convogliare il biogas verso la testa di pozzo e di drenare i percolati verso il fondo della discarica.

In una discarica di rifiuti urbani speciali non pericolosi tra i quali sono ricompresi anche rifiuti "biodegradabili", il "raggio di influenza" di questi pozzi (distanza entro la quale il pozzo esercita la sua azione) è considerato di 25 m.

Nella Discarica di Monteschiantello sono operativi circa **140 pozzi di captazione del biogas.**

La parte sommitale del pozzo di captazione, detta comunemente "testa di pozzo", ha la funzione di collegare il manufatto alla rete di trasporto del biogas ed è qui che viene applicato il gradiente di pressione che consente l'estrazione del biogas dal corpo discarica. Senza questo elemento il gas prodotto nella discarica si disperderebbe in atmosfera, migrando per vie preferenziali

attraverso il corpo dei rifiuti, vanificando così gli sforzi fatti per realizzare i sistemi di captazione statici installati nel corpo di discarica

Le teste di pozzo vengono in genere realizzate mediante un manufatto a “campana” che racchiude tutta la parte sommitale della colonna drenante, generando una sorta di camera sulla quale possono essere collegati i tubi di aspirazione e di pompaggio del percolato.

In ogni caso, al fine di evitare che venga aspirata aria dalla superficie della discarica è fondamentale garantire una perfetta sigillatura tra il pozzo e la copertura della discarica stessa.

**I drenaggi sub orizzontali** fungono da ulteriori elementi di captazione all'interno del corpo della discarica (*Fig. 6*); essi vengono realizzati, a varie quote nell'ammasso di rifiuti abbancati, mediante lo scavo di semplici trincee poi riempite di ghiaia in cui si possono inserire anche delle tubazioni fessurate per incrementare la permeabilità ai fluidi e quindi per



*FIGURA 6 - DRENAGGI SUB-ORIZZONTALI – FONTE: “SMARTENVI PROJECT - SMART DECISION TOOLS FOR REDUCING HAZARDS TO OUR ENVIRONMENT AND WATER RESOURCES BY REHABILITATING OPEN DUMPS” – ASET SPA*

realizzare vie preferenziali di migrazione del flusso gassoso.

### **5.3.2 IL SISTEMA DI TRASPORTO DEL BIOGAS**

Il **Sistema di trasporto del biogas** è il sistema di tubazioni che congiunge i singoli elementi di captazione con la centrale di estrazione e trattamento del biogas. Nella discarica di Monteschiantello questo sistema è composto una fitta rete di tubi di captazione del gas (circa 23 km) che trasportano il biogas ad un impianto di cogenerazione che, bruciando il gas all'interno di un motore endotermico, aziona un alternatore per la produzione di energia elettrica (cogenerazione).

Come detto in precedenza, il sistema di trasporto del biogas può essere suddiviso in:

- **linee secondarie** che collegano i singoli pozzi di captazione con le Stazioni di Regolazione (*Figura 7*).
- **linee principali** che collegano le Stazioni di Regolazione con la Centrale di Estrazione.



*FIGURA 7 - LINEE SECONDARIE DI TRASPORTO DEL BIOGAS. IN PRIMO PIANO UNO SCARICATORE DI CONDENZA. SULLO SFONDO UNA STAZIONE DI REGOLAZIONE – DISCARICA DI MONTESCHIANTELLO. FONTE: "SMARTENVI PROJECT - SMART DECISION TOOLS FOR REDUCING HAZARDS TO OUR ENVIRONMENT AND WATER RESOURCES BY REHABILITATING OPEN DUMPS" - ASET SPA*

Il gas di discarica si muove all'interno delle tubazioni per due motivi: la pressione esercitata dal biogas che si produce all'interno del corpo rifiuti (a seguito della fermentazione del rifiuto) e la depressione applicata dal sistema di aspirazione alle teste di pozzo; gli effetti delle due azioni sono coesistenti e si sommano, ma l'azione di aspirazione è quella largamente predominante e ha il vantaggio di poter essere regolata. Si evidenzia quindi che il sistema di captazione e trasporto del biogas (dal corpo discarica fino al sistema per la produzione di energia) è in **depressione**; trattandosi di un gas infiammabile questo aspetto gioca a favore della sicurezza,

in quanto in caso di piccole rotture nelle linee di captazione si ha al massimo una aspirazione di aria nella rete e non una fuoriuscita incontrollata di biogas.

Essendo il biogas un fluido caldo e spesso saturo di vapor d'acqua ed altre impurità, una delle problematiche principali della gestione delle linee di trasporto biogas è quella della creazione di condense all'interno delle tubazioni per effetto delle variazioni termiche (raffreddamento) dovute al passaggio del fluido in convogliamenti di superficie lungo le linee di trasporto che corrono in ambiente esterno all'ammasso dei rifiuti abbancati.

La presenza di condense va dunque a ridurre o addirittura a bloccare il passaggio del flusso di biogas all'interno delle tubazioni e non essendo possibile evitare che si crei, occorre quindi provvedere mediante spurgo; le depressioni applicate dalla centrale di aspirazione su ogni linea di trasporto non sono in grado di aspirare e rimuovere questi accumuli di liquido.

La gestione della captazione del biogas viene fatta operando l'allontanamento delle condense con varie soluzioni tecniche come ad esempio per gravità, avendo l'accortezza di garantire alle linee di trasporto sempre dei profili che permettono il deflusso della condensa, ovvero in pendenza verso i pozzi o verso le Stazioni di Regolazione; ove ciò non risulta possibile occorre prevedere degli appositi **scaricatori di condensa** che garantiscono (attraverso “guardie

idrauliche”) la continuità della depressione applicata ai fini della captazione (Figura 7).

### **5.3.3 LE STAZIONI DI REGOLAZIONE – IMPIANTI COLLETTORI DI BIOGAS**

Alle stazioni di regolazione – impianti collettori di biogas convergono le linee secondarie collegate ai pozzi di captazione.



*FIGURA 8 - STAZIONE DI REGOLAZIONE E LINEE SECONDARIE DI TRAPORTO DEL BIOGAS – FONTE: “SYSTEM FOR COLLECTING BIOGAS GENERATED BY WASTE” AUTORI: M. ANTONINI, F. SANDRINI*

Questi elementi sono delle stazioni intermedie in cui è possibile regolare in modalità manuale il tasso di aspirazione per ogni singola linea-pozzo.

La regolazione si attua intervenendo sulle valvole di regolazione, aprendole o chiudendole, ottimizzando così i flussi di captazione. La regolazione delle valvole può essere fatta manualmente o in maniera automatizzata, come vedremo meglio in seguito.

Alle stazioni di regolazione possono essere collegate delle sottostazioni di regolazione connesse a loro volta a pozzi. In tal caso il volume di biogas estratto misurato alla stazione di regolazione sarà la somma tra quello effettivamente estratto dalle linee di captazione della stazione di regolazione e quello estratto dalle linee di captazione della sottostazione.

Presso la discarica di Monteschiantello sono presenti **9 stazioni di regolazione (SRA, SRB, SRC, SRD, SRE, SRF, SRG, SRH)** e **4 sottostazioni di regolazione (NSRA, NSRC, NSRG e NSRS)** a ciascuna delle quali afferiscono 12 linee di captazione del biogas collegate ai pozzi.

Le stazioni di regolazione SRA, SRB, SRC e SRD sono situate nel bacino 1, tutte le altre stazioni di regolazione nonché tutte le 4 sottostazioni, sono situate nel bacino 2 (*Figura 9*).

Due delle nuove sottostazioni servono ciascuna la propria stazione di regolazione e sono state installate in quanto i pozzi delle stazioni di regolazione a cui sono collegate, erano ormai esauriti. Nello specifico:

- NSRA è collegata con SRA
- NSRC è collegata con SRC
- NSRG è collegata con SRG
- NSRS è collegata con SRA

LEGENDA

-  RECINZIONE PERIMETRALE IMPIANTO
-  POZZO BIOGAS
-  POZZO DRENAGGIO PERCOLATO
-  PS POZZO BIOGAS IN SPONDA
-  TR POZZO BIOGAS TRINCEE
-  POZZO BIOGAS LINEE SECONDARIE
-  SCARICATORE BIOGAS PRINCIPALE
-  SOTTOSTAZIONE REGOLAZIONE BIOGAS (BWS)
-  NUOVA SOTTOSTAZIONE REGOLAZIONE BIOGAS (NBWS)
-  TORCIA DI COMBUSTIONE
-  CPC CANINO DI USCITA FUMI DAL POST-COMBUSTIONE
-  LINEE BIOGAS PRINCIPALI (da sottostazioni BWS)
-  DIREZIONE SCARICO CONDENSE DI LINEA
-  LINEE BIOGAS SECONDARIE
-  SONDE FINESTRATE (preinstallazione nei pozzi in sponda)
-  VIABILITA' INTERNA ASFALTATA
-  VIABILITA' INTERNA NON ASFALTATA

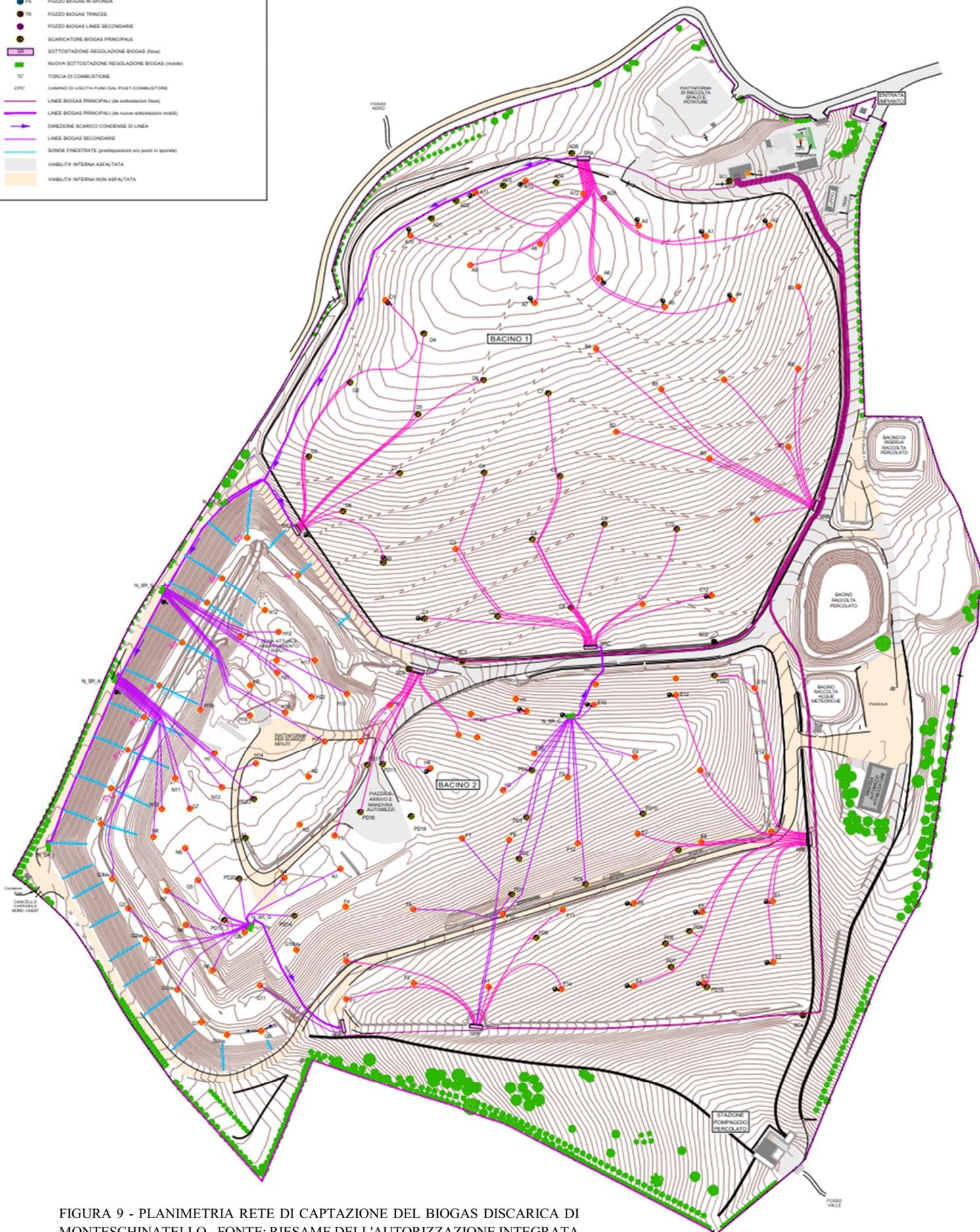


FIGURA 9 - PLANIMETRIA RETE DI CAPTAZIONE DEL BIOGAS DISCARICA DI MONTESCHINATELLO - FONTE: RIESAME DELL'AUTORIZZAZIONE INTEGRATA AMBIENTALE

Dalle Stazioni di regolazione si dipartono le linee principali di trasporto che collegano le stazioni di regolazione alla **centrale di estrazione e recupero energetico del biogas**.

Il convogliamento del biogas a detta centrale è garantito da un sistema di aspirazione e compressione che comprende turboaspiratori o turbosoffianti,

(Figura 10), che hanno la doppia funzione di assicurare una sufficiente depressione sull'intera rete di captazione e trasporto e quella di comprimere il gas (garantendo un'adeguata pressione) verso gli organi di trattamento.



FIGURA 10 – TURBOASPIRATORE – FONTE: ASWM SRL, 2020. TUTTI I DIRITTI RISERVATI

## ***5.5 CENTRALE DI ESTRAZIONE E RECUPERO ENERGETICO DEL BIOGAS***

A causa degli impatti descritti nei paragrafi precedenti, il biogas che viene captato non può essere rilasciato in atmosfera, ma deve essere trattato per ridurre il più possibile gli impatti negativi che ha sull'ambiente.

In genere le attività di trattamento ed eventuale recupero energetico del biogas, vengono accorpate in unico sito, la Centrale di Estrazione (*Figura 11*).



*FIGURA 11 - CENTRALE DI ESTRAZIONE E RECUPERO ENERGETICO DEL BIOGAS - DISCARICA DI MONTESCHIANTELLO -  
FONTE: "SMARTENVI PROJECT - SMART DECISION TOOLS FOR REDUCING HAZARDS TO OUR ENVIRONMENT AND WATER  
RESOURCES BY REHABILITATING OPEN DUMPS" – ASET SPA*

Le fasi di trattamento del biogas presso la centrale di estrazione possono essere divise in: pre – trattamento e trattamento finale.

### 5.5.1 PRE – TRATTAMENTO DEL BIOGAS

È orientato alla riduzione o rimozione di alcune sostanze indesiderate (acqua ed anidride carbonica) o dannose (composti solforosi, composti del cloro e del fluoro).

La rimozione del vapore acqueo avviene per **deumidificazione** tramite uno scambiatore termico in cui scorre acqua glicolata raffreddata. Il biogas viene fatto fluire nello scambiatore ed il suo repentino raffreddamento produce una condensazione. Le condense formate vengono rimosse da un separatore montato immediatamente dopo lo scambiatore.

Le sostanze dannose possono essere rimosse attraverso **assorbimento** mediante Scrubber o Fogger o attraverso **adsorbimento**.

Lo scrubber o depuratore a umido, è una particolare torre di lavaggio che permette di abbattere la concentrazione di sostanze presenti in una corrente gassosa, solitamente microinquinanti acidi. Il principio di funzionamento consiste nel convogliare il gas dentro una camera all'interno della quale viene realizzato un intimo contatto tra il gas stesso ed una certa quantità di acqua con opportune soluzioni (ad esempio una soluzione alcalina per rimuovere l'acido solfidrico), in modo tale da ottenere un trasferimento degli inquinanti dal gas all'acqua.

Il Fogger è un sistema che si basa sul concetto dello Scrubber ma mette in contatto il biogas con particelle molto piccole di acqua in pratica una nebbia (*fog*) di acqua. All'interno del fogger dunque, l'acqua viene nebulizzata e i microinquinanti passano alla fase liquida. Ovviamente dopo il fogger, deve essere presente un deumidificatore.

Il pre-trattamento basato sul principio dell'adsorbimento prevede la cessione delle sostanze nocive ad un supporto "solido" opportunamente messo a contatto con il biogas. I materiali adsorbenti maggiormente utilizzati sono i carboni attivi ed i setacci molecolari.

La capacità di adsorbimento di un carbone attivo è normalmente proporzionale alla superficie porosa; tale caratteristica è normalmente molto elevata, si pensi che in un grammo di carbone attivo la superficie di contatto con il gas può corrispondere a numerosi metri quadrati. Le sostanze nocive contenute nei gas vengono quindi condensate per capillarità e trattenute nel granulo di carbone.

Il setaccio molecolare è invece una struttura in grado di selezionare il passaggio di alcune molecole a seconda della loro dimensione, esempi sono le zeoliti. Tale tecnologia è molto complessa ed è orientata alla rimozione di parte dell'anidride carbonica per ottenere un gas con elevato potere calorifico, ma dato il costo elevato e la complicazione impiantistica, tali applicazioni sono molto rare.

Un ulteriore metodo di pre- trattamento del biogas è l'utilizzo delle **membrane**: il principio che si sfrutta è la diversa permeabilità dei gas attraverso la membrana per cui i “gas veloci” come l'idrogeno, l'idrogeno solforato, l'anidride carbonica e l'ossigeno vengono separati dai “gas lenti” come metano ed azoto. Anche questo sistema richiede ingenti investimenti ed attente gestioni, condizioni non sempre disponibili presso gli impianti di discarica.

### **5.5.2 TRATTAMENTO FINALE DEL BIOGAS**

Il trattamento finale del biogas consiste nel trattamento termico mediante combustione in torcia (senza recupero energetico) o nel trattamento termico con recupero energetico. Le modalità di trattamento del biogas dipendono molto dalla qualità e dalle portate del biogas stesso.

La combustione (senza recupero energetico) avviene in **torce** in cui il metano contenuto nel biogas funge da combustibile e l'ossigeno presente nell'aria da comburente. La combustione in torcia è possibile quando la percentuale di metano è superiore al **25-30%**; tenori di metano inferiori non riescono a garantire un adeguato potere calorifico della miscela per la combustione.

Le torce più performanti sono le **torce ad alta temperatura** (*Figura 12*), dette anche *adiabatiche* (in quanto conservano il calore della fiamma).

In tali torce, la presenza di camere di combustione, di rivestimenti refrattari e

di altri accorgimenti, garantiscono ottimali condizioni di combustione ed il rispetto dei limiti di emissione presenti nella normativa di molti paesi.



*FIGURA 12 - TORCIA AD ALTA TEMPERATURA - DISCARICA DI MONTESCHIANTELLO - FONTE:  
"SMARTENVI PROJECT - SMART DECISION TOOLS FOR REDUCING HAZARDS TO OUR ENVIRONMENT  
AND WATER RESOURCES BY REHABILITATING OPEN DUMPS" – ASET SPA*

Va sottolineato che anche gli impianti predisposti per il recupero energetico devono essere dotati di una torcia che rappresenta un sistema di combustione di emergenza in grado di trattare il biogas nel caso le dotazioni di trasformazione fossero fuori servizio o comunque bruciare le eccedenze di biogas non recuperato.

Tenori di metano più elevati (maggiori del 35%) consentono la possibilità di trattamento più evolute ed efficienti fino a garantire il **recupero del potenziale**

**energetico contenuto nel biogas.** Questo trattamento è quello ottimale in quanto gli obiettivi ambientali raggiungibili si raddoppiano: il primo è quello dell'abbattimento delle emissioni di metano in atmosfera ed il secondo è quello di una mancata emissione di anidride carbonica da combustione di fonti fossili. Il biogas è infatti annoverato dal Legislatore tra le fonti rinnovabili e la produzione di energia da biogas è giustamente considerata energia da fonte rinnovabile.

In tal caso, il metano (combustibile) presente nel biogas, adeguatamente miscelato con aria (ossigeno comburente), brucia all'interno di un volume confinato generando energia termica.

Questa **energia termica** può essere **recuperata** trasferendola, mediante adeguati scambiatori ad altri fluidi (acqua, oli, conduttori termici) per la distribuzione di calore. Nei motori endotermici, inoltre, l'energia termica viene trasformata in energia meccanica, a sua volta trasformata in **energia elettrica**<sup>4</sup> per mezzo di opportuni generatori.

---

<sup>4</sup>**Energia elettrica:** lavoro compiuto da una certa quantità di cariche nello spostamento tra due corpi a diverso potenziale elettrico. In altre parole, è la quantità di energia disponibile grazie al flusso di cariche elettriche che si muovono in un conduttore. È il prodotto tra tensione, intensità di corrente e tempo (quindi Potenza per tempo), si esprime in wattora (Wh), chilowattora (kWh), megawattora (MWh), ecc.

**Potenza elettrica:** è lavoro compiuto nell'unità di tempo, quindi è il flusso di energia elettrica che si muove nell'unità di tempo. La potenza di un impianto elettrico si esprime tramite il prodotto tra tensione e intensità di corrente. Si esprime in watt (W), chilowatt (kW), megawatt (MW), ecc.

Il calore può essere utilizzato sia per uso civile (riscaldamento/raffrescamento, ambientale) che tecnico (produzione vapore, acqua calda o surriscaldata, riscaldamento di serre e tanto altro ancora).

In mancanza di un utilizzatore dell'energia termica posto nei pressi dell'impianto (ad es. una serra), la via preferenziale è la produzione di energia elettrica che risulta facilmente trasportabile ed utilizzabile anche da utenze lontane.

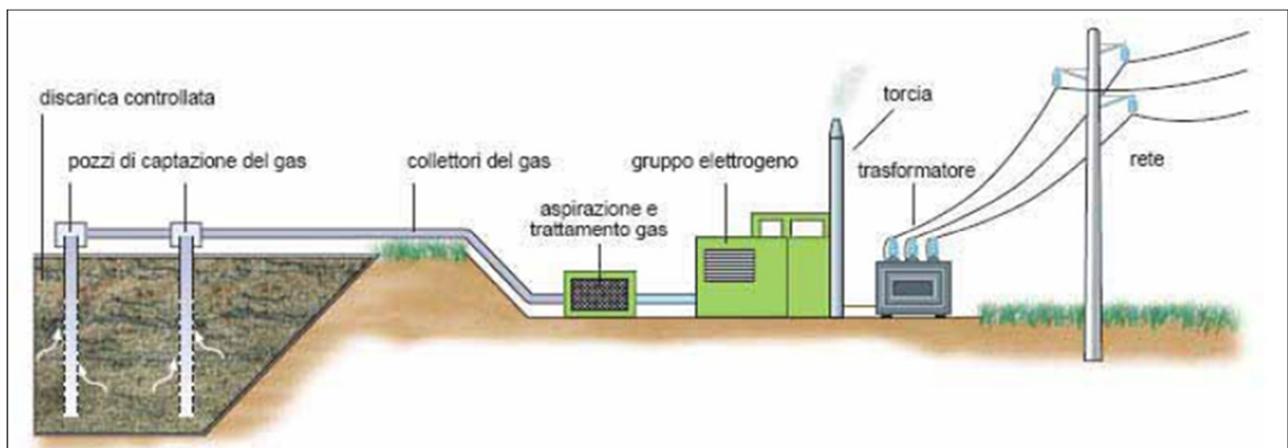


FIGURA 13 - SCHEMA RIEPILOGATIVO DI UN SISTEMA DI CAPTAZIONE ED UTILIZZO ENERGETICO DEL BIOGAS - FONTE: "IL GESTORE SERVIZI ENERGETICI (GSE) INCONTRA LA REGIONE EMILIA-ROMAGNA", REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT, 2011

Per **cogenerazione** si intende la contemporanea produzione di energia termica ed elettrica, dalla stessa macchina.

Il sistema comunemente più adottato, ed ormai ampiamente collaudato, per la produzione di energia elettrica da biogas, è l'utilizzo di motori endotermici abbinati a generatori elettrici - cogeneratori a motore endotermico (Figura 14).

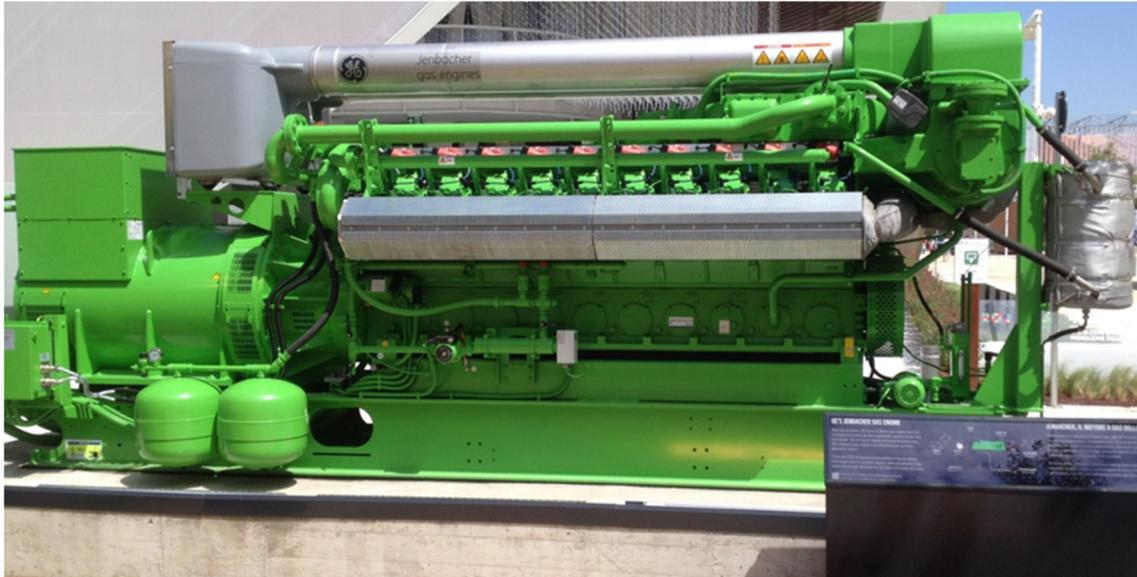


FIGURA 14 - GE'S JENBACHER GAS ENGINE, USA PAVILION, EXPO 2015, MILAN, ITALY. FONTEE: SBAMUELLER, CC BY-SA 2.0 <[HTTPS://CREATIVECOMMONS.ORG/LICENSES/BY-SA/2.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/)>, VIA WIKIMEDIA COMMONS

Le taglie vanno da un minimo di 100 ad un massimo di 3000 kW. Essi vanno ovviamente dimensionati in base alla quantità di biogas da trattare ed al tenore di metano contenuto nella miscela. I rendimenti variano a seconda del combustibile e del carico di lavoro della macchina nel range 30÷42%. Occorre ricordare che le prestazioni massime di rendimento sono riferite alla prestazione nominale della macchina ma scendono se il gruppo elettrogeno lavora a carico parziale. Le pressioni di alimentazione sono compatibili con quelle generate dalle turbosoffianti utilizzate per l'aspirazione del biogas, pertanto non servono compressori aggiuntivi. Entro certi limiti è possibile regolare la carburazione del motore in modo da controllare le emissioni dei fumi, che per alcuni parametri (NO<sub>x</sub>, CO,

particolato, ecc.), a seconda delle normative nazionali, devono rispettare dei limiti; ove ciò non risulta possibile è necessario abbinare un post-combustore che provvede ad ossidare ulteriormente alcuni composti come il monossido di carbonio e gli idrocarburi incombusti. Presso la discarica di Monteschiantello è presente un impianto di recupero energetico – **cogeneratore a motore endotermico** che ha una potenza nominale<sup>5</sup> pari a 1,065 MW (1065 KW) ed una **torcia ad alta temperatura** che viene usata nei casi di manutenzione dei motori (*figura 15*).

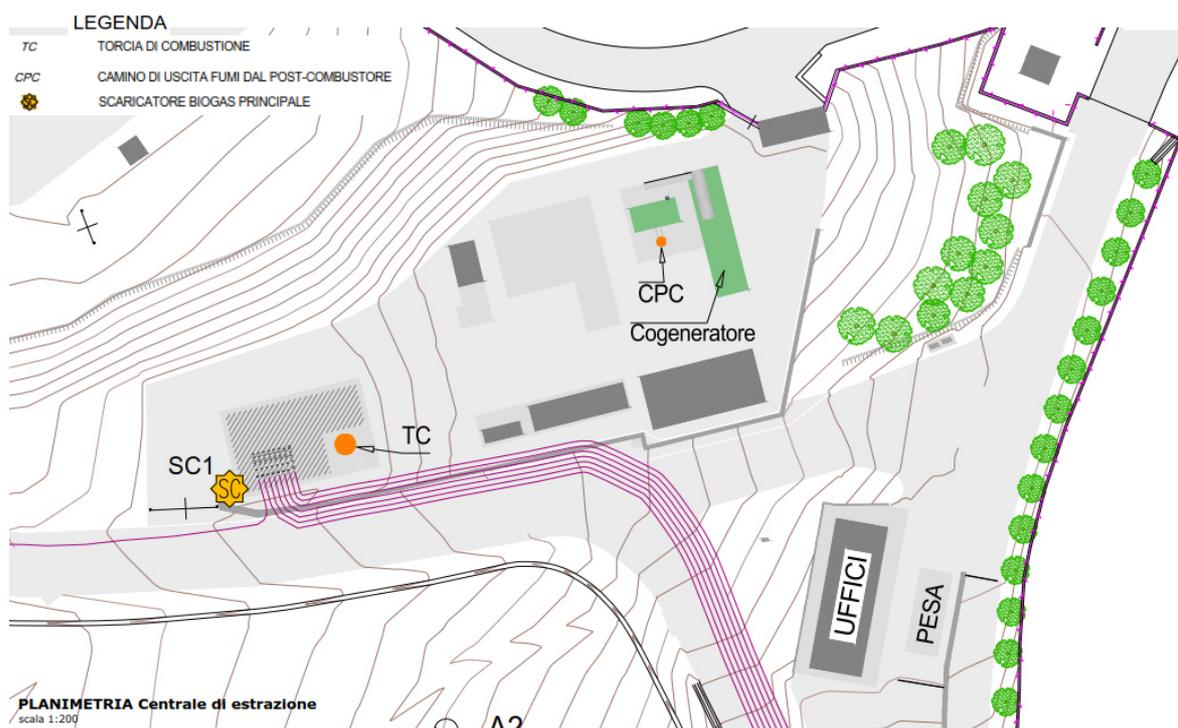


FIGURA 15 - PLANIMETRIA CENTRALE DI ESTRAZIONE DISCARICA DI MONTESCHIANTELLO - FONTE: RIESAME DELL'AUTORIZZAZIONE INTEGRATA AMBIENTALE.

<sup>5</sup> La **potenza nominale** di un dispositivo è la massima potenza da esso generata o assorbita durante il funzionamento. Essa è tra le principali specifiche tecniche dei generatori e degli apparecchi elettrici nonché uno dei tipici dati di targa che caratterizzano le macchine elettriche.

Prima del 2019, in particolare dal 2015 al 2018, ci si era stabilizzati su una produzione media di 1827 MWh/anno di corrente (che vengono immesse direttamente in rete) corrispondenti alle necessità di circa 200 utenze familiari; dal 2019, si è ottimizzato il recupero del biogas e ciò ha portato ad un netto miglioramento del sistema arrivando, nel 2019, ad una produzione di energia elettrica di oltre 2450 MWh su 7578 ore totali di funzionamento del motore ed oggi attestata a 3398 MWh su 7670 ore totali di funzionamento del motore, con una media dal 2019 al 2022 pari a 2349 MWh/anno che corrispondono a circa 250 utenze familiari.

Nel *grafico 1* possiamo osservare l'energia elettrica prodotta dall'anno 2015.

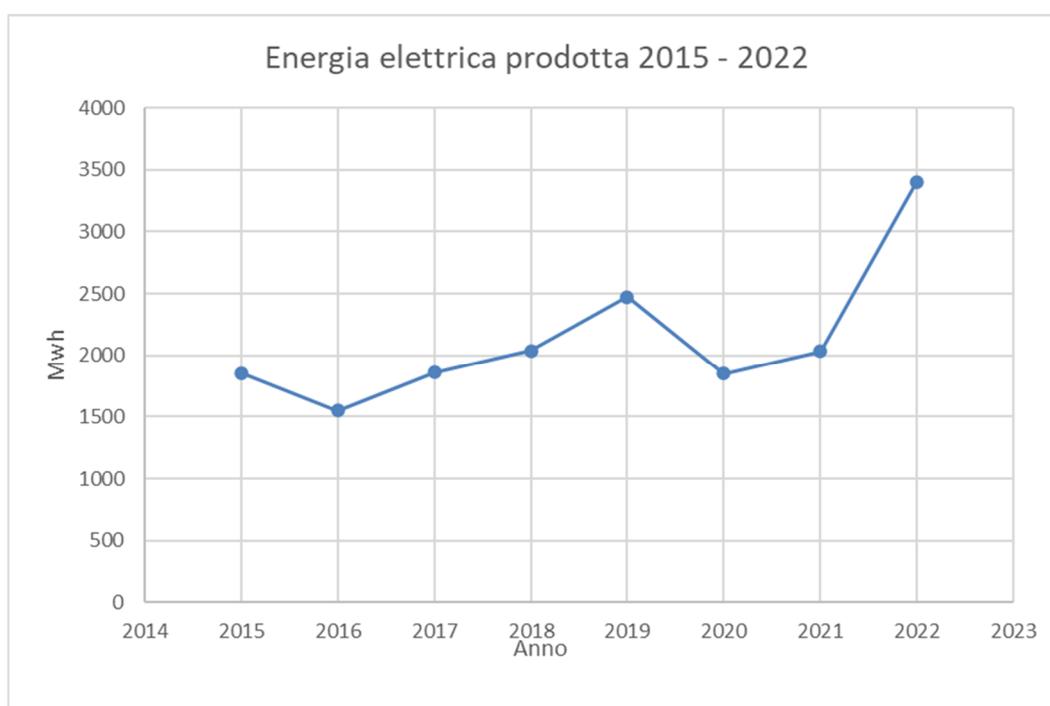


GRAFICO 1 - MWh DI ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DAL 2015 AL 2022

Si determina quindi quanta potenza è stata utilizzata dal 2015 al 2022.

La potenza nominale del motore si attesta sui 1065 KW ma il motore può lavorare anche a potenze inferiori della potenza nominale. Di fatto la potenza di funzionamento del motore può essere impostata a seconda delle necessità di una corretta gestione (es. la quantità e/o la qualità del gas da trattare in termini di potere calorifico, le condizioni di funzionamento ed usura del motore stesso, ecc...).

Si analizza dunque nello specifico quanta di questa potenza è stata impiegata per la produzione di energia elettrica a partire dall'anno 2015:

- Nel 2015 la potenza elettrica media prodotta si è attestata sui 259,20 KW. Dividendola per la potenza nominale del motore, si ottiene che nell'anno 2015 è stato sfruttato il 24% dei 1065KW di potenza nominale del motore.
- Nel 2016 la potenza elettrica media prodotta si è attestata sui 215,28 KW. Dividendola per la potenza nominale del motore, si ottiene che nell'anno 2016 è stato sfruttato il 20% dei 1065KW di potenza nominale del motore.
- Nel 2017 la potenza elettrica media prodotta si è attestata sui 237,24 KW. Dividendola per la potenza nominale del motore, si ottiene che nell'anno 2017 è stato sfruttato il 26% dei 1065KW di potenza nominale del motore.

- Nel 2018 la potenza elettrica media prodotta si è attestata sui 299,32 KW. Dividendola per la potenza nominale del motore, si ottiene che nell'anno 2018 è stato sfruttato il 28% dei 1065KW di potenza nominale del motore.
- Nel 2019 la potenza elettrica media prodotta si è attestata sui 326,71 KW. Dividendola per la potenza nominale del motore, si ottiene che nell'anno 2019, è stato sfruttato il 31% dei 1065KW di potenza nominale del motore.
- Nel 2020 la potenza elettrica media prodotta si è attestata sui 250,69 KW. Dividendola per la potenza nominale del motore, si ottiene che nell'anno 2020, è stato sfruttato il 24% dei 1065KW di potenza nominale del motore.
- Nell'anno 2021 la potenza elettrica media prodotta si è attestata sui 264,38 KW. Dividendola per la potenza nominale del motore, si ottiene che nell'anno 2021, è stato sfruttato il 25% dei 1065KW di potenza nominale del motore.
- Nell'anno 2022 la potenza elettrica media prodotta si è attestata sui 447,90 KW. Dividendola per la potenza nominale del motore, si ottiene che nell'anno 2022, è stato sfruttato il 42% dei 1065KW di potenza nominale del motore.

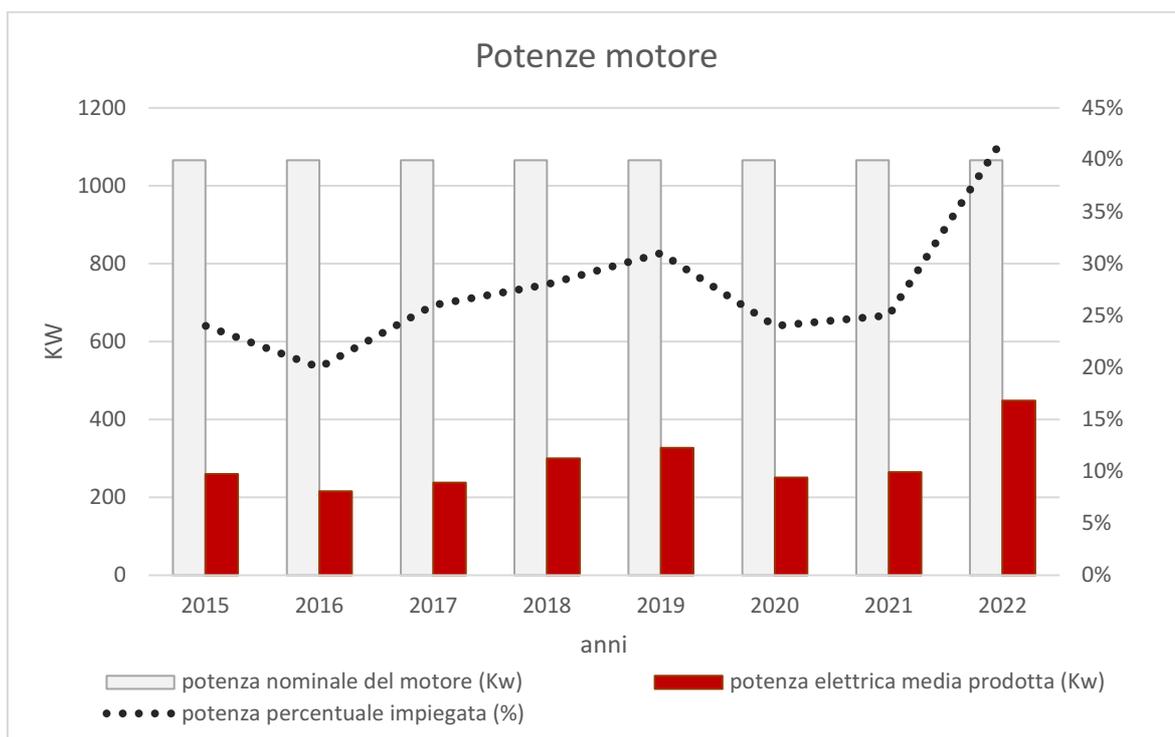


GRAFICO 2 – POTENZE MOTORE DAL 2015 AL 2022

## 5.6 LA REGOLAZIONE DELLA RETE DI CAPTAZIONE

Come accennato in precedenza, presso le stazioni di regolazione è possibile regolare continuamente il tasso di aspirazione imposto su ogni singola linea-pozzo, così da ottimizzare la **quantità** di biogas da estrarre. Ma non solo la quantità, un altro parametro della regolazione è la **qualità**. Ciò è importante nel caso di un impianto dotato di recupero energetico - come la discarica di Monteschiantello – in cui è importante assicurare un adeguato potere calorifico al biogas avviato al motore. Quindi lo scopo che si vorrà raggiungere è quello

di captare un biogas ricco di metano con azioni di regolazione orientate alla migliore qualità del biogas.

I parametri fondamentali di cui tener conto per un'efficiente regolazione della captazione sono: **portata** (flusso) e **qualità del biogas**. Il terzo parametro è la **pressione applicata**.

La regolazione risulta necessaria giacché, come accennato nei paragrafi precedenti, il biogas all'interno di un pozzo subisce continue variazioni qualitative, essendo condizionato da diversi fattori: caratteristiche dei rifiuti, condizioni chimico fisiche (a sua volta influenzate dalle precipitazioni e dalla pressione atmosferica), conformazione della discarica e dell'impiantistica, interazione con gli altri pozzi, ecc.

Una efficiente captazione deve quindi tener conto di queste variazioni (che si manifestano anche più volte in una giornata) e deve mettere in campo un frequente sistema di regolazione che sia specifico e puntuale per ogni linea-pozzo di aspirazione-captazione, attività che - nella gran parte delle discariche - viene svolta settimanalmente in modo manuale. Il tecnico quindi a seconda dei parametri misurati (pressione, portata e qualità) sulla linea, si recherà alla stazione di regolazione e modificherà manualmente la regolazione delle valvole ottimizzando i flussi di captazione secondo le esigenze di quel preciso momento. Essendo questa un'operazione manuale da effettuare su molti punti

richiede molto tempo e può quindi essere eseguita solo con frequenze dilatate nella settimana e talvolta nel mese. Le regolazioni manuali, dunque, non consentono di gestire in modo efficiente le frequenti fluttuazioni del biogas prodotto dalle discariche.

Si è pertanto dimostrato utile affidare l'attività di regolazione a moderni **sistemi di regolazione automatizzata**. In questo caso viene fissato un valore di riferimento per il parametro di regolazione definito "set - point" e il sistema di controllo svolge automaticamente il rilievo di tale parametro, confrontando il dato rilevato con il set point.

Il sistema automatico decide poi se è necessario apportare una regolazione alla valvola in questione e che tipo di regolazione attuare. Ed è proprio questa l'azione che svolge il **sistema GAS STABILIZER**, collocandosi in corrispondenza delle stazioni di regolazione, in particolare si inserisce tra l'elemento 3 - stazioni di regolazione e l'elemento 4 - linee secondarie di trasporto biogas (*fig. 4 – Schema tipo di un sistema di trasporto del biogas*) e va a regolare automaticamente la captazione del biogas grazie al suo sistema di analisi, controllo, verifica e monitoraggio da remoto, predisposto per l'acquisizione, la gestione e il controllo dei dati h24.

Presso la discarica di Monteschiannello sono presenti tre sistemi Gas stabilizer:

- **SKID 1** installato ad aprile 2019 nella stazione di regolazione SRA.
- **SKID 2** installato a giugno 2021 nella stazione di regolazione SRG.
- **SKID 3** installato ad ottobre 2022 nella nuova sottostazione di regolazione NSRS.



*FIGURE 16 - SISTEMI GAS STABILIZER INSTALLATI SU DUE STAZIONI DI REGOLAZIONE (SRA E SRG) PRESSO LA DISCARICA DI MONTESCHIANTELLO*

## CAPITOLO SESTO

### DESCRIZIONE FUNZIONALE GAS STABILIZER

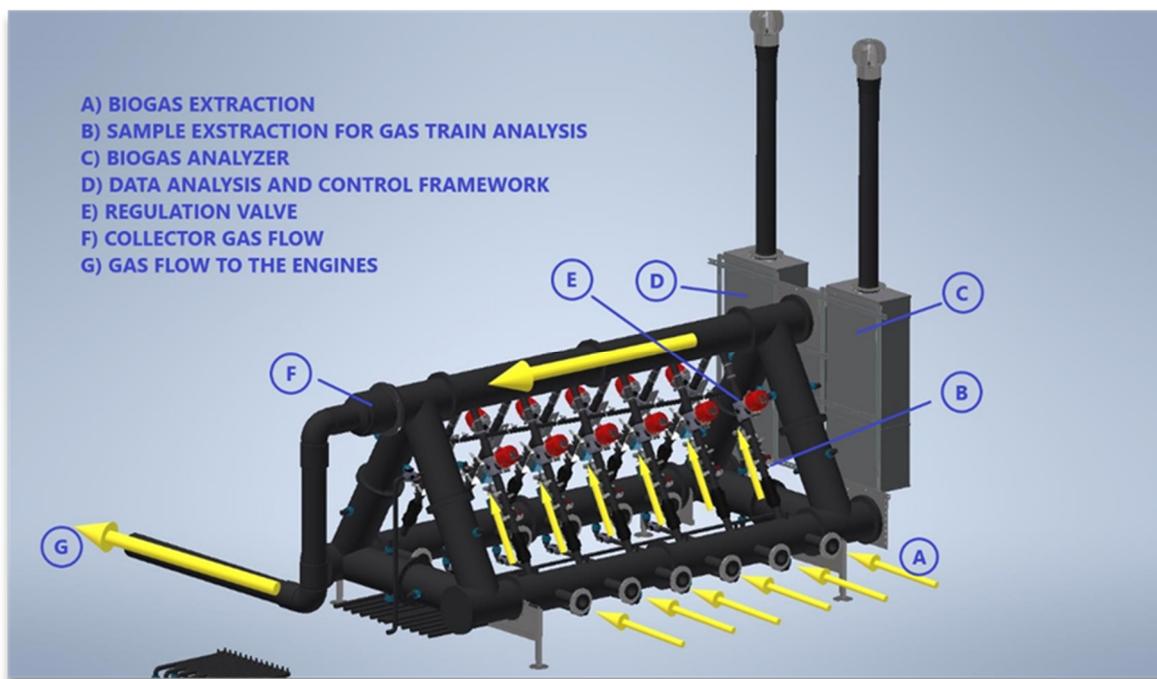
La macchina GAS STABILIZER è una tecnologia brevettata col titolo ‘System and method to control a biogas collection plant’ che funge da mente per l’impianto di captazione del biogas presente in discarica. Agisce in modo automatico, ha funzionalità in continuo h24 e permette il monitoraggio e controllo dei parametri di captazione tempo reale e da remoto. GAS STABILIZER è in grado di **regolare automaticamente i parametri del biogas** in un range di valori desiderati, così come impostati dall'operatore, con possibilità d’interazione, controllo, regolazione, monitoraggio e verifica da remoto.

GAS STABILIZER, dunque:

- consente l'impostazione real-time e a distanza dei parametri di captazione desiderati per ogni singola linea di captazione;
- permette il controllo ed il monitoraggio real-time e da remoto dei parametri del biogas (es. CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, pressione applicata, temperatura) su ogni singola linea di captazione che convoglia il biogas alla stazione di regolazione e sul tubo collettore principale attraverso il quale il biogas viene avviato a trattamento;

- restituisce *alert* in caso di rilevazione anomalie;
- acquisisce ed archivia tutti i dati rilevati.

In *Figura 16* è rappresentato GAS STABILIZER applicato ad una stazione di regolazione a forma di trave reticolare - stazioni di regolazione presenti presso la discarica di Monteschiantello - ma esso può essere applicato a qualsiasi impianto collettore in quanto è stato progettato come sistema modulare, leggero, scomponibile, riutilizzabile e di facile installazione.



*FIGURA 16 - GAS STABILIZER APPLICATO AD UNA STAZIONE DI REGOLAZIONE - FONTE: "GAS STABILIZER SYSTEM AND METHOD TO CONTROL A BIOGAS COLLECTION PLANT" AUTORI: M. ANTONINI, F. SANDRINI*

- Linee di captazione da cui arriva il biogas aspirato dai pozzi di estrazione intra discarica.
- Il biogas viene avviato ad analisi per ciascuna linea di captazione afferente alla rispettiva rampa gas della stazione di regolazione.

- C. Il sistema di analisi del biogas aspirato è collocato in un apposito vano protetto contro le intemperie ed analizza la miscela di biogas. Il sistema di analisi è costituito sensori per la misurazione della pressione, un sensore per il metano ed un sensore per l'ossigeno. I dati rilevati sono inviati al sistema di controllo e regolazione.
- D. Il sistema di controllo e regolazione dati (pannello di controllo) è collocato anch'esso dentro un apposito vano protetto contro le intemperie, adiacente al vano in cui è situato il sistema di analisi. Questo sistema, in funzione dei dati misurati, controlla l'apertura delle valvole di regolazione (E), a seconda dei parametri di riferimento impostati nel sistema di controllo stesso.
- E. Le valvole di regolazione di GAS STABILIZER vengono controllate e regolate in automatico dal software del sistema di controllo. I segnali sono acquisiti da un sensore per la pressione, un sensore per il metano ed un sensore per l'ossigeno. Ciascun sensore misura pressione, concentrazione di metano e concentrazione di ossigeno, inviando i dati al sistema di controllo e regolazione.
- F-G. Il biogas così "regolato" viene raccolto nel tubo collettore principale (F) e da qui viene avviato a trattamento e/o a recupero energetico (G) (es. ai motori per la generazione di energia meccanica, elettrica, termica).

## **CAPITOLO SETTIMO**

### **ANALISI DEI DATI**

#### **7.1 ANALISI COMPARATIVA DELLA QUALITÀ DEL BIOGAS MISURATA ALLE STAZIONI DI REGOLAZIONE, PRE E POST GAS STABILIZER**

Allo scopo di valutare come il GAS STABILIZER influisce sull'efficienza di captazione regolando e stabilizzando - nelle stazioni di regolazione in cui esso è presente - il flusso di biogas diretto al motore, si analizza la qualità del biogas misurata in tali stazioni.

In particolare, essendo il potere calorifico del biogas, correlato alla concentrazione di metano, si analizza la concentrazione media di CH<sub>4</sub> (percentuale in volume di CH<sub>4</sub>) misurato presso le stazioni di regolazione SRA e SRG in cui sono presenti i due sistemi GAS STABILIZER denominati rispettivamente SKID 1 e SKID2.

In SRA, il sistema SKID 1 è stato installato ad aprile 2019.

In SRG, il sistema SKID 2 è stato installato a giugno 2021.

Si ricorda che è attiva anche una nuova sottostazione NSRS in cui è presente un terzo sistema GAS STABILIZER installato ad ottobre 2022. L'analisi non considera questo terzo sistema di recente installazione, a causa dello scarso quantitativo di dati.

Si effettua dunque un confronto pre e post SKID 1 in SRA: in particolare si considerano i volumi % medi mensili di CH<sub>4</sub> misurati in SRA, per 12 mesi a partire da aprile 2019 e si confrontano con i volumi % medi mensili di CH<sub>4</sub> dei 12 mesi antecedenti ad aprile 2019.

Allo stesso modo, viene effettuata un'analisi comparativa pre e post SKID 2 in SRG: si considerano i volumi % medi mensili di CH<sub>4</sub> misurati in SRG, per 15 mesi a partire da giugno 2021 e si confrontano con i volumi % medi mensili di CH<sub>4</sub> dei 15 mesi antecedenti a giugno 2021.

Si evidenzia che i volumi % giornalieri di CH<sub>4</sub> (da cui si sono ricavate le % medie mensili di nostro interesse) sono misurati sul tubo collettore della stazione e rappresentano dunque una media % dei volumi di CH<sub>4</sub> misurati sulle 12 linee di captazione.

### 7.1.1 STAZIONE DI REGOLAZIONE SRA – SKID 1

In *tabella 2* sono rappresentati i volumi % medi mensili di metano presenti nel biogas estratto negli anni 2018, 2019 e 2020. In giallo si evidenzia il mese di installazione del sistema SKID 1.

% medie mensili di CH <sub>4</sub> contenute nel biogas estratto - stazione SRA														
	Linea	parametro	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
2018	SRA	%CH <sub>4</sub>	/	/	/	26,20	39,10	37,08	31,93	37,91	29,66	37,90	31,43	32,28
2019	SRA	%CH <sub>4</sub>	27,84	18,98	35,32	34,50	40,69	39,51	41,02	33,08	29,50	31,06	33,17	35,74
2020	SRA	%CH <sub>4</sub>	34,30	35,27	36,69	34,58	33,87	34,52	35,64	36,00	36,26	28,98	41,57	41,50

TABELLA 2 - PERCENTUALI MEDIE MENSILI DI METANO CONTENUTE NEL BIOGAS ESTRATTO, MISURATE ALLA STAZIONE DI REGOLAZIONE SRA

Nel seguente grafico (*grafico 3*) sono rappresentati i dati presenti in tabella. La linea verticale gialla evidenzia il mese di installazione di SKID 1.

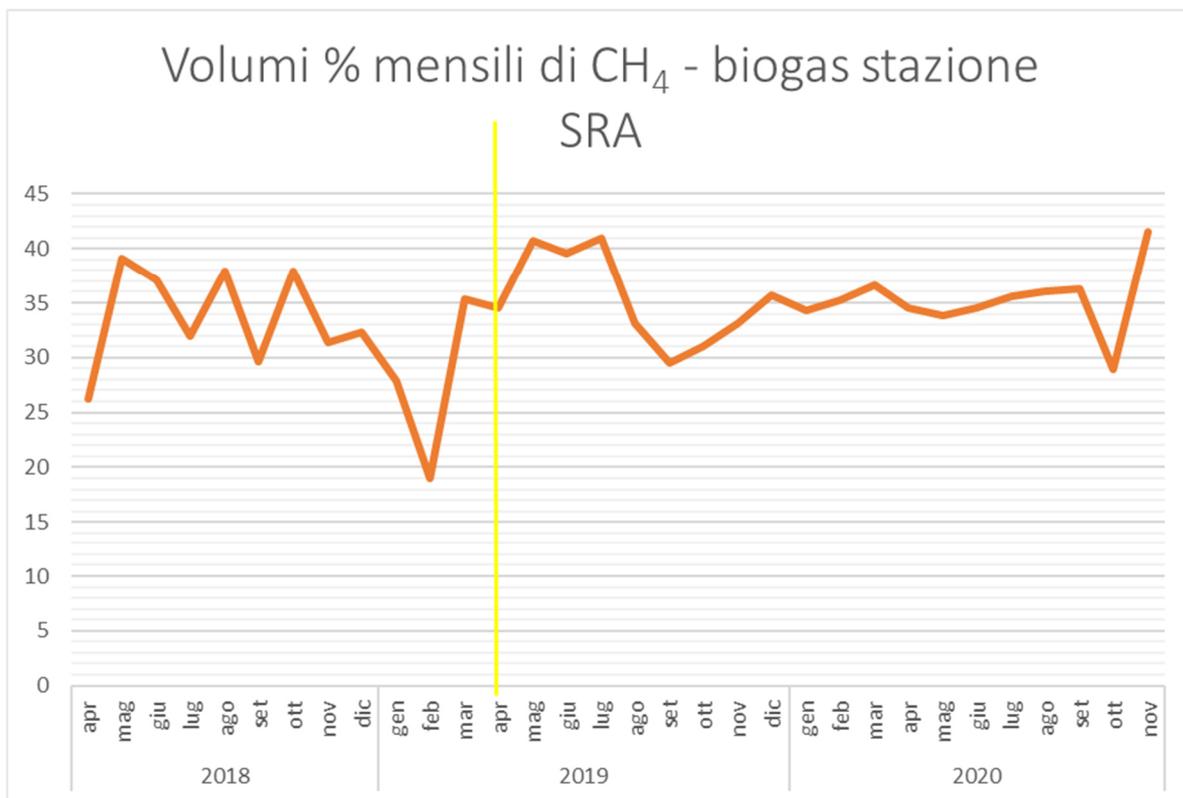


GRAFICO 3 - ANDAMENTO CONCENTRAZIONE DI METANO (VOLUME %) PRESENTE NEL BIOGAS ALLA STAZIONE DI REGOLAZIONE SRA

Da aprile 2019 si osserva un incremento del volume % di metano, seguito da un breve calo a settembre. Nel mese di ottobre si osserva un nuovo rialzo seguito da un lungo periodo caratterizzato da percentuali di CH<sub>4</sub> abbastanza stabili (33 – 36%) con una % media che si attesta intorno al 35%. A seguire un lieve calo e subito un rialzo al 40%.

Si sottolinea che la produzione di biogas, nonché la sua qualità dipende da numerose variabili connesse sia alle caratteristiche dei rifiuti (composizione del

rifiuto, pezzatura, densità, umidità) sia variabili ambientali (temperatura, barometria, precipitazioni, ventosità).

Dunque, incrementi e cali delle % di metano nel tempo - ben visibili nel grafico - sono da considerarsi nella norma.

Si determina la media dei volumi % mensili di CH<sub>4</sub> nei 12 mesi antecedenti aprile 2019 (mese di installazione del primo sistema GAS STABILIZER SKID 1) e nei 12 mesi successivi. Nel *grafico 4* sono mostrate tali medie:

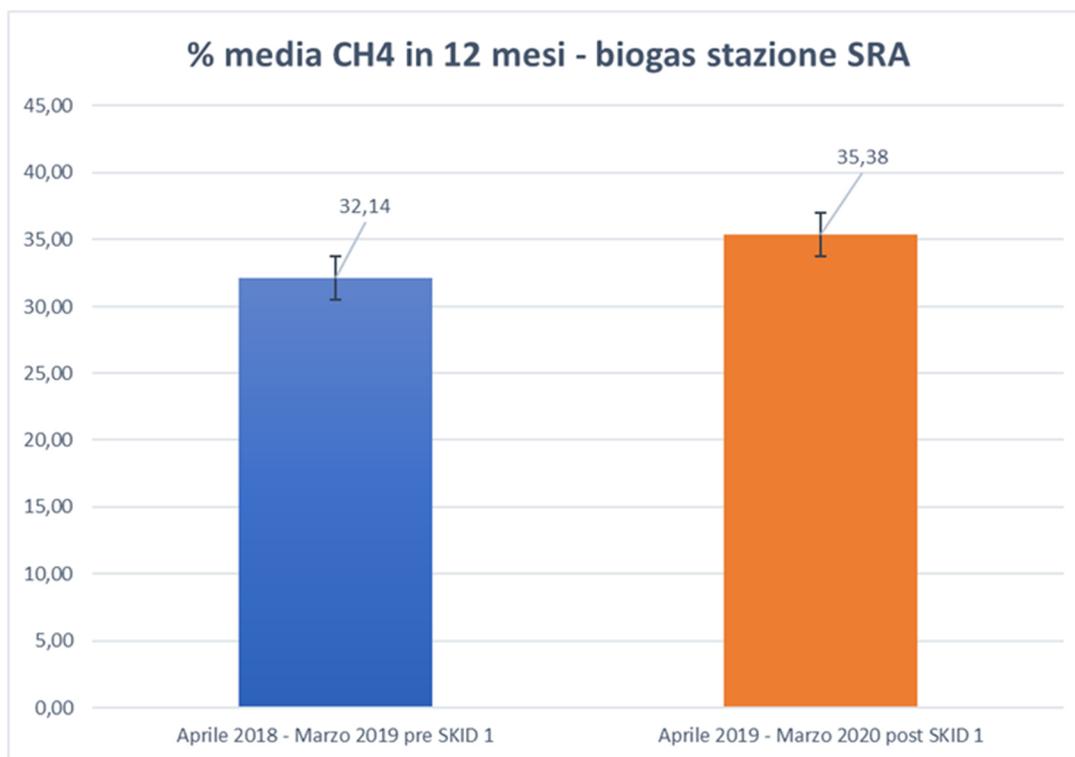


GRAFICO 4 - VOLUME PERCENTUALE MEDIO DI METANO PRESENTE NEL BIOGAS IN SRA, PRIMA E DOPO GAS STABILIZER (SKID 1)

La % media di CH<sub>4</sub>, nei 12 mesi successivi all'installazione del sistema SKID 1, ha subito un **incremento del +10%**.

Analizzando i 24 mesi successivi a marzo 2020 si osserva un ulteriore incremento del volume % medio di CH<sub>4</sub> pari al + 16% per l'anno 2020-2021 rispetto al periodo pre-SKID 1 e al +24% per l'anno 2021-2022.

L'incremento negli anni post SKID 1 è pari al +5% tra il primo anno di installazione del sistema ed il secondo anno; è pari al + 7% tra il secondo anno e l'ultimo anno in esame. (*grafico 5*). L'incremento si attesta su una media pari al 6%.

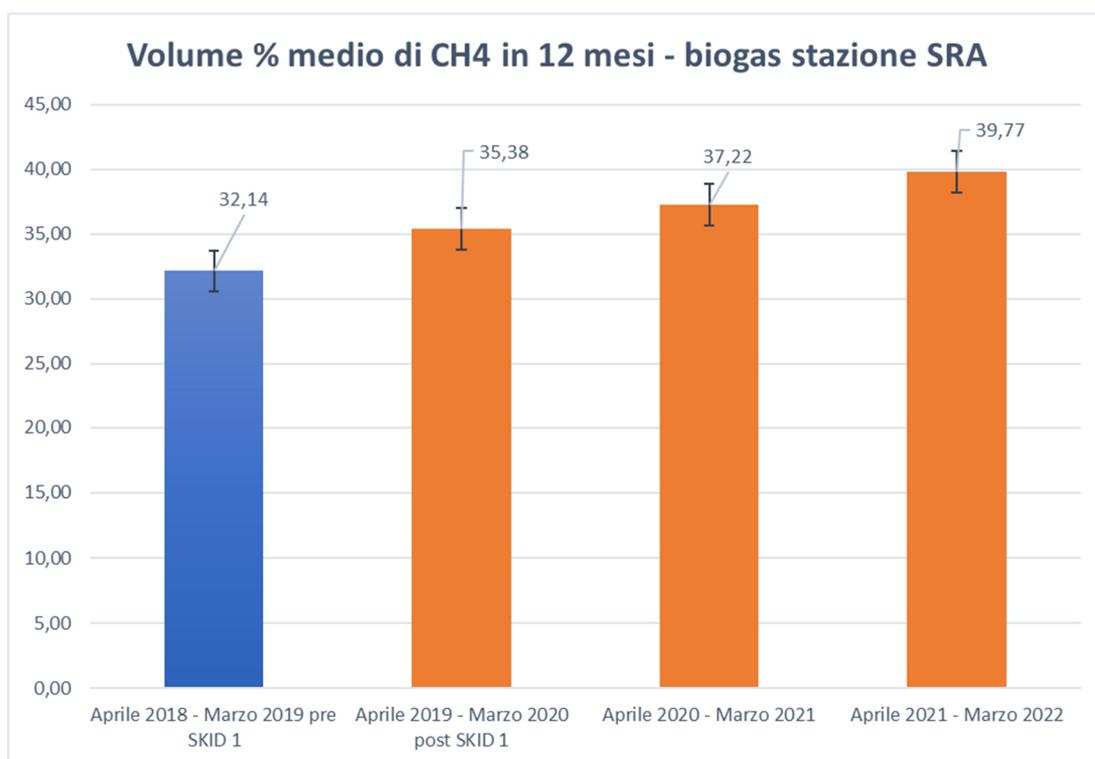


GRAFICO 5 - VOLUME % MEDIO DI METANO PRESENTE NEL BIOGAS IN SRA NEI 2 ANNI SUCCESSIVI ALL'INSTALLAZIONE DI GAS STABILIZER SKID 1

Queste valutazioni vengono eseguite anche per la stazione di regolazione SRG in cui è installato il secondo sistema GAS STABILIZER denominato SKID 2.

## 7.1.2 STAZIONE DI REGOLAZIONE SRG – SKID 2

In *tabella 3* si osservano i volumi % medi mensili di metano per gli anni 2020, 2021 e 2022. In giallo è sottolineato il mese di installazione del sistema SKID 2.

% medie mensili di CH <sub>4</sub> contenute nel biogas estratto - stazione SRG														
Anno	Linea	parametro	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
2020	SRG	%CH <sub>4</sub>	30,00	24,39	17,72	19,43	25,89	27,69	25,99	22,79	21,00	19,71	22,02	23,50
2021	SRG	%CH <sub>4</sub>	19,75	23,23	25,54	19,45	20,03	19,31	23,75	30,10	31,15	34,12	40,18	36,60
2022	SRG	%CH <sub>4</sub>	33,25	29,23	28,19	31,27	25,21	25,69	25,52	27,17	30,85	32,87	28,00	25,11

TABELLA 3 - PERCENTUALI MEDIE MENSILI DI METANO CONTENUTE NEL BIOGAS ESTRATTO, MISURATE ALLA STAZIONE DI REGOLAZIONE SRA

Nel seguente grafico (*grafico 6*) sono rappresentati i dati presenti in tabella. La linea verticale gialla evidenzia il mese di installazione di SKID 2.

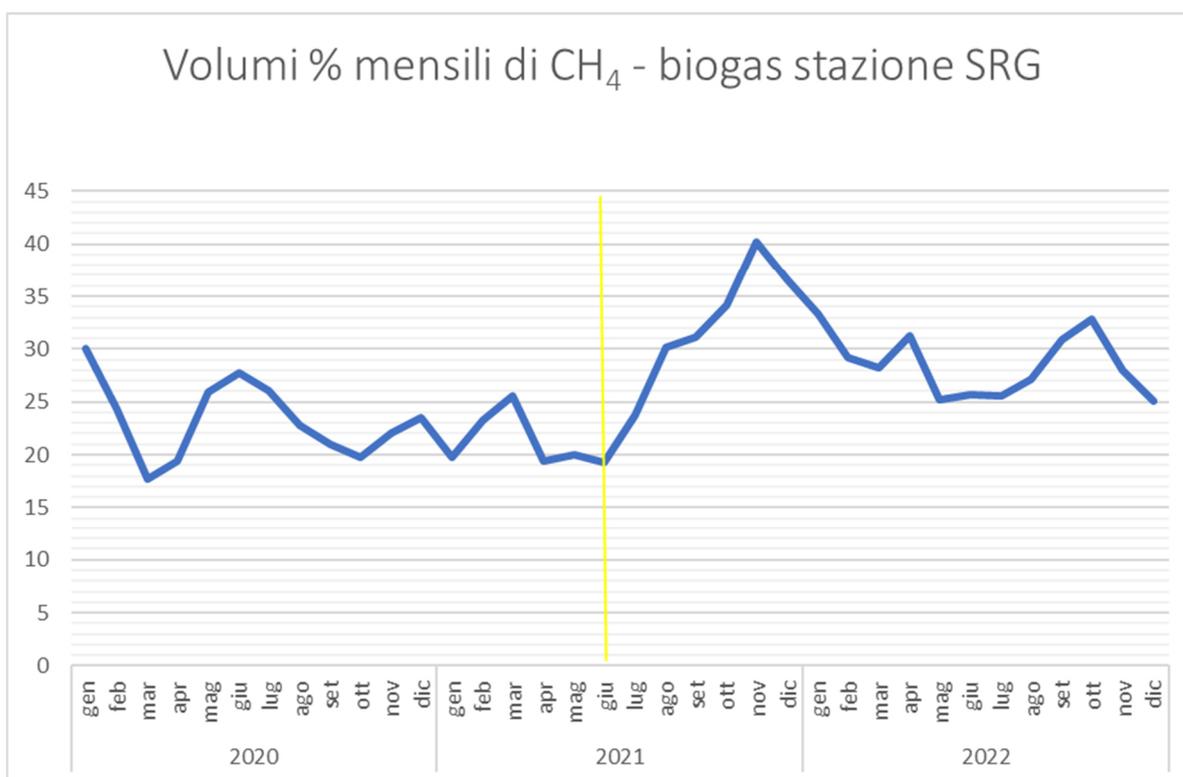


GRAFICO 6 - ANDAMENTO CONCENTRAZIONE DI METANO (VOLUME %) PRESENTE NEL BIOGAS IN SRG

Da giugno 2021, anno di installazione di SKID 2, si osserva un cospicuo innalzamento del volume % di metano fino a novembre, seguito da un calo e da un nuovo leggero rialzo. Tale tendenza si ripete nei mesi successivi.

Si determina la media dei volumi % mensili di CH<sub>4</sub> nei 15 mesi antecedenti giugno 2021 e nei 15 mesi successivi. Nel *grafico 7* sono mostrate tali medie.

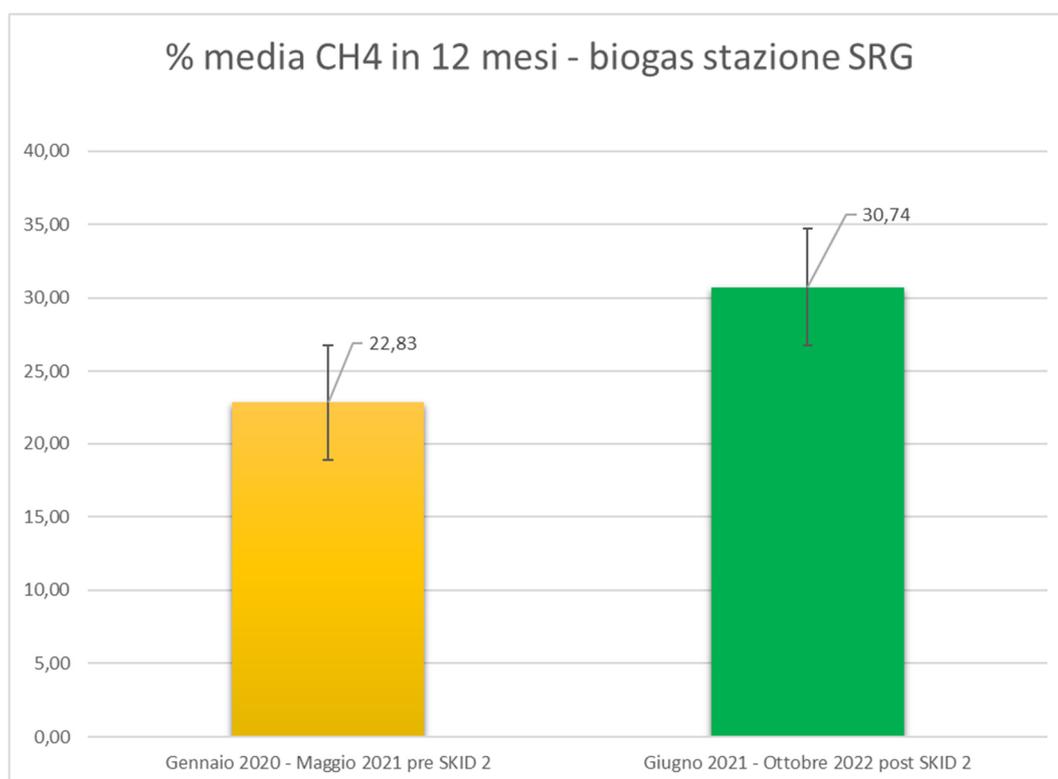


GRAFICO 7 - VOLUME PERCENTUALE MEDIO DI METANO PRESENTE NEL BIOGAS IN SRA, PRIMA E DOPO GAS STABILIZER (SKID 2)

Si evince che il volume % medio di CH<sub>4</sub> nei 15 mesi successivi all'installazione del sistema SKID 2, ha subito un **incremento del +35%**.

Si analizza il volume % medio di CH<sub>4</sub> dei 15 mesi ancor precedenti, quindi da ottobre 2018 a dicembre 2019 (grafico 8):

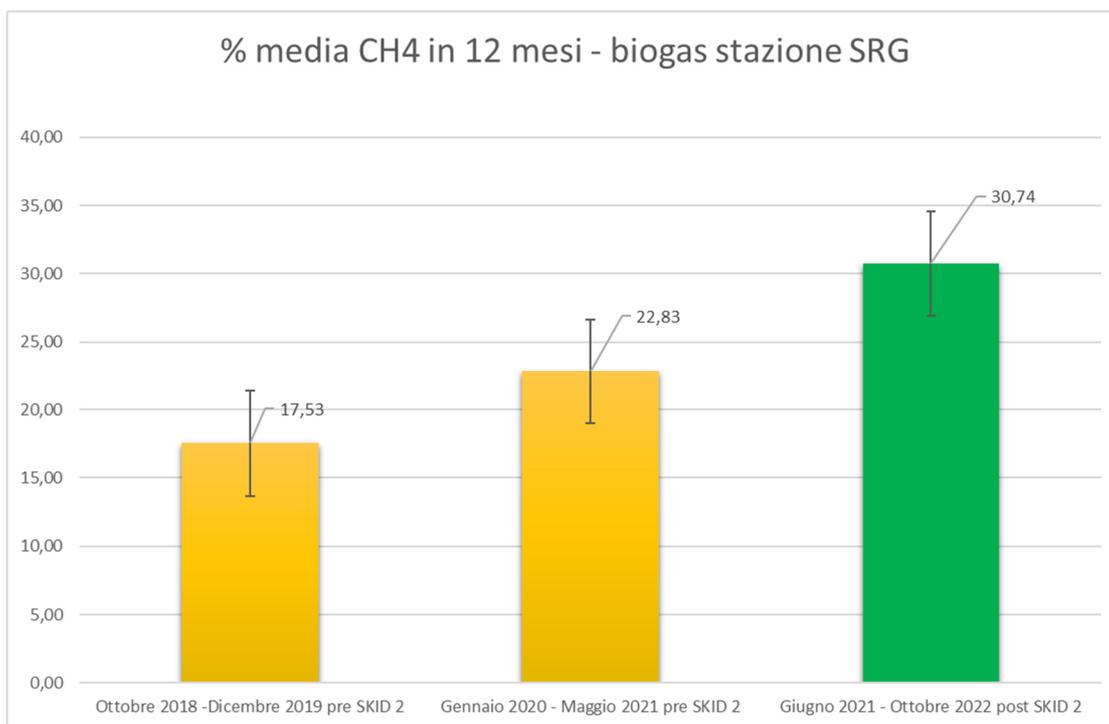


GRAFICO 8 - VOLUME % MEDIO DI METANO PRESENTE NEL BIOGAS IN SRG NEI 30 MESI PRECEDENTI ALL'INSTALLAZIONE DI GAS STABILIZER SKID 2

Dopo l'installazione di SKID 2 il volume % medio di CH<sub>4</sub> presente nel biogas estratto, ha subito un incremento del +52% rispetto ai 30 mesi precedenti.

## **7.2 ANALISI DEI PARAMETRI DI CAPTAZIONE AUTOMATIZZATA DEL BIOGAS IN SRA E SRG**

Allo scopo di comprendere come hanno lavorato i sistemi GAS STABILIZER SKID 1 e SKID 2 per migliorare la qualità del biogas diretta al motore viene preso in considerazione per l'anno 2022, un periodo di 5 giorni caratterizzato da stabilità in termini di potenza elettrica prodotta dal motore.

Si assume dunque che la stabilità in termini di potenza elettrica prodotta, è indice del fatto che anche lo stato della miscela combustibile biogas avviata al motore lo era in quei determinati giorni.

L'analisi viene effettuata per l'anno 2022 caratterizzato da una maggior produzione di energia elettrica. Il periodo selezionato va dal 30 gennaio al 3 febbraio, giorni in cui la potenza elettrica prodotta è stabile con una variazione giornaliera inferiore allo 0,10%.

In particolare, questo periodo è caratterizzato da una potenza che si attesta su una media pari a 607,27 kW. Nel *grafico 9.1* è evidenziato tale periodo.

È interessante notare come per tutto il mese di febbraio la potenza elettrica generata risulta essere stabile ma anche molto elevata. Questo perché si è verificato un intervento di pulizia del motore che ha determinato il notevole aumento dell'energia elettrica prodotta. (da *relazione tecnica – "ATTIVITA' DI PULIZIA DELLE CAMERE DI COMBUSTIONE DEL GRUPPO ELETTROGENO JGS 320 GS-L.L." - ASET spa*).

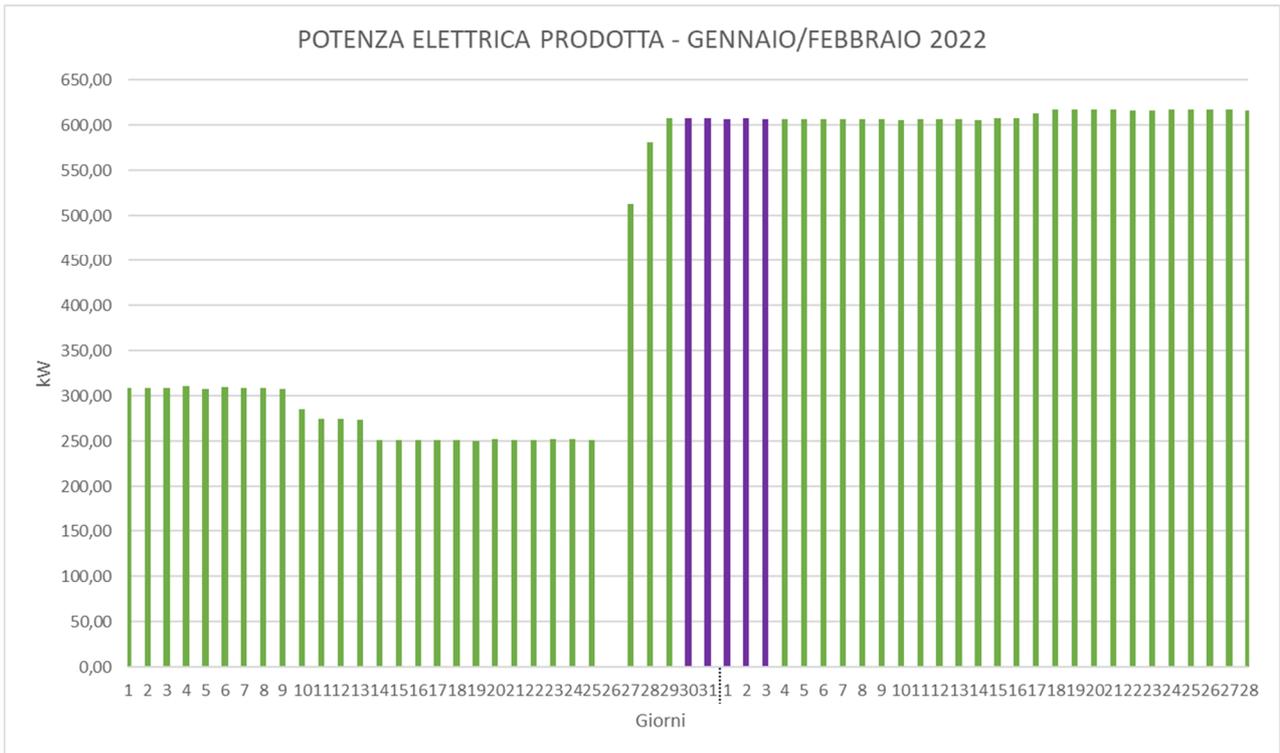


GRAFICO 9.1 - POTENZA ELETTRICA PRODOTTA (KW) GENNAIO/FEBBRAIO 2022

Si evidenzia la tendenza produttiva nel tempo (*grafico 9.2*):



GRAFICO 9.2 - POTENZA ELETTRICA PRODOTTA (KW) GENNAIO/FEBBRAIO 2022

Per il periodo di produzione stabile selezionato si analizzano, su ogni singola linea, i parametri di captazione del biogas allo scopo di comprendere come Gas Stabilizer ha lavorato per migliorare la qualità del biogas diretta al motore.

Come detto in precedenza, Gas Stabilizer analizza in continuo la miscela di biogas captata inviando i dati al sistema di controllo e regolazione; questi dati vengono processati dal sistema di controllo che regola in automatico ogni 30 minuti circa l'apertura di ciascuna valvola di regolazione, delle singole rampe gas, a seconda dei parametri di captazione impostati nel sistema di controllo stesso.

In particolare, i parametri monitorati nella miscela di biogas da ciascuna macchina Gas Stabilizer (SKID 1 e SKID 2) su ciascuna delle 12 linee di captazione e sul tubo collettore principale, sono:

- **Concentrazione di metano in %VOL**
- **Concentrazione di ossigeno in %VOL**
- **Pressione in hPA (ettoPascal)**
- **Temperatura (°C)**
- **Grado angolare di apertura delle valvole di regolazione**, apertura regolata dalla macchina stessa.

Si analizzano dunque, per ogni macchina, gli andamenti dei suddetti parametri su ogni singola linea di captazione (in totale 12 per macchina) e sul tubo collettore principale.

Partiamo analizzando gli andamenti del sistema **SKID 1**.

All'**Allegato 1** possiamo osservare i grafici relativi al collettore principale e alle 12 linee di captazione, ciascuno con i propri andamenti relativi a: %VOL CH<sub>4</sub>, %VOL O<sub>2</sub>, Pressione e apertura della valvola di regolazione.

Per quanto riguarda l'andamento dei parametri misurati sul **collettore**, innanzitutto si precisa la mancanza del dato relativo all'apertura delle valvole di regolazione perché a questo livello le valvole non sono presenti (si veda *Figura 2 - Gas stabilizer applicato ad una stazione di regolazione*).

Gli andamenti degli altri parametri (%CH<sub>4</sub>, %O<sub>2</sub> e pressione) sono abbastanza lineari, non si osservano grandi variazioni. Questo perché nel tubo collettore il biogas è già stato "regolato" ed è pronto per essere avviato alla centrale di estrazione per la produzione di energia elettrica; è importante quindi che a questo livello non si osservino grandi variazioni.

Il volume % di metano si attesta su una media del 36% mentre il volume % di ossigeno su una media del 7%. La cospicua depressione indica che siamo in fase di aspirazione del biogas.

Osserviamo ora l'andamento dei parametri sulle 12 linee di captazione:

- **Linea 1:** il volume % di metano misurato sulla linea 1 ha un andamento variabile con % che oscillano tra il 20% e il 55%. È interessante notare come l'andamento delle valvole di regolazione segua l'andamento della quantità del CH<sub>4</sub>. Questo vuol dire che la macchina, misurando il VOL% di CH<sub>4</sub>, regola le valvole facendole aprire e chiudere a seconda del volume misurato. In questo caso, ad un aumento del VOL% di CH<sub>4</sub> corrisponde una maggiore apertura delle valvole.

Dalla seconda metà del 31 gennaio fino alle prime ore del primo febbraio, si osserva una riduzione del volume % di CH<sub>4</sub>; le valvole di regolazione si aprono e si chiudono passando da una apertura di 8° a circa 30°. In tal caso il sistema continua a testare il biogas con l'apertura della valvola con una specifica funzionalità di "forzatura" per verificare se le condizioni sono mutate nel tempo ovvero se il volume % di metano è aumentato. In questo lasso di tempo il valore del metano nel biogas è sempre rimasto sotto il valore minimo impostato dal gestore nonostante si sia provato in modo continuo a verificare se ci fossero variazioni. Dunque, il sistema ha mantenuto sempre poco aperta la valvola (8°) salvo per i pochi secondi di verifica che effettuava ad ogni ciclo.

Il volume % di O<sub>2</sub> va da un 2% ad un 10%. Questa variabilità è da correlare alla depressione applicata: all'aumentare della depressione, potrebbe aumentare il volume % di ossigeno. Ciò dipende da quanto è efficiente l'isolamento del pozzo dall'ambiente esterno: se il pozzo non è ben isolato aumentando la depressione di aspirazione posso avere maggior ingresso di ossigeno. Nel caso il valore di ossigeno si incrementi oltre la soglia impostata dal gestore, il sistema chiude o riduce bruscamente l'apertura della valvola per evitare l'ingresso di ossigeno – come si può osservare nel grafico.

Per quanto riguarda la pressione si osserva una bassa depressione che può essere correlata ad un basso grado di apertura della valvola, altresì ad una maggiore apertura delle valvole (30°) corrisponde una maggiore depressione.

Siamo di fronte ad un pozzo caratterizzato da una produttività variabile.

Le considerazioni appena effettuate, possono essere estese anche alla **linea 2, 3, 4 e 8** in cui si osservano andamenti analoghi alla linea 1.

- **Linea 5:** il volume % di metano misurato è notevole, con una media che si attesta intorno al 60%. La valvola di regolazione risulta essere quasi completamente aperta per tutto il periodo di riferimento, parametro

associato ad una notevole depressione. Ciò indica che siamo in fase di aspirazione. Questi pozzi hanno la caratteristica di essere costanti nella produzione senza avere un particolare apporto di ossigeno alla miscela.

Queste considerazioni possono essere estese anche alla **linea 10, 11 e 12** in cui si osservano andamenti analoghi alla linea 5.

- **Linea 6:** questo è il caso di un pozzo con produzioni variabili di biogas. Risulta evidente che il sistema di regolazione agisce per mantenere i parametri qualitativi del biogas captato entro il range di valori impostati dal gestore.
- **Linea 7:** questo è il caso di un pozzo non produttivo. La macchina continua a testare il biogas con l'apertura della valvola con una specifica funzionalità di "forzatura" per verificare se le condizioni sono mutate nel tempo. In questa linea il valore del metano nel biogas è sempre rimasto sotto il valore minimo impostato dal gestore nonostante si sia provato in modo continuativo a verificare se ci fossero variazioni. In questo caso il sistema ha mantenuto chiusa la valvola salvo per i pochi secondi di verifica che effettuava ad ogni ciclo.

Le stesse valutazioni vengono effettuate per il secondo sistema Gas Stabilizer **SKID 2**, nel medesimo periodo.

All' **Allegato 2** possiamo osservare i grafici relativi al collettore principale e ad 11 linee di captazione, ciascuno con i propri andamenti relativi a: %VOL CH<sub>4</sub>, %VOL O<sub>2</sub>, Pressione e apertura della valvola di regolazione. L'assenza dei parametri sulla linea di captazione 12 è dovuta al fatto che la linea stessa in quel periodo non era collegata.

- **Linea 1:** anche in questo caso all'aumentare del volume % di CH<sub>4</sub> corrisponde una maggiore apertura della valvola. Ciò si evince soprattutto nella giornata del 2 febbraio, in cui all'aumentare del volume % di CH<sub>4</sub> (intorno al 50%) si ha una graduale apertura della valvola fino al grado massimo. Viceversa, quando la % di metano inizia a calare, inizia a chiudersi la valvola (all'inizio gradualmente, perché il sistema continua a valutare se ci sono variazioni, ma non essendo aumentata la % di metano – anzi è calata ancora più – la valvola si chiude bruscamente). Il volume % di ossigeno rimane sempre sotto la soglia del 5%, ad eccezione di un momento tra il 2 e il 3 febbraio, in cui la % si alza fino a 10 ma si assiste ad una brusca chiusura della valvola.

La depressione applicata è notevole, siamo in fase di aspirazione, anche qui come già definito sopra, ad una maggiore apertura della valvola corrispondono picchi di depressione. Si nota inoltre il lavoro svolto dall'automazione: in particolare il sistema rileva la presenza di condensa

nella linea (ispessimento dell'andamento della linea corrispondente alla depressione applicata).

- **Linea 2:** si può osservare come si comporta la macchina in caso il valore di ossigeno si incrementi oltre la soglia impostata dal gestore. Nel caso di superamento il sistema si chiude o si riduce bruscamente per evitare l'ingresso di ossigeno. La depressione è minima, tranne alcuni picchi in corrispondenza della maggiore apertura delle valvole. In questo caso il pozzo è poco produttivo.

Le stesse considerazioni possono essere estese anche alla **linea 6, 8 e 9.**

- **Linea 3:** in questo caso il pozzo presenta produttività variabile. Il sistema di automazione opera continue regolazioni per mantenere i parametri qualitativi del biogas captato entro il range di valori impostati dal gestore. Si nota che la depressione applicata è bassa.
- **Linea 4:** il volume % di metano misurato è notevole, con una media che si attesta intorno al 50%. La valvola di regolazione risulta essere quasi completamente aperta per tutto il periodo di riferimento, parametro associato ad una notevole depressione. Ciò indica che siamo in fase di aspirazione. Questo pozzo ha la caratteristica di essere costante nella produzione senza avere un particolare apporto di ossigeno alla miscela.

Le stesse considerazioni possono essere estese anche alla **linea 10.**

- **Linea 5:** in questa linea il valore del metano nel biogas è quasi sempre rimasto sotto il valore minimo impostato dal gestore; dunque, il sistema continua a testare il biogas con l'apertura della valvola con una specifica funzionalità di "forzatura" per verificare se le condizioni sono mutate nel tempo. Nelle ore in cui il volume % di CH<sub>4</sub> aumenta, si osserva una maggiore apertura della valvola di regolazione. La valvola segue inoltre l'andamento del volume % di O<sub>2</sub>, chiudendosi quando si supera la soglia impostata dal gestore.
- **Linea 7:** all'aumentare dell'apertura della valvola e quindi della portata la condensa nella linea origina variazioni importanti sulla pressione di aspirazione. Questi sono indicatori della necessità di intervento da parte degli operatori in campo per la sistemazione della linea.
- **Linea 11:** il pozzo presenta una produzione variabile, tendenzialmente scarsa. Il fattore predominante che origina la frequente chiusura della valvola è la presenza dell'ossigeno che tende a raggiungere repentinamente il limite superiore del range dei valori impostati dal gestore.

In generale, dagli andamenti osservati, si evince che: il sistema GAS STABILIZER apre o chiude la valvola di regolazione di ciascuna linea, a seconda del volume % di CH<sub>4</sub> e O<sub>2</sub> misurato. Maggiore è il volume di gas

combustibile  $\text{CH}_4$  presente nel biogas, maggiore è l'apertura delle valvole ma questo non è sempre vero perché se il volume di  $\text{O}_2$  supera la soglia impostata dal gestore, il sistema chiude o riduce l'apertura della valvola. Maggiore è l'apertura della valvola maggiore è la depressione.

L'aspetto di maggiore interesse è che i parametri misurati al collettore dello SKID 1 ed al collettore dello SKID2 sono stabili nonostante la notevole variabilità dei parametri misurati su ciascuna delle rispettive 12 linee di captazione.

Questo vuol dire che il biogas arrivato al collettore dello SKID1 e al collettore dello SKID2 è stato regolato e “stabilizzato” dal sistema Gas Stabilizer.

All'Allegato 1 e all'Allegato 2 si riportano i parametri misurati dal sistema Gas Stabilizer rispettivamente in SKID 1 ed in SKID2 in altri periodi. La stabilità è confermata.

### 7.3 ANALISI DELL'EFFICIENZA DEL SISTEMA GAS STABILIZER

Nel paragrafo precedente abbiamo visto come Gas Stabilizer migliora la qualità del biogas in arrivo al motore; si analizza ora come, in relazione al volume di biogas estratto, è aumentata la quantità di energia elettrica prodotta dopo l'installazione di Gas stabilizer,

Allo scopo, si analizzano i seguenti parametri per il quadriennio 2015 - 2018 (pre Gas Stabilizer) e nel quadriennio 2019 - 2022 (post Gas Stabilizer):

1. Quantità di energia elettrica prodotta in un anno in kilowattora (kWh), misurata al contatore UTF del cogeneratore.
2. Il volume totale di biogas LFG50<sup>6</sup> in Normal Metri Cubi (Nm<sup>3</sup>/h) estratto in un anno, in arrivo al cogeneratore.
3. Tonnellate di rifiuti conferiti in discarica.

Nel grafico che segue si riportano i suddetti parametri dal 2015 al 2022 (*grafico 10*):

---

<sup>6</sup> Il volume viene sempre standardizzato alla concentrazione di metano di riferimento ovvero al 50% VOL e alle condizioni "normali" che sono 0°C e 1 atm di pressione.

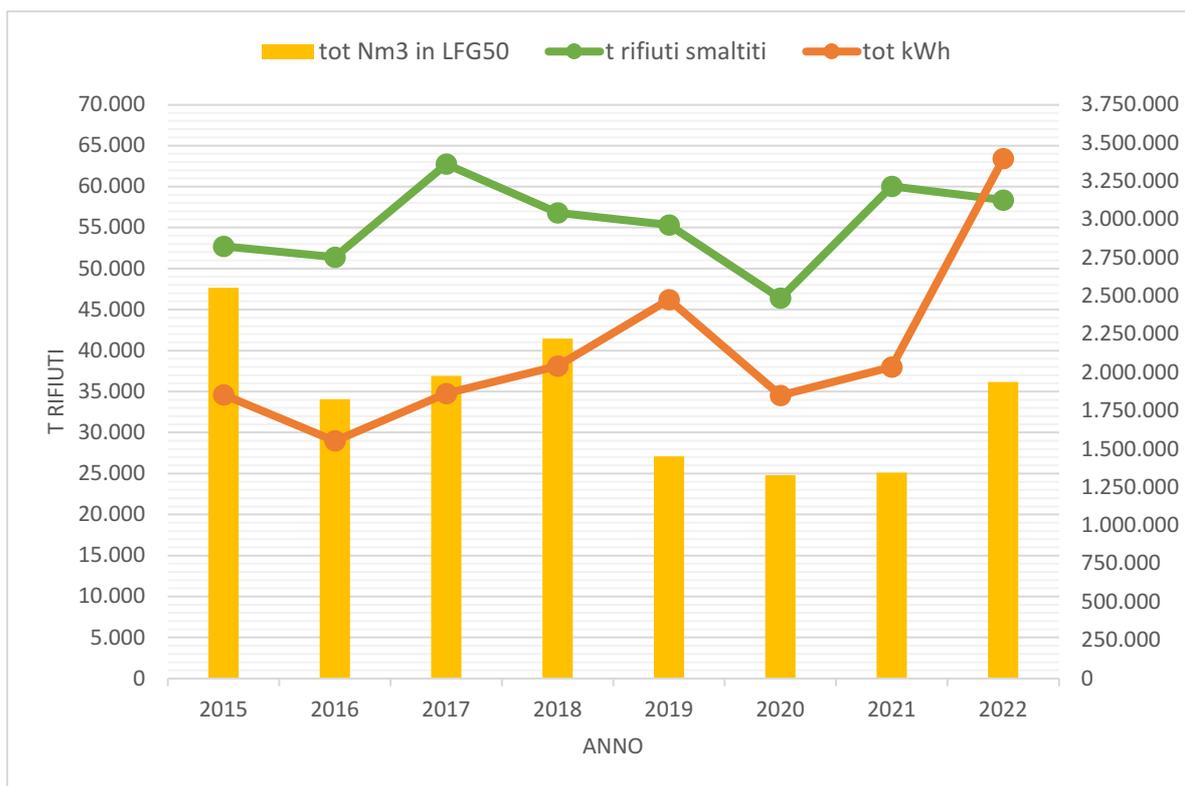


GRAFICO 10 - QUANTITÀ DI RIFIUTI SMALTITI, VOLUME DI BIOGAS ESTRATTO IN ARRIVO AL MOTORE ED ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA PRESSO L'IMPIANTO DI MONTESCHIANTELLO

Occorre però considerare che il volume di biogas estratto dipende dal quantitativo di rifiuti conferiti in discarica. Una maggiore quantità di rifiuti comporta una maggiore produzione di biogas e viceversa.<sup>7</sup>

Allo stesso modo, occorre considerare che i kWh di energia elettrica prodotta per anno, dipendono, oltre che dal lavoro di Gas Stabilizer, anche dalle ore di funzionamento del motore che possono variare di anno in anno a seconda della

<sup>7</sup> Sappiamo che nella produzione di biogas intervengono anche altri fattori che non possiamo controllare connessi sia alle caratteristiche dei rifiuti (composizione del rifiuto, pezzatura, densità, umidità) sia variabili ambientali (temperatura, barometria, precipitazioni, ventosità). La composizione dei rifiuti gioca un ruolo importante: una maggiore quantità di frazione organica contenuta nel rifiuto abbancato, causa un maggior potenziale di bio-metanazione dello stesso e questo determinerà una maggiore quantità di metano presente nel biogas.

durata dei fermi macchina dovuti alle manutenzioni e della potenza a cui lavora il motore stesso.

Date queste considerazioni, si normalizzano i volumi di biogas estratto dal 2015 al 2022 ad una quantità costante di rifiuti conferiti in discarica e si normalizzano i kWh di energia elettrica prodotta dal 2015 al 2022 alle stesse ore di funzionamento del motore.

In *tabella 4* sono riportati i volumi di biogas estratto dal 2015 al 2022 e le tonnellate di rifiuti conferiti in discarica.

Volume di biogas estratto e tonnellate di rifiuti smaltiti								
Anno	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
tot Nm <sub>3</sub> in LFG50	2.552.747	1.823.952	1.976.867	2.221.797	1.451.554	1.328.956	1.345.469	1.936.613
t rifiuti	52.719	51.377	62.759	56.803	55.327	46.390	60.041	58.355

TABELLA 4 - VOLUME DI BIOGAS ESTRATTO (NM3) E TONNELLATE DI RIFIUTI SMALTITI

La maggiore quantità di rifiuti è stata conferita in discarica nel 2017 con un peso pari a 62.759 tonnellate. Si normalizzano i volumi di biogas estratti a questa quantità di rifiuti.

Nel *grafico 11* sono mostrati i risultati ottenuti:

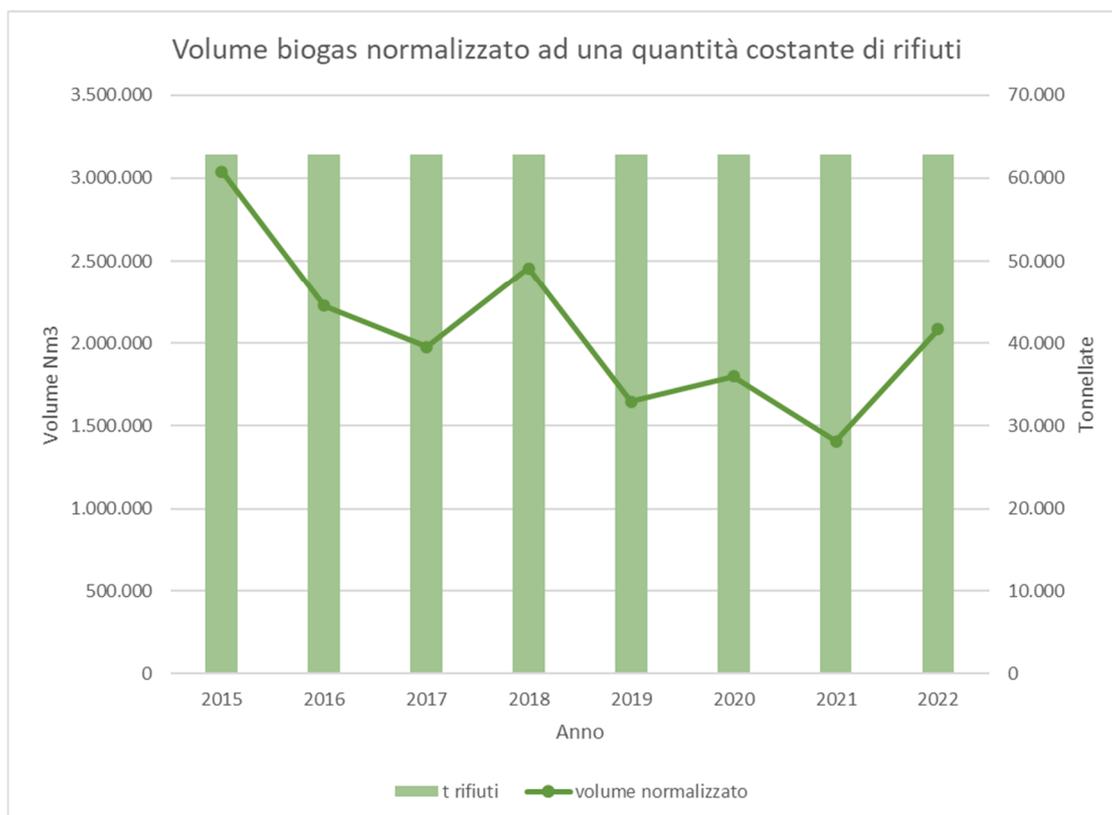


GRAFICO 11 - VOLUME DI BIOGAS ESTRATTO (NM3) NORMALIZZATO ALLA QUANTITÀ DI 62.759 TONNELLATE DI RIFIUTI PER OGNI ANNO

Si normalizzano i kWh di energia elettrica prodotta nell'intervallo 2015 - 2022 alle stesse ore di funzionamento del motore.

In *tabella 5* sono mostrati i kWh di energia elettrica prodotta e le ore di funzionamento del motore nell'intervallo di anni definito sopra.

Energia elettrica prodotta ed ore di funzionamento del motore								
Anno	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
tot kWh	1.854.320	1.553.060	1.861.610	2.041.680	2.475.850	1.849.850	2.036.010	3.398.000
h funzionamento	7.154	7.214	7.847	6.821	7.578	7.379	7.701	7.670

TABELLA 5 - ENERGIA ELETTRICA PRODotta (KWH) ED ORE DI FUNZIONAMENTO DEL MOTORE DI COGENERAZIONE

Si evince che il maggior numero di ore di funzionamento del motore (7.847) è attribuibile all'anno 2017. Si normalizza l'energia elettrica prodotta a questo numero di ore. Nel *grafico 12* sono riportati i risultati ottenuti.

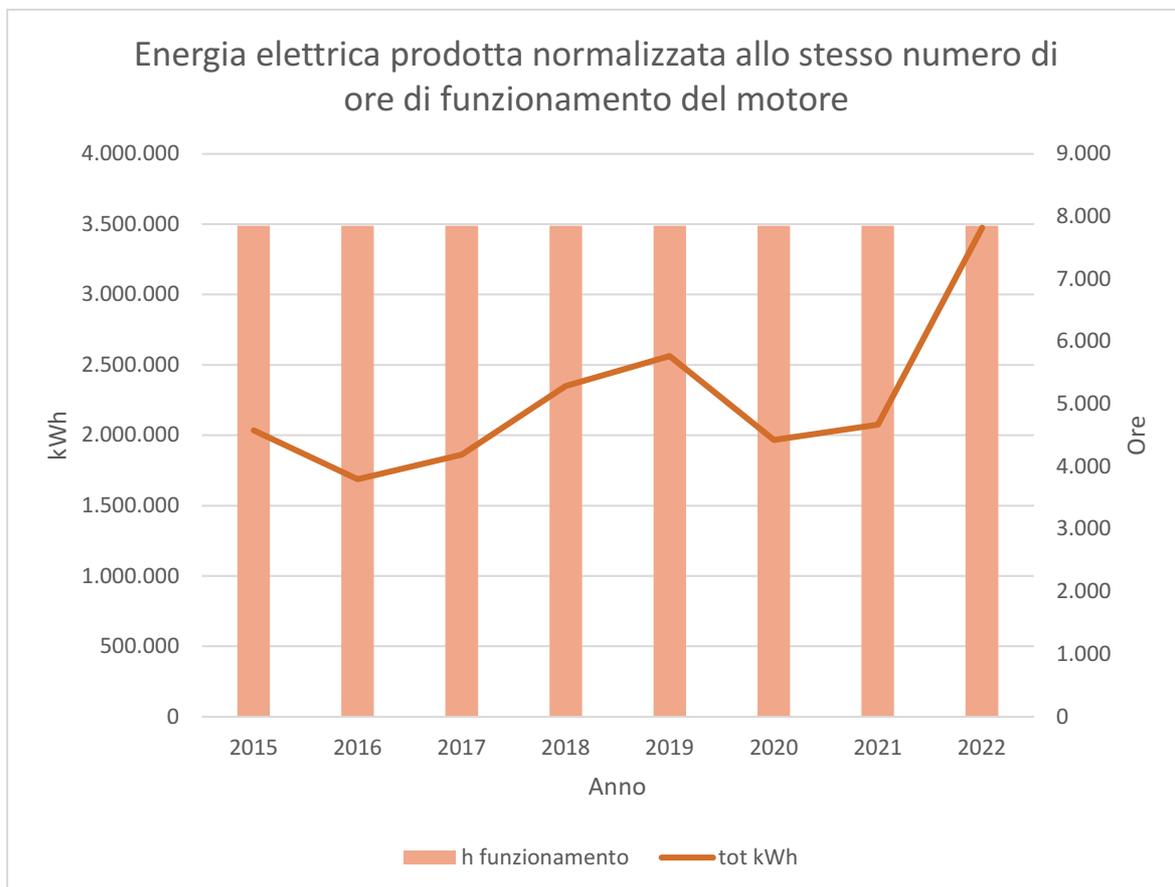


GRAFICO 12 – ENERGIA ELETTRICA PRODotta (KWH) NORMALIZZATA A 7847 ORE DI FUNZIONAMENTO DEL MOTORE PER OGNI ANNO

Si mette ora a confronto l'energia elettrica prodotta normalizzata, con il volume di biogas estratto negli anni pre e post Gas Stabilizer. In tal modo l'energia elettrica prodotta dipenderà solo dalle caratteristiche quanti-qualitative del biogas estratto (a sua volta normalizzato allo stesso quantitativo di rifiuti) e non dal numero di ore in cui ha lavorato il motore.

Si riportano nel *grafico 13* i volumi di biogas e l'energia elettrica prodotta normalizzati:

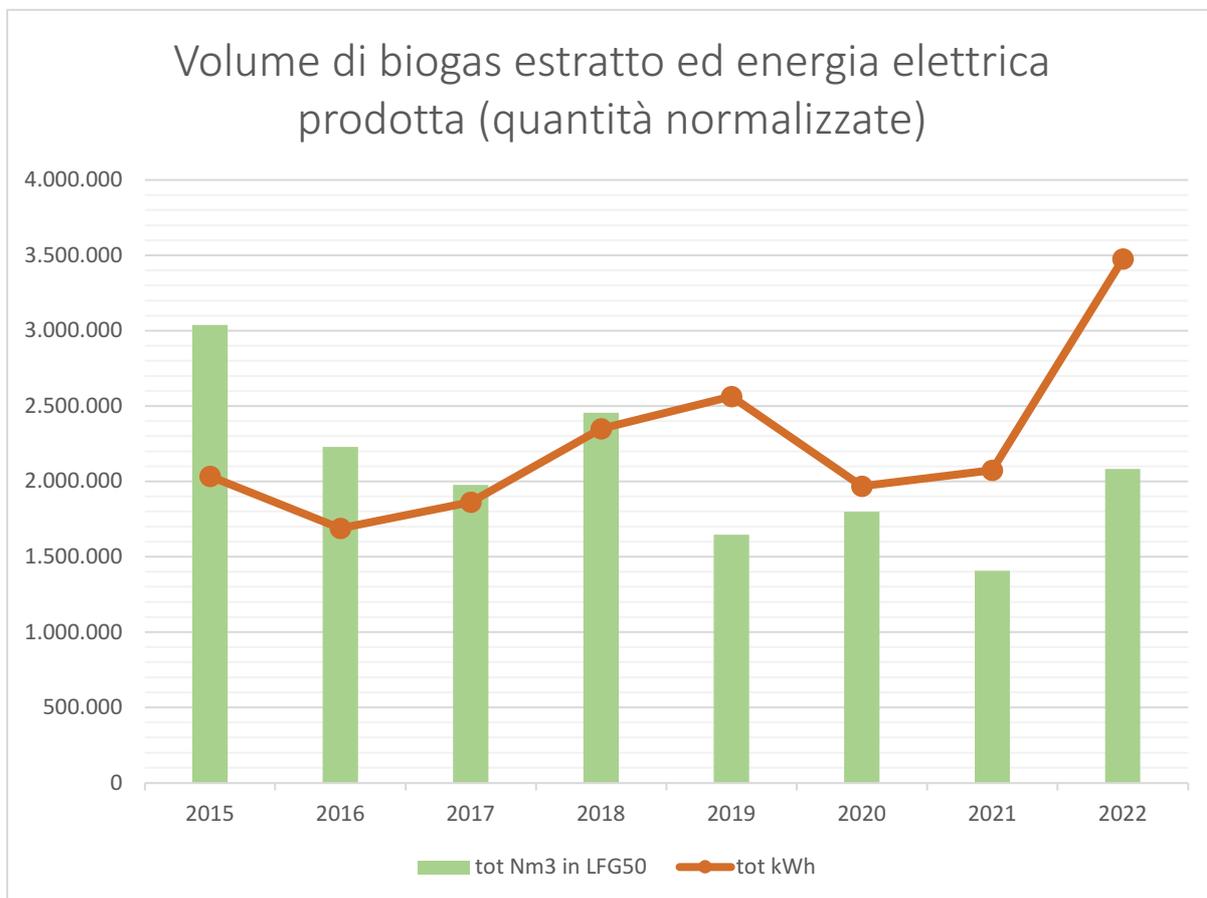


GRAFICO 13 – VOLUME DI BIOGAS ESTRATTO NORMALIZZATO ALLO STESSO QUANTITATIVO DI RIFIUTI ED ENERGIA ELETTRICA PRODOTTI NORMALIZZATI ALLE STESSO ORE DI FUNZIONAMENTO DEL MOTORE

Si evince che nel quadriennio 2015 – 2018 l'energia elettrica prodotta si è attestata su una media pari a 1.983.419 kWh contro i 2.520.484 kWh prodotti nel quadriennio successivo (2019 – 2022). L'**incremento** nella produzione di energia elettrica è pari al **+27%**.

Confrontando la produzione nell'anno 2019 (anno di installazione della prima macchina Gas Stabilizer) con l'anno 2018, l'incremento è pari al **+9%**.

Dal 2019 al 2022 si osserva una contrazione media dei volumi del biogas in arrivo al motore del -29% rispetto al quadriennio 2015-2019 (1.733.398 Nm<sup>3</sup> di biogas estratto dal 2019 al 2022 contro i 2.424.635 Nm<sup>3</sup> estratti dal 2015 al 2019). Ciò nonostante, in relazione al volume di biogas estratto, l'energia elettrica media prodotta è aumentata (1.983.419 kWh vs. 2.520.484 kWh) con un picco di 3.476.415 kWh nel 2022 (+48% rispetto al 2018).

Questo aumento, a fronte della diminuzione del volume di biogas estratto, è quindi da correlare ad una migliore qualità del biogas, in particolare ad un incremento nel volume % di CH<sub>4</sub>, che ne ha aumentato il potere calorifico.

Nel grafico che segue (*grafico 14*) si evidenzia il rapporto tra l'energia elettrica prodotta e volume di biogas estratto:

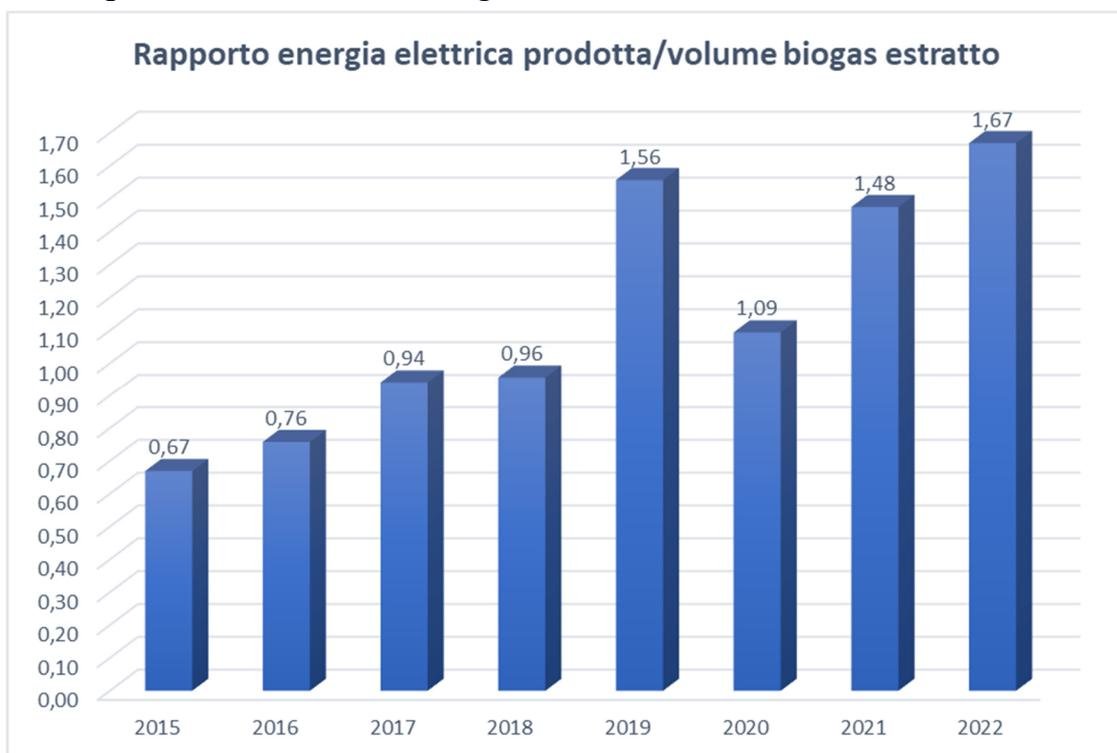


GRAFICO 14 – RAPPORTO ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA (KWH) E VOLUME DI BIOGAS ESTRATTO (NM3) DAL 2015 AL 2022

Dal rapporto si evidenzia che, dal 2019 al 2022, da 1 Nm<sup>3</sup> di biogas estratto si è prodotta una media di 1,45 kWh di energia elettrica, contro una media di 0,83 kWh prodotti nel quadriennio precedente.

## CAPITOLO OTTAVO

### CONCLUSIONI

Il sistema GAS STABILIZER, nelle stazioni di regolazione in cui è presente, ha determinato un aumento della qualità del biogas stesso rendendo massimo il quantitativo di risorsa combustibile (CH<sub>4</sub>) disponibile per il recupero energetico.

In particolare, nella stazione di regolazione SRA a partire dal 2019, anno di installazione del primo sistema GAS STABILIZER denominato SKID 1, si è verificato un incremento del volume % di CH<sub>4</sub> presente nel biogas pari al +10% rispetto all'anno precedente pre GAS STABILIZER. Nello specifico il volume % annuo di CH<sub>4</sub> si attesta su una media pari al 35,38% nell'anno 2019/2020 contro una media del 32,24% nell'anno 2018/2019.

L'incremento non si ferma ma continua negli anni successivi, con un +5% nel secondo anno (2020/2021) rispetto al precedente (con una % media annua di CH<sub>4</sub> pari al 37,22%) e del +7% nel terzo anno (2021/2022) rispetto al precedente (con una % media annua di CH<sub>4</sub> pari al 39,77%).

Le stesse evidenze si estendono alla stazione di regolazione SRG in cui dal 2021 è installato il secondo sistema GAS STABILIZER denominato SKID 2. Da giugno 2021, mese di installazione del sistema SKID 2, ad ottobre 2022 (15

mesi) si è verificato un incremento del volume % di CH<sub>4</sub> presente nel biogas pari al +35% rispetto ai 15 mesi precedenti pre GAS STABILIZER. Nello specifico il volume % annuo di CH<sub>4</sub> si attesta su una media pari al 30,74% nei 15 mesi post GAS STABILIZER contro una media del 22,83% nei 15 mesi precedenti, prima dell'installazione del sistema.

Il maggior quantitativo di CH<sub>4</sub> nella miscela di biogas implica un incremento del potere calorifico del biogas stesso e ciò determina un aumento dell'energia potenzialmente ricavabile. Questo aumento, nelle discariche in cui è presente un impianto di cogenerazione (come nella discarica di Monteschiannello), comporta un incremento dell'energia elettrica prodotta che viene immessa in rete, ottenendo così un maggior quantitativo di energia da fonte rinnovabile. Si ricorda infatti che il biogas è stato indicato dall'UE tra le fonti energetiche rinnovabili (*direttiva 2018/850/UE*).

Tale evidenza è dimostrata nell'analisi di cui sopra, in cui si evince che dal 2019 si è avuto incremento dell'energia elettrica prodotta arrivando, nel 2022, a livelli molto elevati di produzione. In particolare, negli ultimi quattro anni (2019-2022) dall'installazione di GAS STABILIZER, si osserva un incremento nella produzione di energia elettrica pari al +27% rispetto al quadriennio precedente (2015 – 2018). Nello specifico l'energia elettrica prodotta dal 2015

al 2018 si attesta su una media pari a 1.983.419 kWh contro una media di 2.520.484 kWh prodotti nel quadriennio successivo (2019 – 2022).

Oltre all'aumento della risorsa combustibile disponibile per il recupero energetico, l'aumento del volume % di metano nel biogas estratto, si traduce in una riduzione dell'inquinamento ambientale in quanto il suo maggiore recupero fa sì che ne venga disperso in quantità inferiore dalla superficie della discarica. Si ricorda infatti che il metano è un gas climalterante con un potenziale di riscaldamento globale (*Global Warming Potential – GWP*) ben 27,9 volte superiore rispetto a quello della CO<sub>2</sub> su un orizzonte temporale di 100 anni ed 81,2 volte maggiore di quello della CO<sub>2</sub> su un orizzonte temporale di 20 anni, così come riportato nel sesto ed ultimo rapporto di valutazione dell'IPPC pubblicato il 9 agosto 2021 e denominato *AR6*.

Dalla campagna di monitoraggio delle dispersioni di biogas dalla superficie della discarica del 2021 (indagini svolte annualmente dal professor Tatano et al. dell'Università degli Studi di Urbino) risulta che l'efficienza di captazione negli anni 2019, 2020, e 2021 è assai positiva con una media che si attesta sul 74% e che la dispersione complessiva di CH<sub>4</sub> si colloca - assai positivamente - al di sotto delle dispersioni totali riscontrate nelle campagne ordinarie estive dal 2005 al 2019 e i valori di flusso di CH<sub>4</sub> misurati presso la Discarica di Fano dal 2005 al 2021 ricadono ampiamente entro l'indicazione di letteratura

tecnico-scientifica internazionale riportante l'ampio range  $0,0002 \rightarrow 4.000 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  quale rappresentativo per emissioni diffuse di  $\text{CH}_4$  da discarica (*Bogner et al., 1997; Mosher et al., 1999*), ad indicazione di una perdurante condizione di attenta ed efficace gestione del sito di discarica di Fano in esame.

In generale quindi, ottimizzare il recupero del biogas migliorando l'efficienza di captazione, si traduce in una riduzione dell'inquinamento ambientale grazie all'abbattimento delle emissioni di metano dalle discariche. Ma non solo metano, il biogas tipico ( $\text{LFG}_{50}$  – LandFillGas) è composto per un 35% da anidride carbonica, un altro gas climalterante. Inoltre, il flusso di biogas dal corpo rifiuti, fa da vettore per i microcomponenti olfattivamente percepibili, trascinandoli e diffondendoli in atmosfera, dunque, una migliore efficienza di captazione, consente di abbattere l'impatto odorigeno causato dalla discarica.

Da uno studio LCA comparativo condotto nel 2021 da NIER INGEGNERIA SPA, che mette a confronto uno scenario di discarica tradizionale, con lo stesso scenario in cui è stata installata la macchina GAS STABILIZER, si evince che l'impiego di GAS STABILIZER ha portato benefici per tutte le categorie di impatto oggetto d'analisi. Per la categoria di impatto Global warming (GWP100a) l'analisi LCA ha dimostrato che, rispetto allo scenario di discarica tradizionale, l'impiego di GAS STABILIZER ha evitato 415 kg di

CO<sub>2</sub>eq per ettaro al giorno (*Report LCA di uno stabilizzatore di biogas (GAS STABILIZER)*, 09.09.2021)

Tra gli obiettivi di sviluppo sostenibile “Sustainable development goals” delle Nazioni Unite (conosciuta anche come Agenda 2030), al punto 7 si annovera “Affordable and clean energy”: l'aumento dell'uso di combustibili fossili senza azioni per mitigare i gas serra avrà implicazioni sul cambiamento climatico globale. L'efficienza energetica e l'aumento dell'uso delle energie rinnovabili contribuiscono alla mitigazione dei cambiamenti climatici e alla riduzione del rischio di catastrofi ed è per questo che uno degli obiettivi al 2030 è quello di aumentare sostanzialmente la quota di energia rinnovabile nel mix energetico globale.

Per concludere, si può affermare che GAS STABILIZER rendendo massimo il quantitativo di risorsa combustibile (CH<sub>4</sub>) nel biogas estratto e determinando così un aumento dell'energia elettrica prodotta da fonte rinnovabile, è una tecnologia che rientra nel precedente obiettivo.

## BIBLIOGRAFIA

- *Biogas da Discarica* – E. Magnano – EPC edizioni
- *Biogas da rifiuti solidi urbani* – R. Vismara, F. Malpei, M. Centemero – Dario Flaccovio Editore
- *Ingegneria dei rifiuti solidi* – P. Sirini, G. Tchobanoglous, R.C. Noto La Diega – Mc Graw Hill
- *Energia da biogas* – F. Arecco – Edizioni Ambiente
- *La Discarica Sostenibile* – R. Cossu, V. Grossule, M.C. Lavagnolo – CISA Publisher
- *Il trattamento del percolato da discarica RSU* - C. Collivignarelli – Editore C.I.P.A. Srl
- *Le discariche controllate* - S. Gervasoni – Editore ULRICO HOEPLI MILANO
- *Biogas management in controlled landfills* - Damiani L., Gandolla M., 1992
- *SMARTEnvi PROJECT - SMART DECISION TOOLS FOR REDUCING HAZARDS TO OUR ENVIRONMENT AND WATER RESOURCES BY REHABILITATING OPEN DUMPS* – S. De Rosa, F. Furlani, A. Giuliani – ASET spa
- *What a waste 2.0* – World Bank Group, 2018
- *GAS STABILIZER SYSTEM AND METHOD TO CONTROL A BIOGAS COLLECTION PLANT* – M. Antonini, F. Sandrini

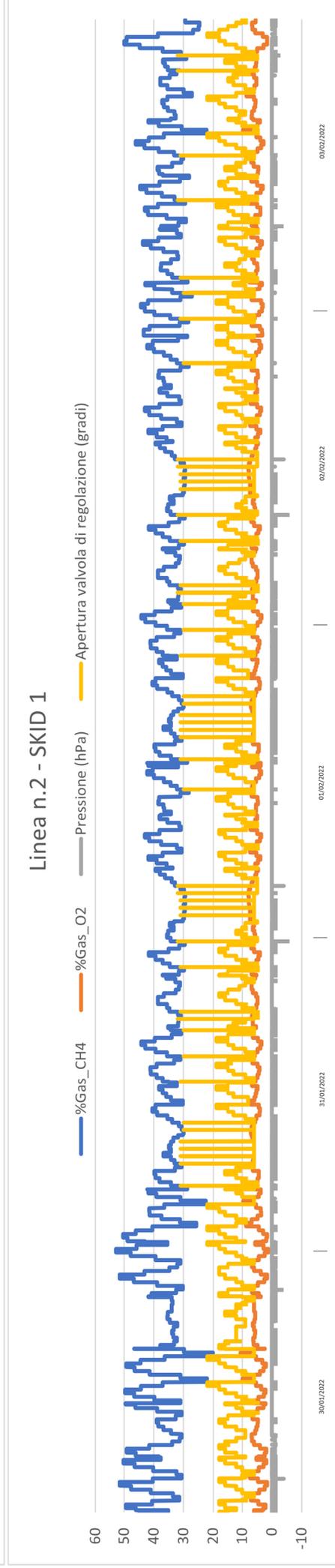
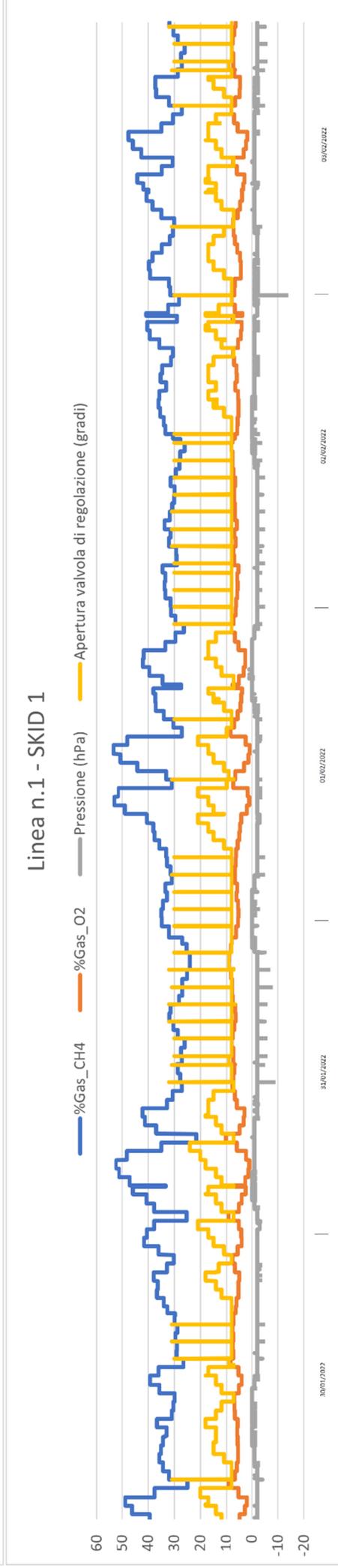
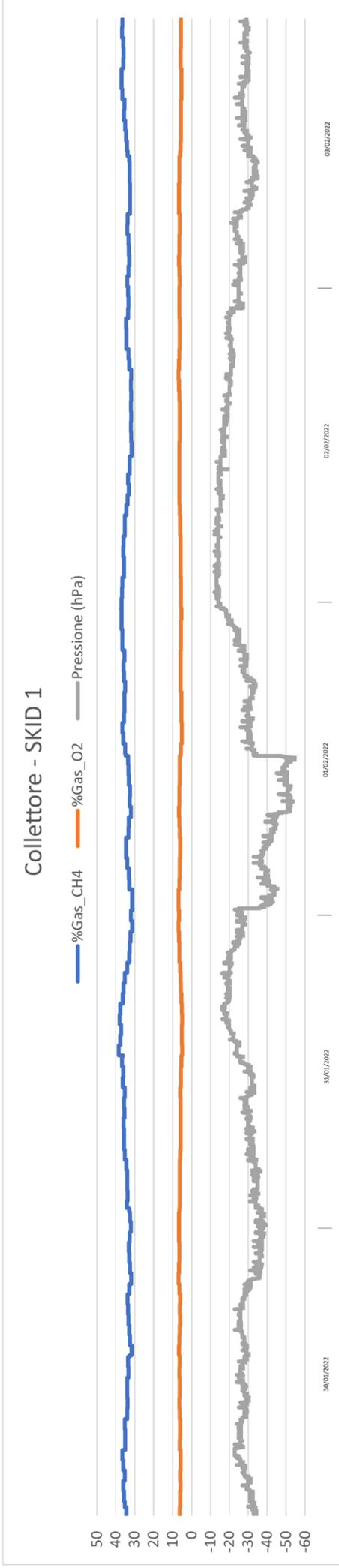
- *Gas Stabilizer. Self - regulating recovery system for landfill generated biogas* – M. Antonini, F. Sandrini
- *Implementazione di un sistema di regolazione automatica dei pozzi biogas presso Discarica di Fano* – S. De Rosa, ASET spa
- *“MONITORAGGIO DELLE DISPERSIONI DI BIOGAS DA DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI”* – F. Tatàno
- *Caratterizzazione chimico-fisica del biostabilizzato proveniente da impianti di trattamento meccanico biologico dei rifiuti Studio APAT-ARPA-CIC.*
- *“Relazione tecnica - ATTIVITA' DI PULIZIA DELLE CAMERE DI COMBUSTIONE DEL GRUPPO ELETTROGENO JGS 320 GS-L.L.” - ASET spa*
- *“Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge”*  
– Valerio Paolini, Francesco Petracchini, Marco Segreto, Laura Tomassetti, Nour Naja & Angelo Cecinato.
- *Report LCA di uno stabilizzatore di biogas (GAS STABILIZER), 09.09.2021* – NIER INGEGNERIA SPA
- *DIRETTIVA 1999/31/CE e s.m.i. relativa alle discariche di rifiuti.*
- *DECRETO LEGISLATIVO n°36 del 13 gennaio 2003 e s.m.i. relativo alle discariche di rifiuti.*
- *DECRETO LEGISLATIVO n°387 del 29 dicembre 2003*
- *DECRETO LEGISLATIVO n°152 del 3 aprile 2006: Norme in materia ambientale.*
- *DIRETTIVA 2008/98/CE e s.m.i. relativa ai rifiuti.*

- *DIRETTIVA 2010/75/UE relativa alle emissioni industriali - prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento.*
- *DIRETTIVA 2012/27/UE e s.m.i. sull'efficienza energetica.*
- *DIRETTIVA 2018/850/UE*
- *DIRETTIVA 2018/2001/UE - energia da fonti rinnovabili*
- *REGOLAMENTO 2018/1999/UE - azione per il clima.*
- *DECISIONE (UE) 2018/1147*

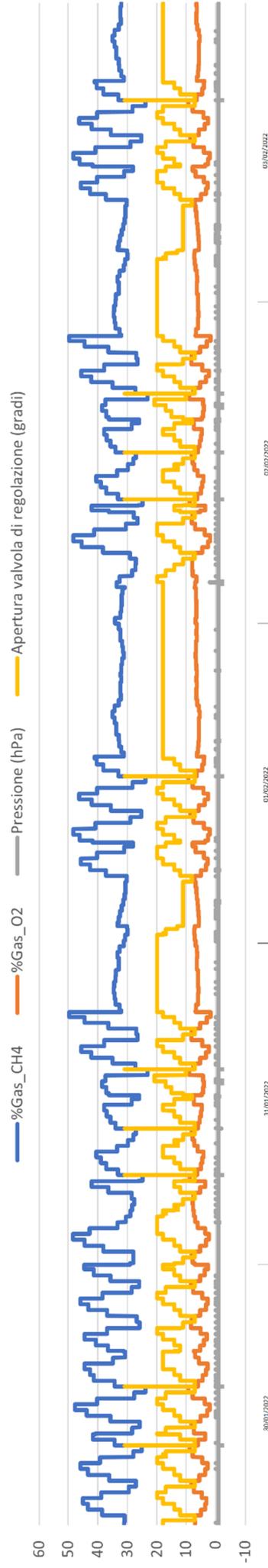
## **SITOGRAFIA**

- <https://www.zero3.cloud/impatto-emissioni-metano-cambiamento-climatico/>
- [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_Chapter08\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf)
- <https://www.zero3.cloud/biogas-da-rifiuti-e-fenomenologia-produttiva-del-biogas-in-discarda/>
- <https://www.asetservizi.it/servizi-ambientali/servizi/discarda/discarda-controllata-per-rifiuti-non-pericolosi/>
- [https://www.ambientediritto.it/dottrina/Politiche%20energetiche%20ambientali/politiche%20e.a/biogas\\_pandolfo.htm](https://www.ambientediritto.it/dottrina/Politiche%20energetiche%20ambientali/politiche%20e.a/biogas_pandolfo.htm)
- <https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>
- <https://sdgs.un.org/goals>

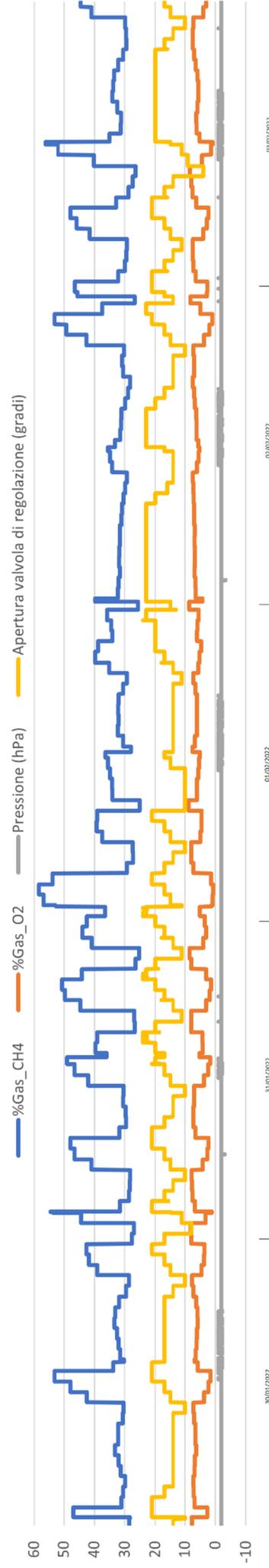
**ALLEGATO 1 - Parametri di captazione automatizzata del biogas misurati dal sistema Gas Stabilizer SKID 1 sul collettore e su 12 linee di captazione della stazione di regolazione SRA dal 30/01/2022 al 03/02/2022**



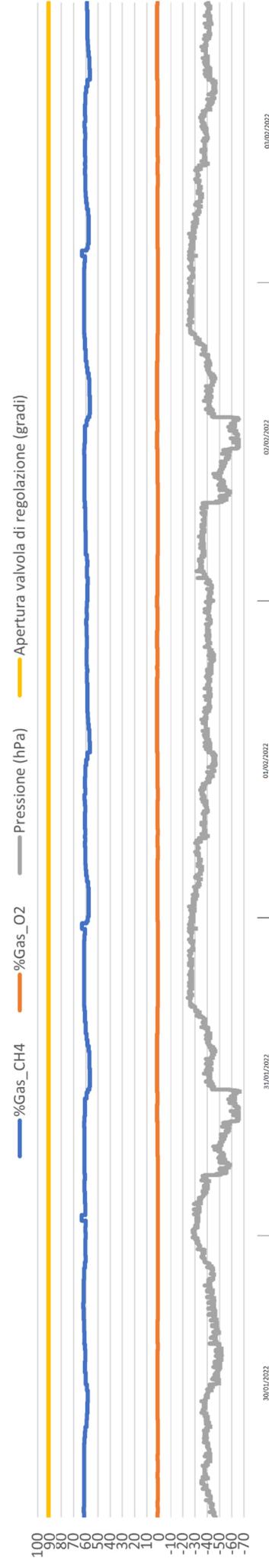
### Linea n.3 - SKID 1



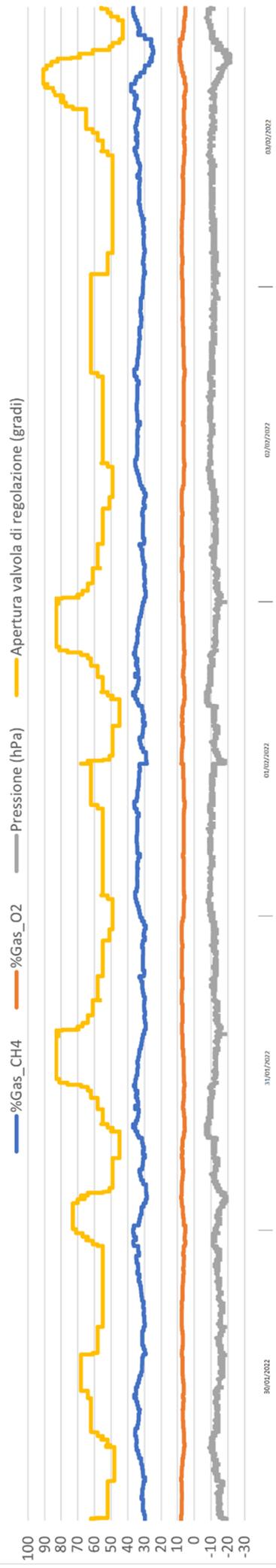
### Linea n.4 - SKID 1



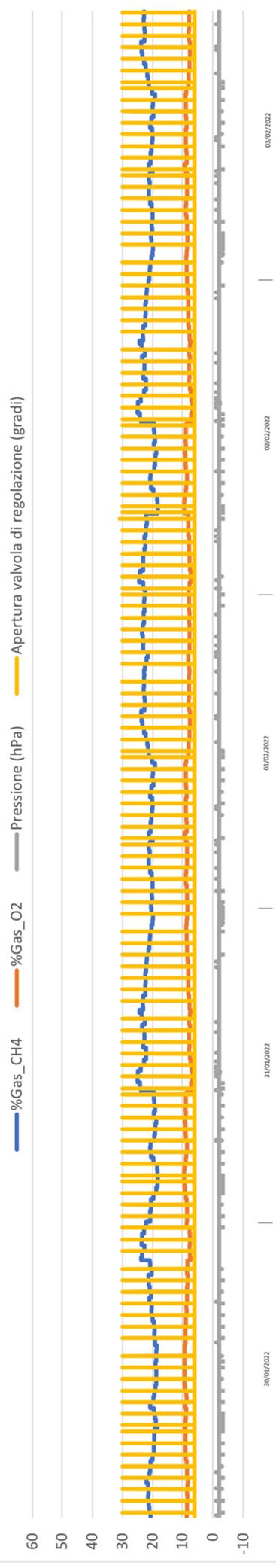
### Linea n.5 - SKID 1



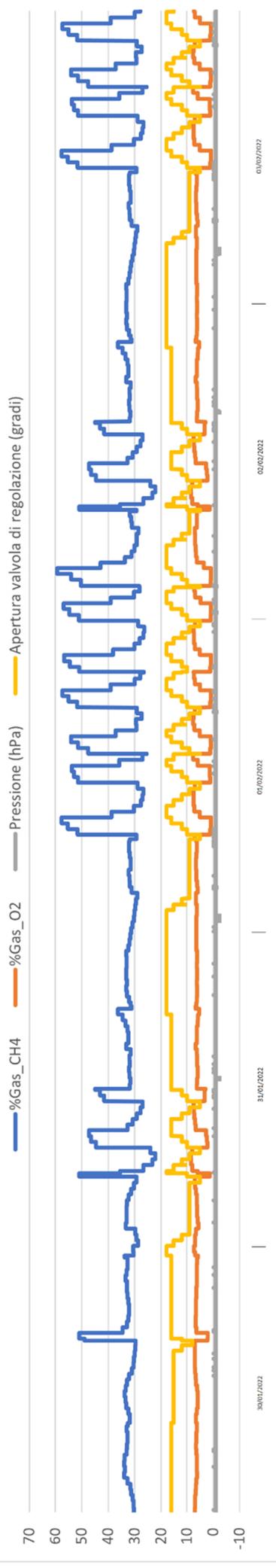
### Linea n.6 - SKID 1



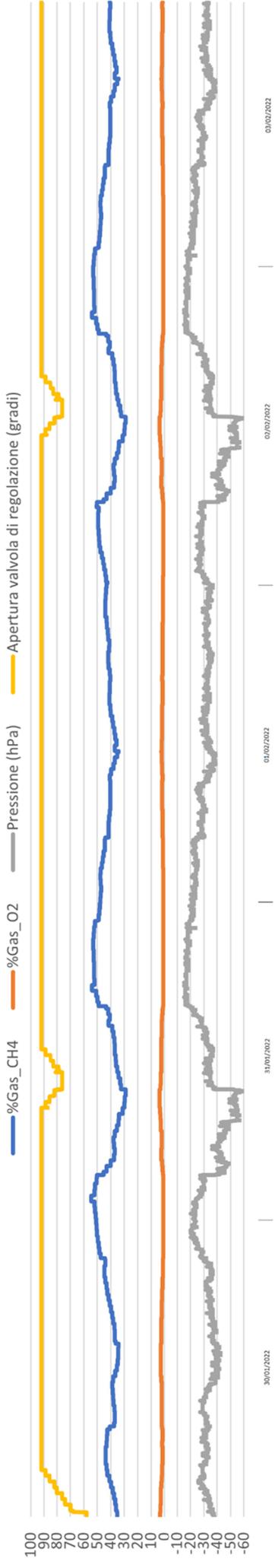
### Linea n.7 - SKID 1



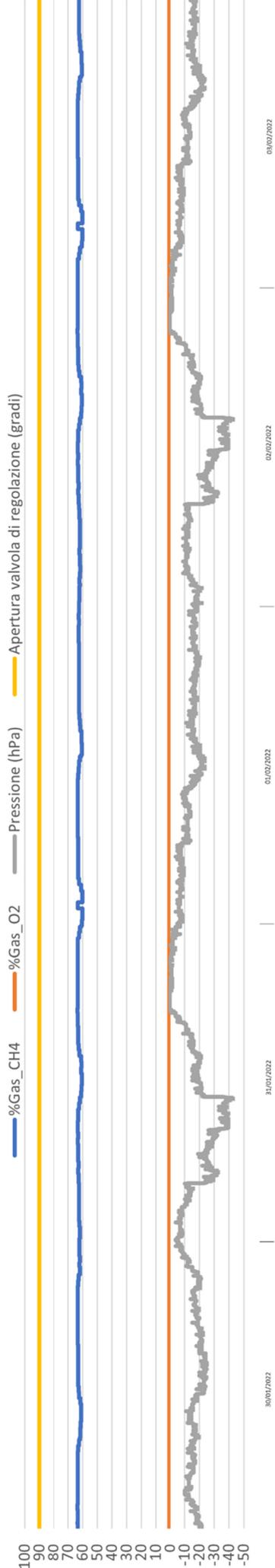
### Linea n.8 - SKID 1



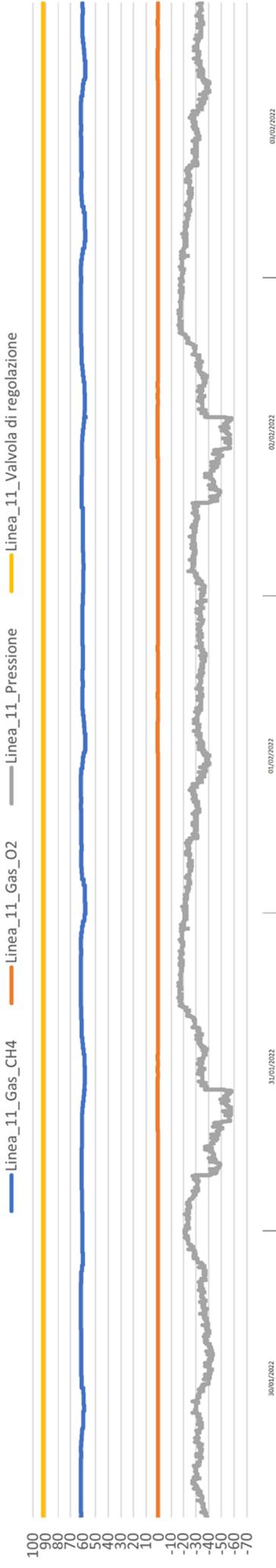
### Linea n.9 - SKID 1



### Linea n.10 - SKID 1

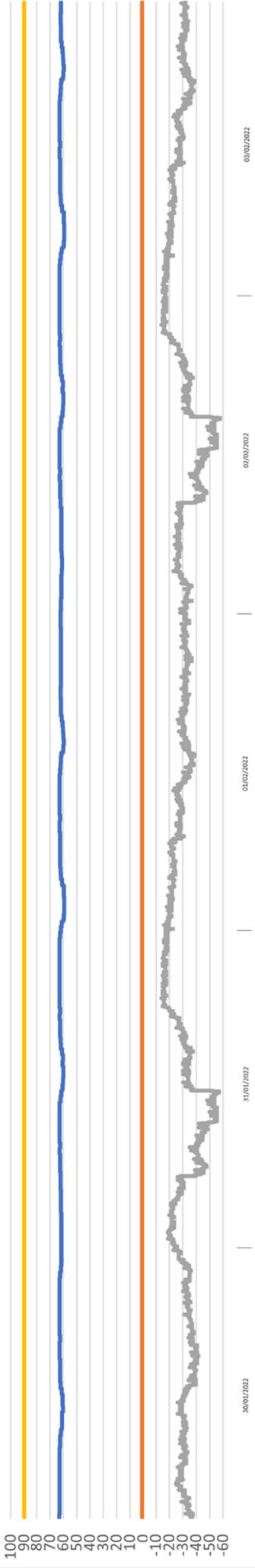


### Linea n.11 - SKID 1

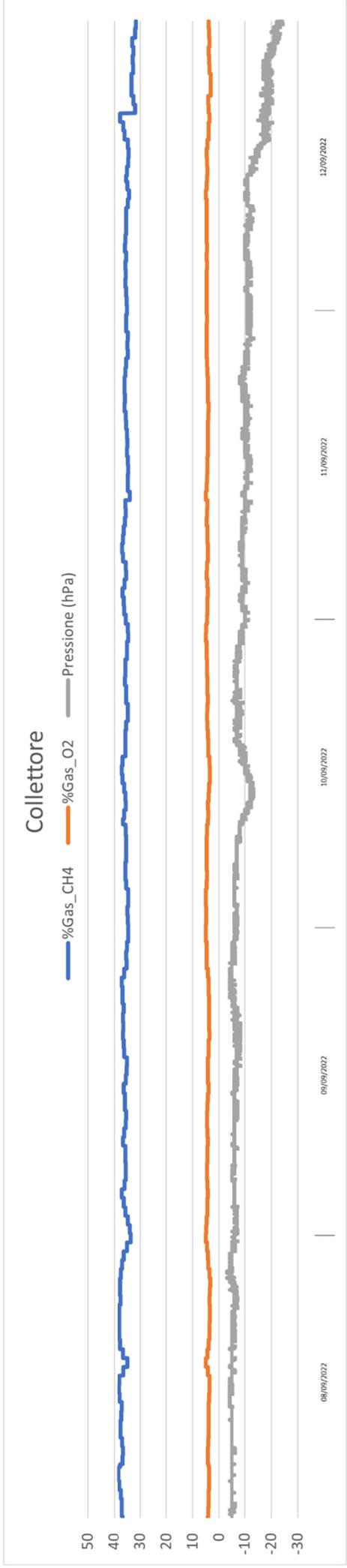
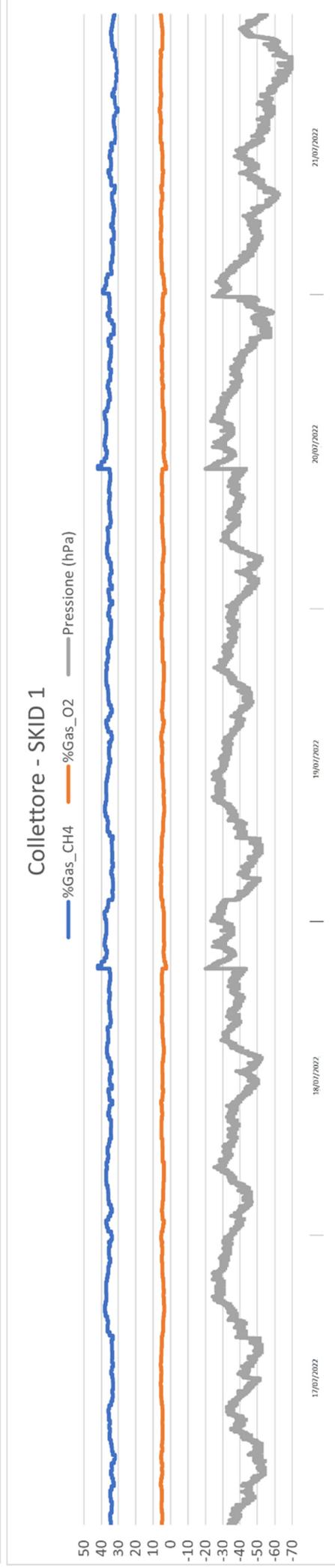
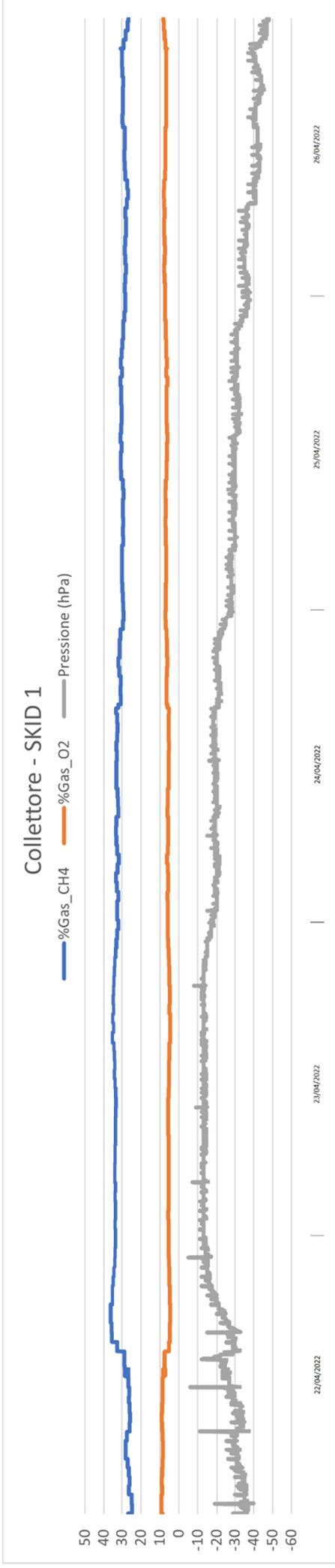


# Linea n.12 - SKID 1

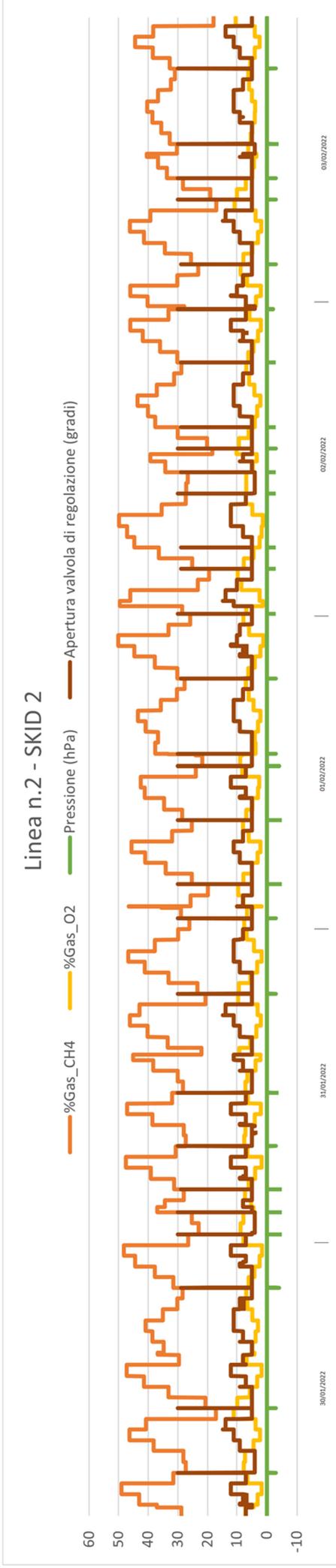
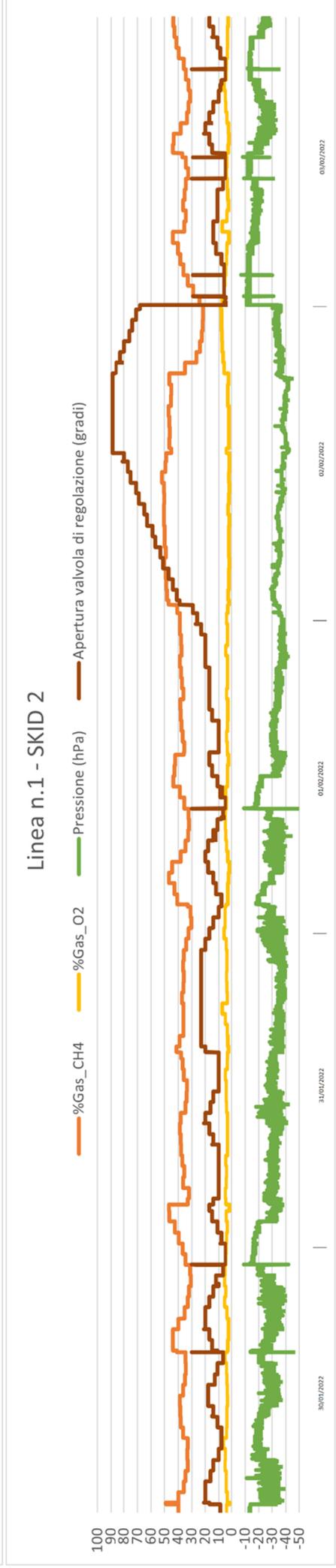
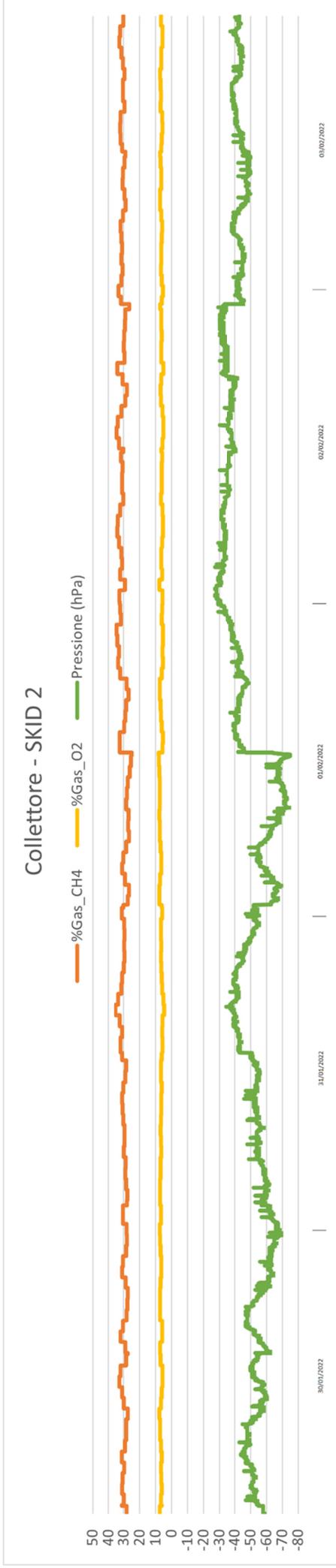
— %Gas\_CH4    — %Gas\_O2    — Pressione (hPa)    — Apertura valvola di regolazione (gradi)



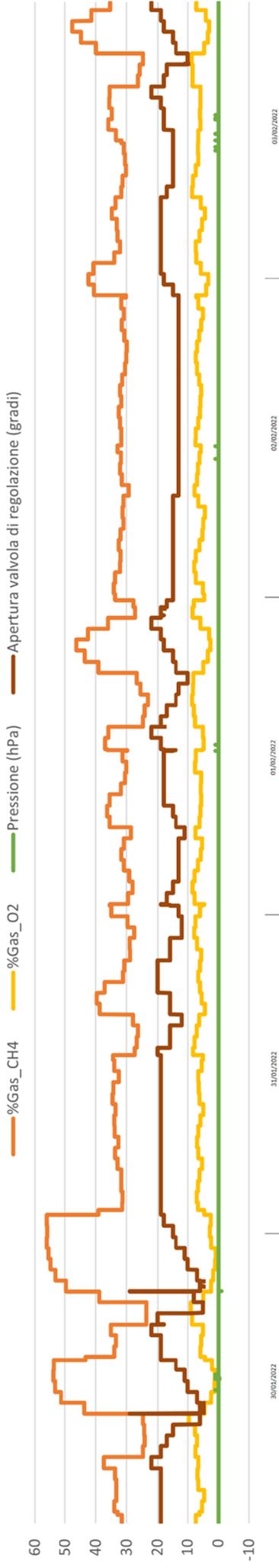
**Parametri di captazione automatizzata del biogas misurati dal sistema Gas Stabilizer SKID 1 sul collettore della stazione di regolazione SRA in differenti periodi**



**ALLEGATO 2 - Parametri di captazione automatizzata del biogas misurati dal sistema Gas Stabilizer SKID 2 sul collettore e su 11 linee di captazione della stazione di regolazione SRG dal 30/01/2022 al 03/02/2022**



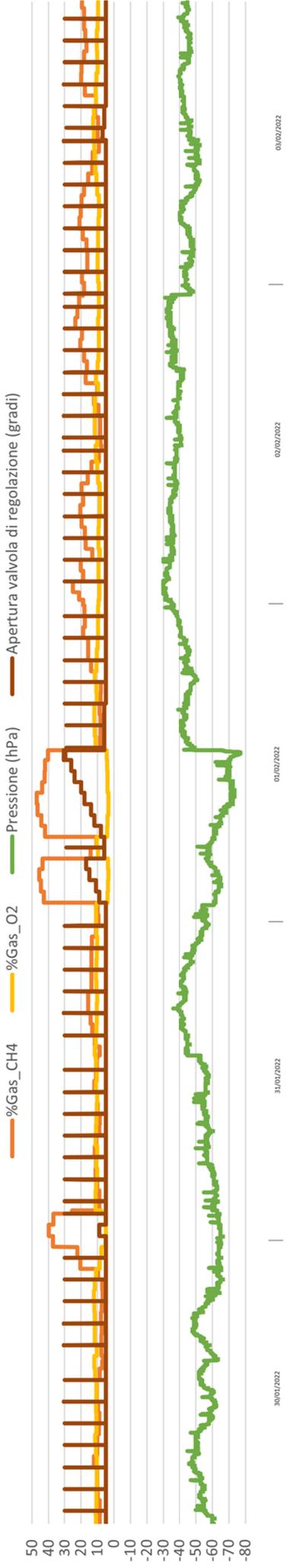
### Linea n.3 - SKID 2



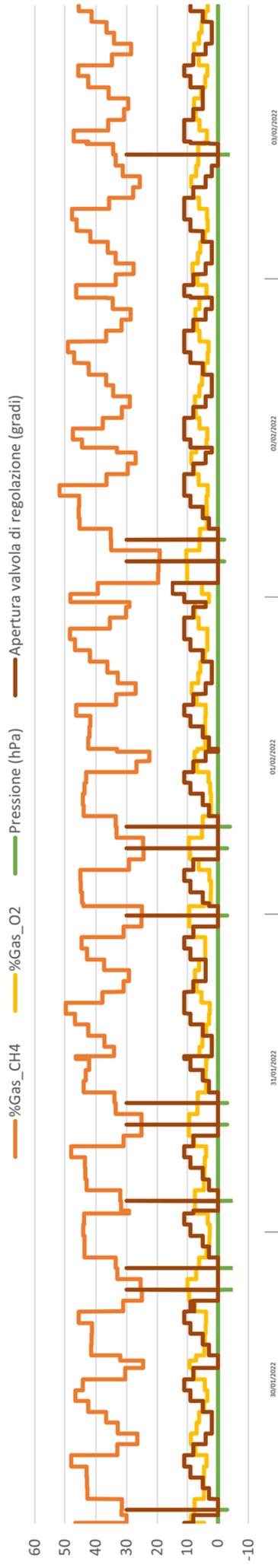
### Linea n.4 - SKID 2



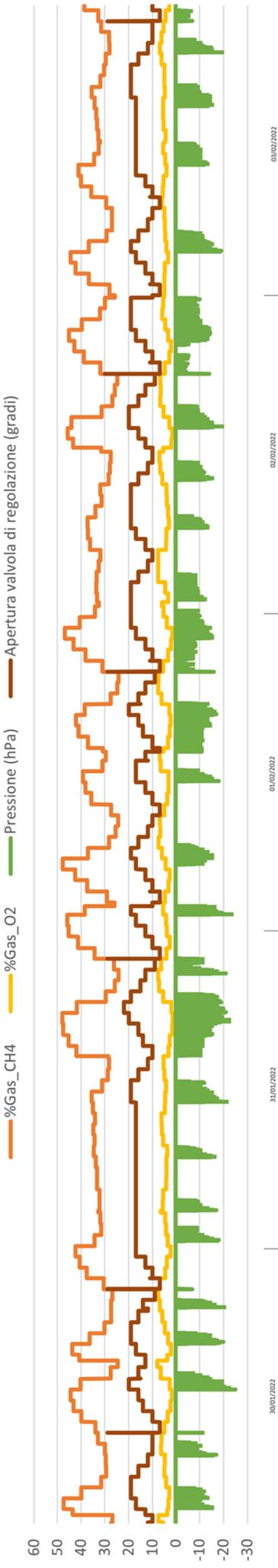
### Linea n.5 - SKID 2



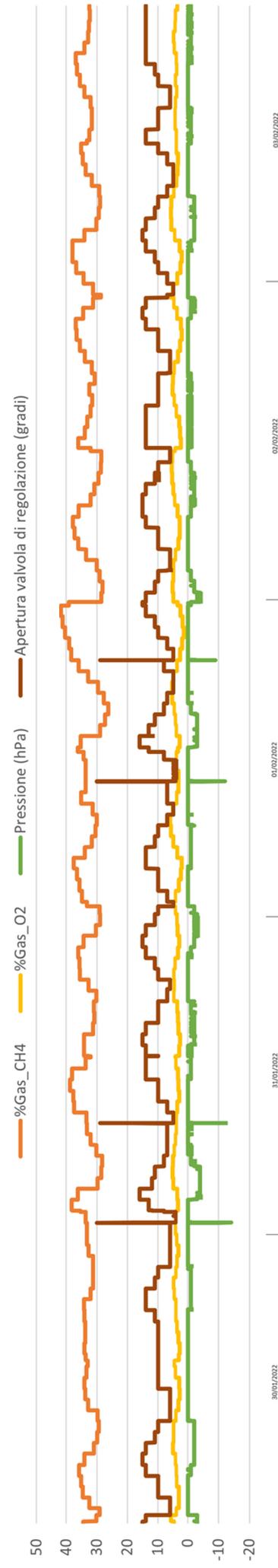
### Linea n.6 - SKID 2



### Linea n.7 - SKID 2

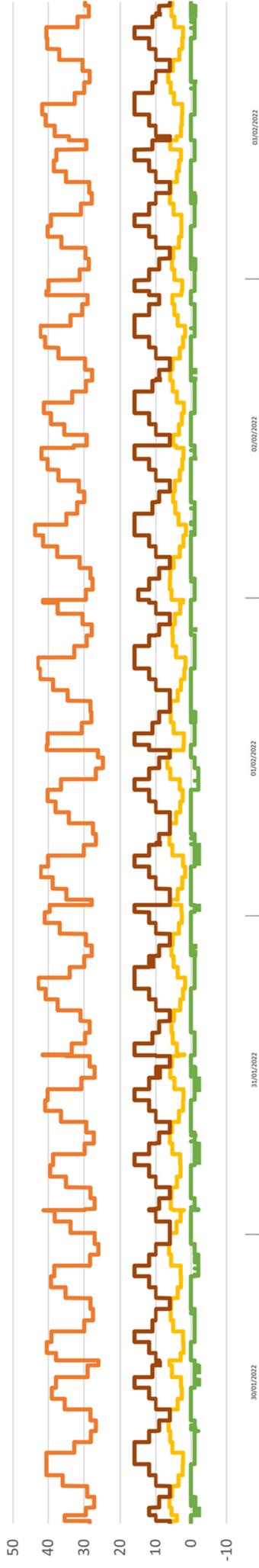


### Linea n.8 - SKID 2



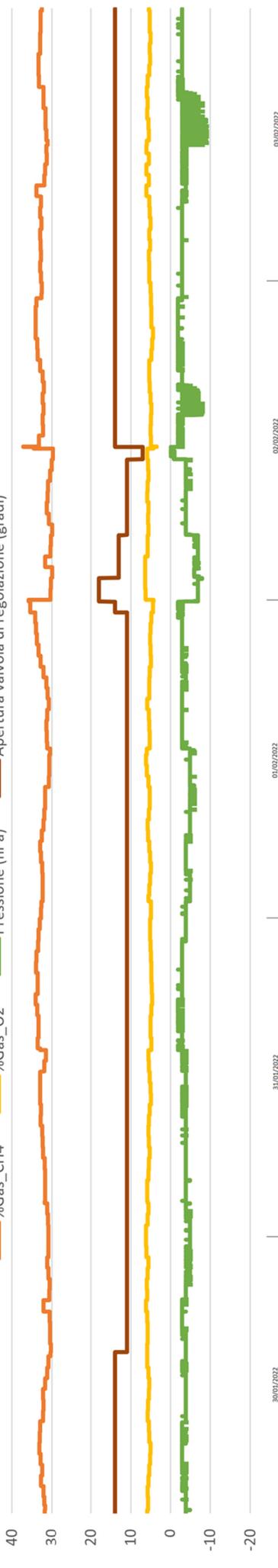
### Linea n.9 - SKID 2

— %Gas\_CH4 — %Gas\_O2 — Pressione (hPa) — Apertura valvola di regolazione (gradi)



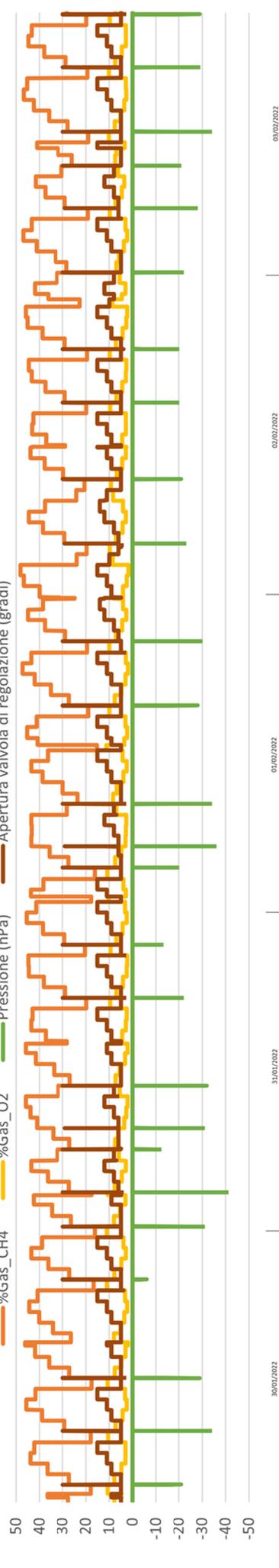
### Linea n.10 - SKID 2

— %Gas\_CH4 — %Gas\_O2 — Pressione (hPa) — Apertura valvola di regolazione (gradi)



### Linea n.11 - SKID 2

— %Gas\_CH4 — %Gas\_O2 — Pressione (hPa) — Apertura valvola di regolazione (gradi)



**Parametri di captazione automatizzata del biogas misurati dal sistema Gas Stabilizer SKID 2 sul collettore della stazione di regolazione SRG in differenti periodi**

