

REGIONE BASILICATA
PROVINCIA DI MATERA
COMUNE DI SALANDRA



PROGETTO ESECUTIVO

Copertura superficiale finale della discarica comunale di Piano del Governo

TITOLO ELABORATO:

Relazione tecnica impianti

CODICE ELABORATO:

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0142	B	005	0

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

SCALA:

—

Marzo 2017	Prima emissione	G. ZUCCARO	G. ZUCCARO	G. ZUCCARO
DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

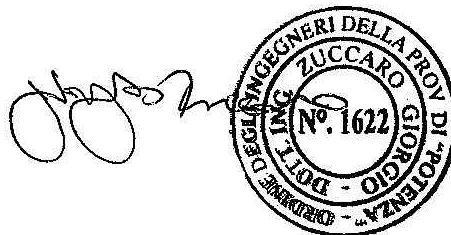
ing. Domenico TERRANOVA

Comune di Salandra
via Regina Margherita, 75017 Salandra (MT)

PROGETTAZIONE:

ing. Giorgio ZUCCARO

Studio di Ingegneria Giorgio Zuccaro
via Pretoria 289, 85100 Potenza





Sommario

<u>1</u>	<u>Premessa</u>	<u>3</u>
	<u>Impianto di captazione e trattamento del biogas</u>	<u>4</u>
<u>2</u>	<u>Introduzione</u>	<u>5</u>
<u>3</u>	<u>Processo di produzione del biogas</u>	<u>7</u>
3.1	Fase di latenza	7
3.2	Fase di transizione	8
3.3	Fase di acido-produzione	8
3.4	Fase di metano-produzione	8
3.5	Fase di maturazione	9
<u>4</u>	<u>Fattori che influenzano la produzione di biogas</u>	<u>9</u>
4.1	Composizione del rifiuto	10
4.2	Umidità del rifiuto	10
4.3	Densità del rifiuto	11
4.4	Pretrattamento	11
4.5	Temperatura	12
4.6	Condizioni ambientali	12
4.7	Caratteristiche gestionali	12
<u>5</u>	<u>Modalità di captazione e trattamento del biogas</u>	<u>13</u>
5.1	Pozzi di captazione verticali	15
5.2	Reti di adduzione	16
5.3	Stazioni di estrazione e sistema di trattamento biogas	17
<u>6</u>	<u>Metodi per le valutazioni quantitative sulla produzione di biogas</u>	<u>18</u>



6.1 Metodo della “reazione semplificata”	19
6.2 Modello Land GEM della U.S. E.P.A.	20
6.3 Metodo del “pressure rebound”	21
<u>7 Stima produzione di biogas</u>	<u>22</u>
<u>8 Caratteristiche generali dell’impianto - conclusioni</u>	<u>25</u>
<u>Impianto antincendio</u>	<u>28</u>
<u>9 Norme di riferimento</u>	<u>29</u>
<u>10 Descrizione dell’impianto</u>	<u>30</u>
<u>11 Documentazione</u>	<u>30</u>
<u>12 Tubazioni</u>	<u>31</u>
<u>13 Impianto, reti, terminali</u>	<u>31</u>
<u>14 Progettazione e calcolo impianto</u>	<u>32</u>
14.1 Calcolo tubazioni	32
14.1.1 Perdite di carico distribuite	32
14.1.2 Perdite carico localizzate	33
14.1.3 Calcolo perdite lungo la manichetta	33
14.1.4 Procedura e dati utilizzati nel calcolo	34
14.1.5 Risultati di calcolo	36
<u>15 Alimentazione idrica</u>	<u>40</u>
15.1 Gruppo serbatoi con pompe	40
15.2 Condizioni di aspirazione	41
15.3 Struttura di raccolta	42



1 Premessa

Il presente progetto ha come finalità la realizzazione della copertura definitiva della discarica comunale di Salandra (MT) come previsto dal par. 2.4.3 dell'allegato 1 del d.lgs. 36/2003. Tale discarica, infatti, ha recentemente esaurito la propria capacità utile per cui l'Amministrazione comunale ritiene necessario prevedere un sistema di impermeabilizzazione in grado di regimentare le acque meteoriche per ridurre la loro infiltrazione nel corpo rifiuti.

La discarica, realizzata per lo smaltimento di rifiuti non pericolosi, è stata autorizzata dalla Regione Basilicata con DGR 2113 del 23.09.2010 ed è situata a sud-est rispetto al centro abitato di Salandra, in corrispondenza del bacino idrografico del torrente Il Gruso, affluente in riva sinistra idraulica del torrente Salandrella che, a sua volta, è un affluente in sinistra del fiume Cavone. È caratterizzata da due settori di coltivazione: il settore 1, situato ad ovest rispetto alla strada di accesso esistente, è esteso circa 28'000 m², mentre il settore 2, situato ad est rispetto alla strada, è esteso circa 5'000 m². Lungo il lato sud del settore 1 è presente una canaletta per la raccolta delle acque meteoriche in polietilene, mentre a sud-ovest sono presenti dei gabbioni di sostegno a protezione del corpo rifiuti e della strada comunale Salandra-Craco. Altri gabbioni sono presenti nella parte bassa (situata ad est) a protezione della strada interna al sito e della vasca di raccolta e stoccaggio del percolato.

La discarica in esame è caratterizzata da uno spessore del corpo rifiuti massimo di 10 m. Tale abbancamento è stato realizzato nell'arco di circa 20 anni procedendo per singoli settori e senza operare, fino a questo momento, chiusure provvisorie. Tale condizione porta ad ipotizzare fenomeni di stabilizzazione ed assestamento differenziali a causa della differente evoluzione dei rifiuti depositati in momenti molto distanti tra loro. In casi analoghi, infatti, sono stati riscontrati cedimenti differenziali compresi tra zero e 20-30 cm/anno.



Impianto di captazione e trattamento del biogas

2 Introduzione

Una discarica completamente isolata mediante impermeabilizzazione diviene un serbatoio di accumulo del biogas che via via si produce a seguito della decomposizione della frazione organica del rifiuto. Il processo di decomposizione prende avvio immediatamente a valle dell'inizio della coltivazione e si protrae per diversi anni dopo la chiusura dell'impianto. I principali costituenti il biogas risultano il metano (CH_4) e l'anidride carbonica (CO_2) oltre ad alcune decine di altri costituenti in traccia. La stima sulla quantità di biogas che verrà prodotto deve necessariamente tener conto della tipologia e della densità di rifiuto stoccato, della frazione organica presente e dell'età della discarica stessa.

In letteratura si riportano tassi molto variabili di biogas prodotto in discarica, con valori oscillanti tra 120 e 300 m^3/t . In termini di produzione annuale per tonnellata di rifiuto ciò corrisponde a circa $15\div 20$ (m^3/t)/a per i primi 5 anni di coltivazione e $4\div 8$ (m^3/t)/a per i successivi venticinque.

Al fine di scongiurare fenomeni di inquinamento sia del sottosuolo che dell'aria con diffusione di emissioni odorigene e rischio di esplosione, il biogas prodotto viene generalmente raccolto tramite un apposito sistema di captazione realizzato contestualmente all'attività di coltivazione del sito. Tale sistema è sostanzialmente composto da una serie di pozzi verticali posti in depressione al fine di favorire la raccolta e l'asportazione del gas sottoposto a pressioni superiori. Tale sistema deve prevedere la possibilità di regolare la portata di gas evitando pericolose infiltrazioni di ossigeno. Il biogas raccolto dai vari pozzi viene convogliato ad un collettore principale che provvede a separare le condense, e da questo ad una torcia di combustione ad accensione automatica opportunamente posizionata. Occorre inoltre ricordare che la problematica, o la risorsa, rappresentata dalla presenza di biogas non riguarda solo le discariche in fase di realizzazione o gestione ma è riferibile anche alle discariche chiuse, anche da decenni. Il fenomeno decompositivo può durare numerosi anni e quindi rappresentare una problematica "latente" sul territorio.

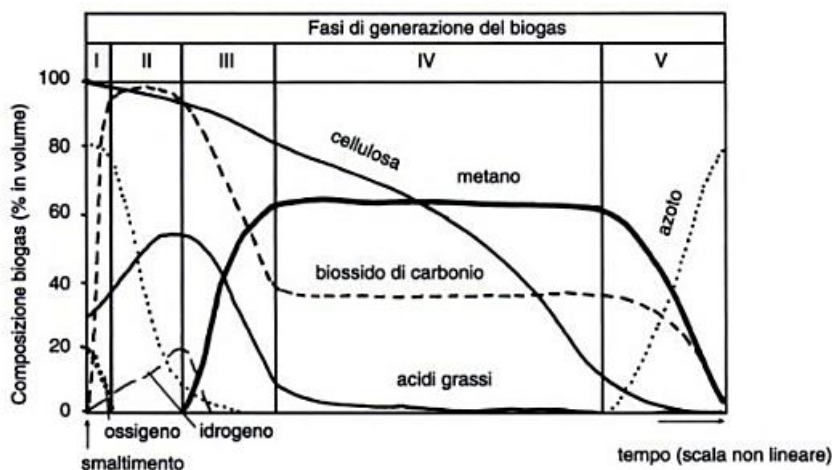


Figura 1: fasi della generazione del biogas

Si riportano di seguito due tabelle nelle quali, rispettivamente, viene indicata la tipica distribuzione percentuale dei costituenti il biogas ed alcuni parametri chimico-fisici degli stessi.



Tabella 1: costituenti tipici del biogas

<i>Componenti</i>	<i>Percentuale (in volume di secco)</i>
Metano	45-60
Anidride carbonica	40-60
Azoto	2-5
Ossigeno	0.1-1
Solfuri	0-1
Ammoniaca	0.1-1
Idrogeno	0-0.2
Monossido di carbonio	0-0.2
Costituenti in tracce	0.01-0.6

Le caratteristiche fisiche di rilievo del biogas sono la densità e la solubilità; in particolare la prima sarà determinante nella fase di dispersione in atmosfera del biogas una volta che questo sia fuoriuscito dal corpo della discarica.

Tabella 2: Peso molecolare, densità, peso specifico dei costituenti del biogas riscontrati in condizioni standard (0°C, 1 atm)

<i>Gas</i>	<i>Formula</i>	<i>Peso molecolare</i>	<i>Densità g/l</i>	<i>Peso specifico lb/ft³</i>
Aria		28.97	1.2928	0.0808
Ammoniaca	NH ₃	17.03	0.7708	0.0482
Anidride carbonica	CO ₂	44.00	1.9768	0.1235
Monossidodicarbonio	CO	28.00	1.2501	0.0781
Idrogeno	H ₂	2.016	0.0898	0.0056
Idrogeno solforato	H ₂ S	34.08	1.5392	0.0961
Metano	CH ₄	16.03	0.7167	0.0448
Azoto	N ₂	28.02	1.2507	0.0782
Ossigeno	O ₂	32.00	1.4289	0.0892

Come accennato, una corretta gestione del biogas deve innanzitutto garantire le condizioni di sicurezza in discarica, mediante il controllo dell'inflammabilità della miscela costituente il biogas e la prevenzione di meccanismi di migrazione e di accumulo dello stesso.

Per il progetto in esame si prevede:

- la rifunionalizzazione dei 7 pozzi esistenti e la realizzazione ex novo di 9 pozzi per un totale di 16 pozzi al fine di coprire l'intera superficie della discarica;
- la realizzazione della rete di trasporto sia principale che secondaria;
- la realizzazione di una stazione di aspirazione/regolazione del biogas;
- il trattamento finale del biogas mediante l'installazione ex novo di opportuna torcia di combustione ad accensione automatica.

In genere, la massima produzione di biogas si ha dopo circa 1 anno dalla chiusura della discarica e tende a ridursi drasticamente dopo circa 8 anni, quando la componente organica a rapida biodegradazione tende ad esaurirsi. Nel caso del sito in esame il sistema di captazione del biogas sarà realizzato dopo alcuni anni dalla chiusura, circa 5 anni considerando che gli ultimi settori sono stati chiusi nel 2012 con la cessazione dell'attività; alla luce di ciò non si configura l'ipotesi di un recupero energetico.



La realizzazione dell'impianto di captazione sarà quindi finalizzato messa in sicurezza del sito attraverso idoneo sistema di trattamento del biogas che ancora si genera nella massa di rifiuti.

La determinazione della quantità di biogas producibile in sito è stata realizzata mediante l'impiego di un modello previsionale basato sul metodo della *"reazione semplificata"*, che come gli altri modelli teorici disponibili in letteratura ha richiesto una serie di informazioni di input di difficile acquisizione come:

- la caratterizzazione merceologica dei rifiuti;
- la temperatura di fermentazione;
- il fattore di umidità interna della discarica;
- la tipologia di gestione della discarica;
- la realizzazione di coperture intermedie dei rifiuti in fase di coltivazione della discariche.

In effetti molte di queste informazioni sono state assunte tenendo conto di quelli che sono i dati disponibili nella letteratura tecnica di settore.

3 Processo di produzione del biogas

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

La decomposizione dei rifiuti solidi in uno scarico controllato assume spesso aspetti vari e complessi caratterizzati da processi fisici, chimici e biologici, che agiscono simultaneamente fino alla degradazione dei rifiuti stessi. Per degradazione fisica s'intende la trasformazione delle componenti del rifiuto che comporta il mutamento delle caratteristiche fisiche del rifiuto stesso, fra cui la riduzione del volume, la precipitazione di sostanze nonché fenomeni di assorbimento e di rilascio di sostanze. Per degradazione chimica s'intende il complesso delle reazioni che avvengono tra le diverse sostanze componenti il rifiuto; essa ha riflessi anche nella qualità dei percolati, con variazione della solubilità, del potenziale redox e del pH.

Il principale meccanismo di decomposizione dei rifiuti in discarica è però la degradazione biologica, cioè la trasformazione della materia per opera di microrganismi, quali i batteri. Essa controlla inoltre la velocità di degradazione chimica e fisica influenzando variabili come pH e potenziale redox.

La produzione dei costituenti principali del biogas segue un andamento caratteristico, in cui è possibile individuare 5 fasi successive, sufficientemente distinte, ovvero:

- fase di latenza;
- fase di transizione;
- fase di acido-produzione;
- fase di metano-produzione;
- fase di maturazione.

3.1 Fase di latenza

I componenti organici biodegradabili dei rifiuti subiscono una decomposizione batterica appena questi ultimi vengono disposti in discarica. In questa fase, la decomposizione biologica avviene in condizioni aerobiche, poiché una certa quantità di aria è intrappolata all'interno della discarica. La fonte principale degli organismi aerobici ed anaerobici responsabili della decomposizione è il terreno utilizzato come ricoprimento giornaliero e finale. La composizione del



biogas è molto vicina a quella atmosferica, sebbene si noti una graduale riduzione della percentuale di azoto e di ossigeno ed un graduale aumento dell'anidride carbonica, che si esalta e si completa durante la fase successiva.

3.2 Fase di transizione

L'ossigeno si esaurisce e cominciano a svilupparsi condizioni anaerobiche. Appena la discarica diviene anaerobica, i nitrati ed i solfati, che possono servire da accettori di elettroni nelle reazioni di trasformazione biologica, sono spesso trasformati in azoto gassoso ed idrogeno solforato.

L'inizio delle condizioni anaerobiche può essere monitorato mediante la misurazione del potenziale di ossidazione/riduzione del rifiuto. La produzione di metano avviene quando il valore del potenziale di ossidazione/riduzione rientra nell'intervallo da 150 a 300 millivolt. Come il potenziale di ossidazione/riduzione continua a decrescere, gli organismi della comunità batterica responsabili della conversione della frazione organica in metano e biossido di carbonio avviano la terza fase, con la trasformazione della complessa materia organica in acidi organici ed altri prodotti intermedi descritti nella fase III. Nella fase II, il pH comincia ad abbattersi a causa degli acidi organici e dell'effetto dell'elevata concentrazione di anidride carbonica all'interno della discarica.

3.3 Fase di acido-produzione

L'attività batterica iniziata nella fase precedente accelera portando alla produzione di quantitativi consistenti di acidi organici e di quantitativi minori di idrogeno gassoso. Il primo momento nella terza fase prende il nome di idrolisi, la trasformazione, cioè, dei composti ad elevato peso molecolare (lipidi, polisaccaridi, proteine ed acidi nucleici) in composti fonte di energia per i microrganismi. Il secondo momento, fase acidigena, riguarda la trasformazione dei composti ottenuti dall'idrolisi in composti intermedi a più basso peso molecolare come l'acido acetico (CH_3COOH), piccole concentrazioni di acido fulvico ed altri acidi organici più complessi.

Durante la fase III l'anidride carbonica è il principale gas prodotto mentre modesta è la quantità di idrogeno gassoso. I microrganismi interessati in questa conversione, descritti nel complesso come non metanigeni, sono batteri facoltativamente ed obbligatoriamente anaerobici. Tali microrganismi sono spesso identificati come batteri acidigeni o acido-produttori. Il pH del percolato scenderà ad un valore pari a 5 o più basso a causa della presenza degli acidi organici e dell'elevata concentrazione di anidride carbonica.

La domanda biochimica di ossigeno (BOD_5), la domanda chimica di ossigeno (COD) e la conduttività del percolato si incrementeranno significativamente in questa fase a causa dello scioglimento degli acidi organici nel percolato. Inoltre, alcuni costituenti inorganici, principalmente metalli pesanti, verranno solubilizzati.

3.4 Fase di metano-produzione

Un secondo gruppo di microrganismi, che converte l'acido acetico e l'idrogeno, prodotti dagli acido-produttori nella terza fase, in CH_4 e CO_2 , diviene predominante. In alcuni casi, questi microrganismi cominceranno a svilupparsi verso la fine della fase III.

I microrganismi in oggetto sono strettamente anaerobici e sono chiamati metanigeni o metanoproduttori. A causa della trasformazione degli acidi e dell'idrogeno in CH_4 e CO_2 , nella fase



IV il pH risalirà a valori più neutri nel range 6.8÷8. Inoltre, i valori di BOD₅ e di COD e la conduttività del percolato si ridurranno. Con valori più alti del pH, possono rimanere in soluzione minori costituenti inorganici; di conseguenza, la concentrazione di metalli pesanti nel percolato sarà anch'essa ridotta.

3.5 Fase di maturazione

Avviene dopo che tutta la materia organica biodegradabile disponibile è stata trasformata in CH₄ e CO₂. La produzione di biogas diminuisce drasticamente, ed è legata sostanzialmente agli apporti di nuova sostanza organica derivante dai processi di lisciviazione degli strati di rifiuti sovrastanti. Nel contempo, in misura più o meno elevata in funzione delle modalità di copertura della discarica, possono essere ritrovati nel gas prodotto piccoli quantitativi di ossigeno ed azoto atmosferico. Nella fase di maturazione, il percolato conterrà acidi umici e fulvici, difficili da trattare biologicamente.

La durata di ciascuna delle fasi varierà a seconda della distribuzione dei componenti organici, della disponibilità dei nutrienti, del contenuto di umidità dei rifiuti, del grado di compattazione iniziale. A titolo esemplificativo i dati relativi alla distribuzione in percentuale dei principali gas in funzione del tempo sono riportati nella tabella seguente

Tabella 3: Valori tipici della distribuzione percentuale dei principali componenti del biogas nel corso dei primi 48 mesi successivi al completamento della discarica

<i>Mesi dal completamento del settore</i>	<i>Percentuale in volume</i>		
	<i>Azoto</i>	<i>Anidride carbonica</i>	<i>Metano</i>
0-3	5.2	88	5
3-6	3.8	76	21
6-12	0.4	65	29
12-18	1.1	52	40
18-24	0.4	53	47
24-30	0.2	52	48
30-36	1.3	46	51
36-42	0.9	50	47
42-48	0.4	51	48

4 Fattori che influenzano la produzione di biogas

La degradazione anaerobica della componente organica dei rifiuti è condizionata da una serie di fenomeni chimici, fisici e biologici complessi; esistono comunque numerosi fattori in grado di influenzare positivamente o negativamente tali fenomeni. Di seguito si illustrano sinteticamente alcuni di questi fattori.

I fattori chimico-fisici, oltre che biologici, sono riconducibili sinteticamente a quattro gruppi principali. Il primo comprende le caratteristiche ambientali, il secondo le caratteristiche dei rifiuti, il terzo le modalità di progettazione e di gestione dell'impianto stesso ed il quarto le caratteristiche abiotiche dell'ecosistema discarica. Si analizzano più in dettaglio i seguenti fattori:

- composizione del rifiuto;
- umidità del rifiuto;
- densità del rifiuto;
- pretrattamento;

- temperatura;
- condizioni ambientali;
- caratteristiche gestionali.

4.1 Composizione del rifiuto

La produzione di biogas dipende dal carbonio organico biodegradabile medio contenuto in differenti frazioni organiche del rifiuto. La natura dei rifiuti deposti influenza in modo significativo la composizione del biogas, sia per quanto riguarda i macrocomponenti (metano ed anidride carbonica), sia per i composti in tracce. La presenza di ammoniaca nei rifiuti ha un potenziale effetto di tossicità che inibisce parzialmente la formazione di metano, così come la presenza di nitrati ha l'effetto di inibire i processi di degradazione anaerobica e quindi la formazione di metano.

La concentrazione effettiva di metano nel biogas è in genere superiore a quella attesa in quanto una parte dell'anidride carbonica viene solubilizzata nel percolato e nell'umidità dei rifiuti, a differenza del metano che risulta poco solubile in acqua. Le eventuali infiltrazioni di aria danno luogo sia ad una diluizione del biogas prodotto, con il conseguente aumento delle concentrazioni percentuali principalmente di azoto ed ossigeno, sia alla formazione di zone aerobiche, con il conseguente aumento della percentuale di anidride carbonica, in seguito all'instaurarsi del metabolismo aerobico in tali zone.

Ovviamente nulla è più eterogeneo di un rifiuto e molto spesso è difficile poter disporre di una caratterizzazione tipologica e merceologica precisa come nel caso in esame.

4.2 Umidità del rifiuto

L'umidità, all'atto del deposito nello scarico controllato, dipende dalla composizione dei rifiuti, dalle condizioni climatiche e dalle tecniche di raccolta, successivamente può variare in funzione dei seguenti fattori:

- disponibilità idriche (piovosità, presenza di falde, acqua contenuta nei fanghi, eventuale ricircolo del percolato, irrigazione della superficie di copertura);
- caratteristiche della superficie di copertura (tipo di terreno e di vegetazione, presenza o meno di uno strato di sigillatura dei rifiuti, pendenza e configurazione topografica);
- caratteristiche dei rifiuti (densità maggiore o minore a seconda della compattazione, pezzatura, contenuto d'acqua al momento dello smaltimento);
- modalità di impermeabilizzazione del fondo e delle pareti della discarica.

La valutazione della variazione nel tempo dell'umidità dei rifiuti depositati deve essere effettuata sulla base del bilancio idrologico applicato alla discarica controllata. È importante sapere quanta acqua è contenuta nei rifiuti in quanto studi di laboratorio hanno mostrato che all'aumentare dell'umidità si ha un aumento logaritmico della produzione di biogas. Il massimo della produzione di biogas si realizza grazie ad un contenuto medio compreso tra il 60 e l'80% di umidità. L'aumento del contenuto di umidità nei rifiuti, che di regola sono troppo secchi all'atto del conferimento in discarica, comporta un aumento dell'attività biologica e quindi della produzione di metano.

Il contributo positivo o negativo, dovuto alla produzione o al consumo di acqua, associabile alle diverse reazioni biochimiche di degradazione aerobica e anaerobica della sostanza organica, è limitata e normalmente trascurabile nel bilancio ideologico per una discarica aperta.

Quando la discarica viene invece chiusa, specialmente nel caso di stratigrafie di copertura molto efficienti dal punto di vista della riduzione delle infiltrazioni di acqua, la maggior parte delle variabili precedentemente descritte viene quasi annullata e gli elementi di apporto del bilancio idrologico tendono ad azzerarsi.

4.3 Densità del rifiuto

L'effetto della densità sulla produzione di biogas non è stato ancora del tutto chiarito; studi sperimentali mostrano infatti che la densità può avere effetti contrastanti sulla produzione di biogas. Tali risultati contraddittori possono essere spiegati tenendo conto dei due fenomeni contrastanti che si verificano all'aumentare della densità:

- la capacità di campo dei rifiuti diminuisce ed aumenta la diffusione e la distribuzione nella massa di rifiuti dell'umidità e di tutti gli elementi presenti nella fase acquosa;
- la superficie totale reattiva della frazione solida diminuisce e pertanto anche la velocità di idrolisi della sostanza organica.

In rifiuti secchi (U dell'ordine del 21%) si è riscontrato un aumento della produzione di biogas all'aumentare della densità a differenza di quanto avviene in rifiuti con umidità maggiore.

4.4 Pretrattamento

Le metodologie di pretrattamento dei R.S.U. possono essere schematicamente suddivise in due categorie:

- pretrattamento meccanico-biologico;
- pretrattamento termico (incenerimento).

Tali metodologie possono essere applicate singolarmente o far parte di un processo integrato che prevede, in pratica, l'applicazione in serie dei suddetti pretrattamenti. Il trattamento meccanico-biologico determina una sostanziale riduzione della massa di rifiuti principalmente dovuta alla diminuzione del contenuto d'acqua, conseguenza dell'azione di spremitura ed alla degradazione di parte della sostanza organica. Tale riduzione, in base allo specifico processo di pretrattamento usato, può essere dell'ordine del 20-40%.

Come conseguenza di quanto detto, il rifiuto pretrattato, se paragonato al rifiuto che non subisce alcun tipo di trattamento, permette di risparmiare notevoli quantità di volume una volta depositato in discarica. Si osserva, infatti, una riduzione del volume occupato del 20-30% a causa della riduzione della massa ed una riduzione fino al 30% dovuta all'aumentare della densità, per un totale del 50-60%. Il pretrattamento meccanico-biologico consente dunque di ottenere una migliore gestione dei volumi che costituiscono una discarica controllata e recentemente sono stati condotti degli esperimenti volti a comprendere come la riduzione della massa del rifiuto incida sulla produzione di biogas.

Occorre inoltre considerare che la riduzione della capacità di campo dei rifiuti, a seguito di un incremento di densità, ostacola la trasmissività ai gas degli stessi. In pratica il biogas si sposta con maggiore difficoltà e la captazione forzata è meno efficace.

In sintesi è possibile valutare che basse densità ($0.3 - 0.5 \text{ t/m}^3$) influiscano negativamente sul fenomeno di fermentazione, così come alte densità ($> 1.5 \text{ t/m}^3$) possano consentire veloci saturazioni da parte dei percolati e difficoltà di trasmissività dei gas. Ne consegue che la densità ideale dovrebbe essere compresa tra 0.5 e 1.5 t/m^3 .



Occorre infine distinguere la densità ottenuta dai trattamenti (compattazione in discarica o pre-compattazione) dalla densità tipica legata alla massa dei rifiuti sovrastanti. Un metro cubo di rifiuti subirà pertanto una prima “compattazione” al momento della deposizione in discarica (oppure l’ha già subita in stabilimento nel caso di balle pre-confezionate) raggiungendo una densità tipica. Tale densità sarà poi incrementata in proporzione al peso dei rifiuti che sovrasteranno lo stesso metro cubo di rifiuti.

4.5 Temperatura

La produzione di biogas è influenzata dalle temperature che si riscontrano all'interno della discarica controllata, nonché dalle variazioni di queste nel tempo. Diversi studi sperimentali hanno riscontrato l'importanza di tale parametro cercando di quantificare anche l'influenza della temperatura sul tasso di produzione di metano.

Immediatamente dopo la deposizione del rifiuto si sono registrate temperature, prossime a 80 °C, questo valore è da attribuire alla decomposizione aerobica degli zuccheri; è stato calcolato, sulla base dell’energia di attivazione necessaria alla produzione di metano, che la temperatura ottimale per il processo di decomposizione anaerobica è di circa 40 °C in quanto legato alla presenza di batteri del gruppo mesofilo. In base al bilancio termico della discarica è possibile costruire profili termici che dimostrano come ad una certa profondità, funzione della capacità isolante degli strati deposti, la temperatura all’interno dello scarico controllato non sia più influenzata dalle condizioni termiche dell’ambiente esterno, ma solo dalla natura esotermica delle reazioni di fermentazione dei rifiuti. È stato inoltre riscontrato che all’aumentare dell’umidità dei rifiuti si ha un aumento dell’energia prodotta dalle reazioni di fermentazione.

4.6 Condizioni ambientali

I fattori ambientali sembrano influire sulla quantità e qualità del biogas prodotto in discarica, anche se non vi sono relazioni dettagliate in merito. Uno studio effettuato nell'arco di 12 mesi tra il 1995 e il 1996 ha mostrato che il volume di gas estratto in discarica diminuiva nelle giornate fredde, tanto che per una diminuzione del 3% della temperatura si assisteva ad un decremento dell'1% della produzione di gas. Anche la pressione atmosferica influenza la produzione di gas; si è, infatti, osservato che un incremento della pressione dell'1% comporta un incremento di gas pari al 10%. Infine l'umidità atmosferica comporta, al suo aumentare, una diminuzione della concentrazione di metano del 5%.

4.7 Caratteristiche gestionali

Anche le caratteristiche gestionali e costruttive della discarica influiscono sul fenomeno di produzione del biogas. Una buona impermeabilizzazione di fondo (naturale, artificiale o mista) consente la raccolta dei percolati e quindi la preservazione dell’umidità necessaria alla fermentazione. La morfologia della discarica definisce l’interfaccia con l’atmosfera esterna: una discarica molto esposta (ad esempio un rilevato completamente fuori terra) determina minore produzione di biogas anaerobico rispetto ad una discarica poco esposta (ad esempio una cava riempita di rifiuti). Uno spessore dei rifiuti poco rilevante (< 10 m) aumenta il rischio di infiltrazioni di aria mentre una discarica molto spessa (> 40 m) induce a sopporre alte densità dei rifiuti negli strati inferiori con conseguenti maggiori rischi di saturazione da parte dei percolati e bassa trasmissività ai gas.



Anche la gestione del rifiuto è determinante nel processo di fermentazione: una buona compattazione eseguita frequentemente riduce la capacità di campo dei rifiuti e quindi la presenza di aria negli stessi accorciando il fenomeno di fermentazione aerobica e preservando una maggiore quantità di carbonio per la successiva fase anaerobica. La copertura dei rifiuti contribuisce a ridurre l'interfaccia con l'atmosfera e quindi a ridurre la fase fermentativa aerobica, ovviamente la qualità della copertura è proporzionale alla tipologia del materiale ed allo spessore dello stesso.

5 Modalità di captazione e trattamento del biogas

In base al d.lgs. 36/2003 (e s.m.i.), recante *"Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti"*, le discariche che accettano rifiuti biodegradabili devono essere dotate di impianti per l'estrazione dei gas che garantiscano la massima efficienza di captazione ed il conseguente utilizzo energetico dove possibile. La gestione del biogas deve essere condotta in modo tale da ridurre al minimo il rischio per l'ambiente e per la salute umana (anche in termini di sicurezza dell'ambiente di lavoro); l'obiettivo è quello di non far percepire la presenza della discarica al di fuori di una ristretta fascia di rispetto. Le discariche di grosse dimensioni come quella oggetto del bando garantiscono una produzione di biogas tale da soddisfare i requisiti per il recupero energetico. Il biogas viene convogliato ad una centrale termica che genera elettricità attraverso la combustione dello stesso. Non tutto il biogas può però garantire recupero energetico. Solo quando la percentuale di metano oscilla tra il 46 % e il 52 % in volume allora è garantita la completa combustione e il conseguente funzionamento del motore per la produzione di energia.

Nel momento in cui il quantitativo di metano scende fino al 30 - 35 %, non essendo più garantito il corretto funzionamento del generatore, il biogas estratto deve essere convogliato ad un sistema di torce per garantirne l'ossidazione prima dell'immissione in atmosfera. L'utilizzo di torce però non rappresenta una certezza nello smaltimento del biogas.

La torcia infatti è un sistema termico che mira all'abbattimento del quantitativo di metano contenuto nel biogas, ossidandolo ad anidride carbonica, anch'esso gas serra ma 21 volte meno impattante del metano. La torcia generalmente comprende una valvola di intercettazione a farfalla con comando a leva collegata ad una camera di ingresso con presa di scarico condensa. Il bruciatore è posizionato all'interno della camera di combustione; prima del bruciatore è inserito un filtro rompifiamma realizzato con maglia di acciaio inossidabile. Il sistema di accensione è automatico ed è costituito da un trasformatore e un accenditore, inserito in prossimità del bruciatore. Generalmente è previsto un circuito elettrico che comanda il ciclo di accensione; in caso di spegnimento della fiamma si riattiva automaticamente il ciclo di accensione per un numero determinato di tentativi. La torcia deve consentire la combustione del biogas assicurando il mantenimento di valori di temperatura adeguati a limitare l'emissione di inquinanti e la produzione di fuliggine; tali valori normalmente si attestano tra i 900° e i 1000° C all'interno della camera di combustione; la completa ossidazione è garantita anche assicurando un adeguato tempo di residenza del biogas all'interno della camera di combustione, un sufficiente grado di miscelazione tra biogas ed aria di combustione. La normativa vigente per la costruzione e gestione delle discariche, il citato d.lgs. 36/2003, prescrive infatti che "nel caso di impraticabilità del recupero energetico la termodistruzione del gas di discarica deve avvenire in idonea camera di combustione a temperatura $T > 850^{\circ}\text{C}$, concentrazione di ossigeno $\geq 3\%$ in volume e tempo di permanenza ≥ 0.3 s. Il venir meno di una di queste condizioni fa sì che i sistemi di controllo di

accensione e di mantenimento della fiamma interrompano il funzionamento della torcia. In questo caso viene immesso biogas direttamente in atmosfera.

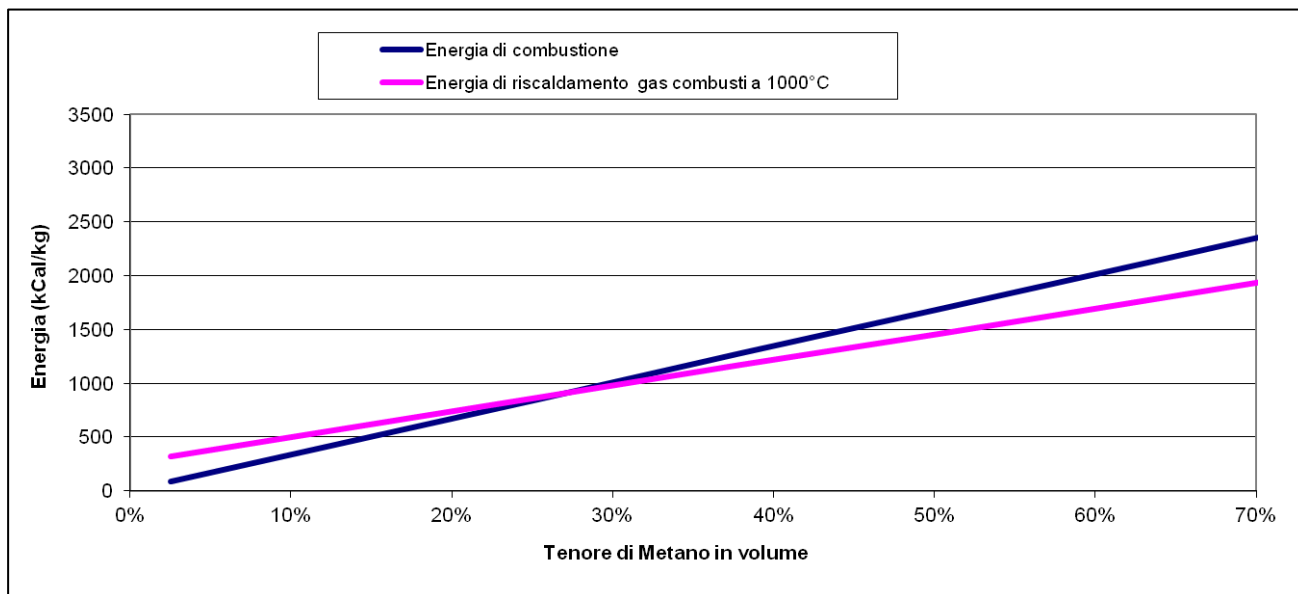


Figura 2: Bilancio termico della combustione del biogas in torcia in funzione del tenore di metano

Dal grafico si evince chiaramente che per garantire il mantenimento di una temperatura in grado di evitare la formazione di gas incombusti il tenore di metano in volume non deve scendere al di sotto di un valore indicativamente tra il 25% e il 30 % v/v, confermando quanto detto in precedenza e quanto riportato nelle schede tecniche di alcuni modelli di torcia. La diminuzione delle percentuali di metano nel biogas rende quest'ultimo poco adatto alla combustione, pertanto per poter garantire il funzionamento della torcia si rende indispensabile l'arricchimento con gas proveniente dalla rete. Una tale scelta però è fortemente antieconomica per i gestori delle discariche.

Si premette che nel caso dell'intervento in esame, in cui il ripristino funzionale dell'impianto è mirato esclusivamente alla chiusura definitiva del sito, si propone, come trattamento finale per il biogas residuo prodotto, l'utilizzo di una torcia di combustione.

Gli obiettivi del sistema di captazione, trattamento/utilizzo sono:

- garantire la sicurezza all'interno della discarica e nelle aree limitrofe;
- minimizzare le emissioni moleste, ed eventualmente nocive, che possono esercitare un forte impatto negativo sulla popolazione, sul personale dell'impianto e sulla vegetazione;

Una corretta gestione del biogas deve innanzitutto garantire le condizioni di sicurezza in discarica, mediante il controllo dell'inflammabilità della miscela e la prevenzione di meccanismi di migrazione e di accumulo dello stesso. Un sistema completo di captazione, trattamento/utilizzo comprende i seguenti elementi:

- sistema di captazione;
- rete di trasporto;
- impianto di pre-trattamento;
- utilizzo/trattamento finale;

Per la captazione del biogas possono essere usati sistemi "attivi" o "passivi". Con i sistemi attivi si fornisce artificialmente un gradiente di pressione mediante soffianti o compressori. Nei sistemi passivi si sfrutta, invece, il gradiente di pressione che si instaura naturalmente all'interno

della discarica, a seguito dei processi di generazione del biogas. La tipologia dell'impianto di captazione da adottare, dipende principalmente dalle caratteristiche della discarica e dall'utilizzo che viene fatto del biogas raccolto. I sistemi a captazione "attiva" sono generalmente più efficienti di quelli "passivi". I condotti di estrazione del biogas (pozzi) sono, normalmente, distribuiti uniformemente su tutta la superficie della discarica, in modo da evitare zone di ristagno per i gas; la loro spaziatura reciproca e la profondità di immersione dipendono dalle condizioni operative e di progetto della discarica.

La rete di captazione del biogas è dimensionata sulla base dei seguenti dati:

- Produzione massima specifica di biogas ($\text{m}^3/\text{t/h}$);
- Volume di influenza dei manufatti di captazione (pozzi verticali, orizzontali, drenaggi).

La produzione di biogas è variabile nel tempo, con un massimo, in genere, dopo alcuni anni dal deposito. Se il sistema viene realizzato fin dalle prime fasi di coltivazione, il suo dimensionamento si basa su modelli di produzione con opportuni margini di sicurezza viceversa se il sistema viene realizzato dopo alcuni anni, è necessario tenere conto dell'età dei rifiuti e del grado di decomposizione degli stessi, utilizzando possibilmente anche dati misurati in situ.

Relativamente al volume di influenza, sono state proposte numerose espressioni teoriche o empiriche per la valutazione del raggio di influenza, che tuttavia trovano scarsa applicazione pratica a causa dell'eterogeneità spaziale dell'ammasso dei rifiuti, delle modalità di deposito, degli assestamenti ecc.... Si ricorre pertanto ad assunzioni derivanti dall'esperienza:

- pozzi di captazione verticali: raggio di influenza in aspirazione non superiore ai 15-30 m;
- pozzi di captazione orizzontale: raggio di influenza non superiore a 10 m.

Tali distanze possono essere anche inferiori, in virtù dei seguenti fattori: spessore dei rifiuti, distanza dal confine, finalità della captazione (bonifica o recupero energetico).

Le tecniche di controllo e trattamento applicabili ad una discarica comprendono:

- combustione del biogas;
- purificazione del biogas;

La distruzione dei composti organici attraverso la combustione può avvenire senza recupero di energia (ad esempio con l'impiego di torce come nel caso in esame), oppure con produzione di energia elettrica, utilizzando allo scopo turbine a gas o motori alternativi a combustione interna. Quest'ultimo sistema è quello comunemente adottato in Italia.

Il biogas può anche essere usato per fornire l'energia termica necessaria ad una caldaia per produrre vapore.

Le tecniche di purificazione hanno, invece, lo scopo di produrre gas naturale con caratteristiche tali da poter essere immesso direttamente in una rete di distribuzione. Per ottenere ciò, vengono adottati sistemi ad assorbimento, ad adsorbimento ed a membrane speciali, con i quali vengono rimossi il vapore acqueo, il biossido di carbonio (CO_2) ed i composti organici non metanici (NMOCs) presenti nel biogas captato.

5.1 Pozzi di captazione verticali

Questa è la tipologia più diffusa per diversi motivi legati alla praticità, al rendimento ed ai fattori economici. Non è tuttavia raccomandabile nelle discariche di profondità ridotta (< 10 m), per le quali si fa ricorso in genere a drenaggi orizzontali.

Il riempimento del pozzo viene effettuato con ghiaia silicea di granulometria media di 30/60 mm, mentre il tratto terminale superiore viene sigillato con materiale impermeabilizzante (argilla e bentonite).

All'interno del pozzo viene collocato il tubo di captazione micro o macro fessurato, dimensionato sulla base delle portate di estrazione e delle velocità minime del gas nelle tubazioni.

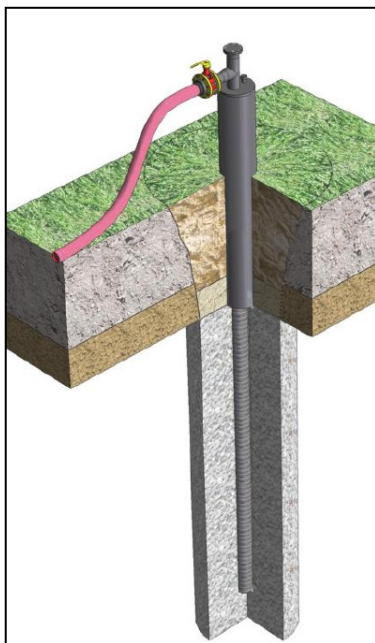


Figura 3: schema pozzo verticale di captazione del biogas

La testa del pozzo di captazione viene realizzata al di sopra della colonna trivellata all'interno dell'ammasso dei rifiuti, colonna riempita con un tubo guida macrofessurato e ghiaia a basso tenore di calcare. La funzione di questo componente dell'impianto è quanto mai importante, poiché assolve contemporaneamente alle seguenti esigenze:

- tenere in depressione il corpo della discarica in modo da evitare fughe di biogas verso l'esterno;
- permettere, per mezzo della valvola modulatrice ad azione manuale, la regolazione della portata del singolo pozzo;
- consentire, tramite le prese, di controllare le caratteristiche chimiche (CH_4 , CO_2 ed N_2) e fisiche (portata, pressione, temperature) del biogas aspirato;
- permettere il sezionamento per effettuare opportuni controlli o spurghi con il sistema di pompaggio ad eiettore o pompe antideflagranti a sicurezza intrinseca.

La tenuta e la perfetta sigillatura del pozzo vengono garantiti dalla chiusura superiore con strato di bentonite. Ogni pozzo, così come ogni pozzetto di raccordo, è protetto ed opportunamente segnalato al fine di evitare ingressi di acque meteoriche e danni a cose e/o a persone.

5.2 Reti di adduzione

Sono costituite da tubazioni in HDPE (polietilene ad alta densità) utilizzate per il trasporto del biogas dai singoli pozzi alla stazione di aspirazione. Sono realizzate secondo le indicazioni della norma vigente ed in particolare, nel caso delle tubazioni in HDPE, sono certificate nel rispetto della UNIPLAST 7614, appendice C, e della norma UNI ISO 4437-1988.

Le linee sono posate sia su parti interne che esterne al bacino di discarica, con una profondità media di circa 0.8 metri ed una larghezza di 0.6 metri in forma definitiva, sfilate su letto e rinfilanco di sabbia per la protezione meccanica della linea, mentre durante le fasi gestionali le condotte vengono mantenute in superficie per un loro rapido riposizionamento.

Per il progetto in oggetto è stato previsto un numero di pozzi pari a 16 che converge ad una stazione di regolazione/aspirazione e di qui alla torcia dove si provvede alla combustione del biogas.



Figura 4: testa pozzo e rete di adduzione del biogas

5.3 Stazioni di estrazione e sistema di trattamento biogas

La stazione di aspirazione e regolazione è localizzata in posizione perimetrale rispetto alla disposizione della discarica (in prossimità dell'ingresso), al fine di coprire i diversi settori di cui si compone la stessa.

In genere le opere di aspirazione sono composte da:

- stazione di aspirazione principale, costituita da un quadro di controllo generale e di monitoraggio in continuo sui gas (ossigeno e metano) con blocco di sicurezza generale e sulla singola linea nel caso di formazioni di miscele esplosive all'interno della rete, gestito da personal computer con apposito software;
- collettori di raccordo;
- unità di separazione e di deumidificazione;
- turbosoffianti centrifughe multistadio in parallelo;
- linea di alimentazione in sovrappressione al sistema di abbattimento;

In corrispondenza della stazione di regolazione è presente uno scarico di condensa con pompa di rilancio delle stesse allacciata alla prevista rete di trasporto dei percolati.



6 Metodi per le valutazioni quantitative sulla produzione di biogas

I fenomeni che danno luogo alla produzione di biogas sono caratterizzati da una elevata complessità dovuta alle tantissime reazioni che avvengono simultaneamente e che sono tra loro variamente dipendenti.

Le emissioni gassose generate da una discarica sono governate da fenomeni di produzione e trasporto, oltre che dalla composizione merceologica del rifiuto e dalle sue condizioni. I meccanismi di produzione riguardano la generazione di composti in fase gassosa, attraverso vaporizzazione, decomposizione biologica e reazioni fisico-chimiche. La vaporizzazione è influenzata dalle concentrazioni individuali delle varie sostanze, dalle proprietà fisiche di queste e dalle condizioni specifiche della discarica come la temperatura e la pressione di confinamento. La degradazione biologica di composti liquidi e solidi in altre specie chimiche è dipendente da: disponibilità di nutrienti per i microrganismi, composizione del rifiuto, età della discarica, contenuto di umidità, pH, temperatura, presenza di ossigeno e di rifiuti industriali che inibiscono le reazioni biologiche. Le reazioni fisico-chimiche sono dipendenti dalla composizione del rifiuto, dalla temperatura e dalla umidità all'interno della discarica. Quantificare l'impatto di ciascuno di questi fattori sulla produzione di biogas non è attualmente possibile.

I meccanismi di trasporto riguardano il passaggio di composti volatili in fase gassosa fino alla superficie libera attraverso il cumulo di rifiuti ed attraverso gli strati di contenimento laterali e di copertura. Si deve inoltre tener conto di fenomeni di diffusione, di convezione e di dislocazione. La diffusione molecolare attraverso la copertura di terreno è influenzata: dalla porosità del suolo, dal gradiente di concentrazione presente, dalla diffusività dei costituenti il gas, dallo spessore dello strato da attraversare ed, in modo minore, da altri fattori.

La convezione si ha a causa della differenza di pressione riscontrabile tra punti diversi del cumulo di rifiuti ed è influenzata: dalla disponibilità di nutrimento per i batteri, dalla composizione merceologica del rifiuto, dal contenuto di umidità, dall'età della discarica, dalla temperatura, dal pH, dalla disponibilità di ossigeno, dalla presenza di rifiuti tossici che inibiscono l'azione dei batteri, e dalla presenza di un sistema di raccolta dei gas prodotti.

La dislocazione conseguente alla compattazione subita dal rifiuto ed alla sua sistemazione in discarica dipende, infine, dal grado di compattazione, dalle tipologie di rifiuto presenti e dalla loro compatibilità, dal carico dovuto ai rifiuti ed al terreno sovrastanti.

L'estrazione di biogas dipende poi, in maniera non trascurabile, dalla soluzione impiantistica realizzata: si possono avere sistemi attivi di raccolta che attuano l'estrazione attraverso l'aspirazione forzata dei gas con soffianti o compressori, e sistemi passivi che sfruttano il gradiente di pressione naturale che si instaura all'interno della massa di rifiuti a causa dell'aumento di pressione dovuto alla generazione dei gas di degradazione.

I rifiuti smaltiti in discarica controllata possono produrre biogas per un numero di anni che va dai venti ai trenta. Quando la produzione di gas raggiunge condizioni stazionarie, il biogas è composto approssimativamente per il 40% in volume da CO_2 , per il 55% da CH_4 , per il 5% da N_2 ed altri gas, e contiene quantitativi minori di composti organici non metanici, la maggior parte dei quali deriva dalla volatilizzazione di composti organici presenti nel rifiuto trattato.

Risulta chiara la necessità di adoperare modelli che approssino il fenomeno ricorrendo all'introduzione di semplificazioni nella descrizione dei molteplici fenomeni che si attuano all'interno della discarica. Uno studio comprensivo di tutte le reazioni che avvengono risulterebbe dispendioso per gli scopi che ci si propone e per i benefici che se ne potrebbero trarre.

Le metodologie sinteticamente descritte nel seguito propongono tre diversi approcci alla soluzione del problema che hanno raccolto consenso in ambito internazionale ed i cui risultati trovano buon riscontro con i dati sperimentali.

Nella letteratura tecnica sono disponibili diversi modelli che possono essere classificati secondo le seguenti tipologie:

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

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

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

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

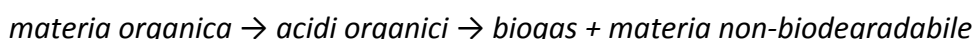
I modelli biochimici considerano la biodegradabilità delle diverse componenti dei rifiuti; pertanto si basano su una o più equazioni di rimozione del substrato biodegradabile. Questi modelli si differenziano per il tipo di cinetica adottata (generalmente del I ordine), per il numero di substrati biodegradabili individuati (uno indifferenziato o diversi).

Infine, i modelli ecologici considerano l’ecosistema che è alla base della metanogenesi in uno scarico controllato e descrivono la coesistenza dinamica di popolazioni microbiche simbiotiche, interconnesse dalla catena alimentare. La prima fase di tale catena è l’idrolisi della sostanza organica solida, l’ultima è la generazione di metano ed anidride carbonica. Ognuna di queste fasi è descritta da una o più equazioni che configurano complessivamente un modello dinamico della metanogenesi. Solo questi modelli sono in grado di evidenziare gli squilibri di nutrienti o di caratteristiche del substrato, che possono condurre all’inibizione parziale o totale della popolazione metanigena.

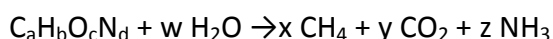
I risultati dell’applicazione dei modelli citati sono purtroppo molto diversi, derivando dall’applicazione di ipotesi e scenari fra loro non sempre confrontabili.

6.1 Metodo della “reazione semplificata”

Questo metodo matematico è basato su una semplificazione del complesso processo di formazione del biogas. L’insieme delle reazioni chimiche che portano alla generazione del biogas può essere riassunto nell’espressione:



Esprimendo la composizione elementare della materia organica in base ai suoi componenti fondamentali (C,H,O,N) si può usare il seguente schema stechiometrico per la reazione globale:





Senza entrare troppo nel dettaglio, dai bilanci elementari si possono ottenere i coefficienti stechiometrici w , x , y e z in funzione dei parametri a , b , c e d .

Questa relazione permette di valutare la quantità e la qualità del biogas teoricamente generabile nel caso in cui tutta la massa di rifiuti reagisse anaerobicamente e completamente.

Il calcolo necessita di dati specifici sulla composizione merceologica del rifiuto presente in discarica, sulle composizioni chimiche elementari e sulle percentuali di biodegradabilità delle varie frazioni merceologiche.

Poiché i rifiuti hanno differenti velocità di biodegradazione si può dividerli in due classi: rifiuti a degradazione veloce e rifiuti a degradazione lenta.

La degradazione dei rifiuti avviene in tempi differenti per i diversi tipi di rifiuto per cui la produzione media annuale di biogas si potrà ottenere sommando i contributi dovuti ai due termini di degradazione veloce e lenta. Si assume che la reazione veloce duri per 5-7 anni, mentre la reazione lenta prosegua fino a 15-20 anni dal deposito in discarica.

La produzione di biogas, presenta un massimo dopo pochi anni dal deposito per poi diminuire più lentamente. Questo schema è valido però solo qualitativamente poiché la presenza di diverse componenti organiche, ognuna caratterizzata dalle sue specifiche reazioni e costanti cinetiche, rende il problema troppo complesso per poter essere risolto analiticamente.

Si può comunque superare questo ostacolo con una schematizzazione del processo, ipotizzando che la reazione avvenga in un tempo finito prefissato, che la produzione di biogas sia nulla il primo anno e che vari linearmente da un valore nullo fino ad un massimo per poi decrescere ancora linearmente fino a zero.

I risultati vanno presi con una certa tolleranza poiché, certamente, non tutto il materiale biodegradabile smaltito in discarica reagisce anaerobicamente e/o nei tempi previsti, anzi se le condizioni non sono favorevoli ai microrganismi può capitare che gran parte della materia biodegradabile non venga decomposta. Inoltre si possono creare sacche di ristagno non essendo fatto alcun riferimento alle condizioni di estrazione del biogas (possibilità di estrazione in depressione, etc.). Ovviamente, la quantità di biogas teoricamente captabile dall'impianto d'estrazione sarà molto inferiore alla quantità teoricamente generabile dalla discarica, e la quantità realmente captata sarà ancora minore, non essendo realizzabili impianti con efficienza di captazione del 100%. D'altro canto questo modello matematico, anche se semplificato, ha il pregio di produrre risultati di tutto rispetto nei confronti di modelli molto più complessi.

6.2 Modello Land GEM della U.S. E.P.A.

L'Environmental Protection Agency degli Stati Uniti ha sviluppato un modello matematico chiamato "*Landfill Gas Emission Model*" che è disponibile anche in forma di applicativo per personal computer (con sistema operativo Windows®) e può fornire, oltre alla stima della generazione di metano e biossido di carbonio, anche quella di composti organici non metanici "NMOCs". Il modello nasce infatti come strumento per il controllo ambientale delle emissioni inquinanti generate dalle discariche americane.

Le informazioni richieste dal modello sono combinazioni di parametri specifici del sito oggetto di studio:

- capacità della discarica;
- il numero di anni di attività della discarica;
- l'eventuale presenza di rifiuti pericolosi (codisposal);
- il tasso di generazione " k " del metano, [1/anno];
- la generazione potenziale " L_0 " di metano per tonnellata di rifiuto, [m^3/t].

Il software propone due set di dati di default per k e L_0 ; uno dei quali usato per la verifica degli standard minimi di legge degli Stati Uniti ed un altro che produce risultati più rappresentativi (sempre tarati sui dati delle discariche degli USA). È sempre consigliato però, quando possibile, utilizzare per il calcolo di k dati specifici del caso in esame, e per L_0 i dati di letteratura più rispondenti alla realtà considerata (generalmente L_0 è una funzione della frazione organica del rifiuto e della sua umidità e varia tra 100 m³/t e 170 m³/t), soprattutto in considerazione della grande differenza tra la realtà americana e quella italiana. Il tasso di generazione del metano, k , dipende da vari fattori, in particolare da:

- quantità di acqua presente nel rifiuto;
- pH, temperatura ed altri parametri ambientali;
- condizioni operative della discarica e condizioni del rifiuto trattato.

Il modello può essere utilizzato anche per valutare, una volta in possesso di analisi atte ad individuare la presenza di altri composti nel biogas, le quantità teoriche generabili di NMOCs, di VOCs (Composti Organici Volatili) o di altri inquinanti.

Poiché il modello è stato realizzato essenzialmente per scopi di protezione della salute pubblica e dell'ambiente, i risultati prodotti rappresentano le quantità massime di inquinanti (compresi CH₄ e CO₂) che possono venire rilasciate in atmosfera. Per poter utilizzare gli stessi risultati a scopi di recupero energetico si deve tener conto sia del fatto che gran parte del biogas prodotto non è captabile e va disperso per altre vie, sia della efficienza di captazione dell'impianto.

6.3 Metodo del “pressure rebound”

Il metodo del “pressure rebound” (letteralmente “rimbalzo di pressione”) si basa su semplici misure di pressione, da effettuarsi in determinate condizioni, sull'impianto di estrazione del biogas.

Questo metodo, a differenza di quelli esposti precedentemente, non fornisce immediatamente una stima della produzione di biogas nel lungo periodo o negli anni futuri, ma può comunque essere utile, sia per valutare l'adeguatezza di un determinato impianto di captazione, sia come base per la calibrazione di altri modelli matematici.

I fondamenti teorici di questo modello si basano sul fatto che quando l'estrazione del biogas viene bloccata, il conseguente aumento della pressione nell'impianto è una funzione del tasso di generazione del gas, del volume occupato dal gas, della temperatura e della velocità con la quale il gas esce dalla discarica. Quest'ultimo parametro dipende dalla differenza di pressione tra l'interno e l'esterno della discarica e dalla permeabilità del contorno (materiale di copertura, isolanti, ecc ...). Comunque, per condizioni di pressione prossime a quelle atmosferiche, il “rimbalzo” di pressione è relativamente indipendente dalle condizioni al contorno e perciò può essere usata la legge dei gas perfetti per stimare il tasso di generazione di biogas senza introdurre errori significativi.

Convertendo il tasso di generazione da molare in volumetrico, si può ottenere una stima abbastanza accurata dei metri cubi di biogas prodotti nella discarica in un dato intervallo di tempo (non superiore ad un anno).

Bisogna, tuttavia, considerare che l'efficacia della captazione del biogas è molto dipendente dalle caratteristiche specifiche di ogni singolo impianto di estrazione e da quelle della discarica. Al riguardo sono riportati in letteratura parecchi valori differenti dell'efficienza di captazione del biogas in discarica, spesso basati su serie di dati limitate e per di più soggetti a molte assunzioni semplificative. La maggior parte degli Autori riportano efficienze medie del 50%, altri tra il 75% ed il 90%.



Il monitoraggio del rimbalzo di pressione in discarica, quando viene disattivato l'impianto di estrazione, consente, in modo abbastanza semplice, di stimare il tasso di generazione del biogas caratteristico della discarica esaminata. In tal modo si potrebbero altresì ridurre i costi ed i tempi per la valutazione dell'adeguatezza di un dato impianto di captazione.

I test possono essere completati in alcune ore e l'equipaggiamento tecnico necessario per il monitoraggio dell'andamento della pressione è relativamente semplice.

Purtroppo questa tecnica è soggetta a due assunzioni significative: si ipotizza che la discarica si comporti e funzioni come un "unico blocco", e che la distribuzione dei valori della porosità sia uniforme dappertutto. Si potrebbero sicuramente migliorare i risultati ottenibili procedendo ad una analisi della discarica "per compartimenti", oppure monitorando contemporaneamente più condotti di aspirazione, opportunamente distribuiti nello spazio, e combinando matematicamente i valori ricavati.

7 Stima produzione di biogas

Per efficienza di un impianto di captazione del biogas si intende il rapporto tra la portata realmente aspirata e convogliata alla combustione finale e la produzione teorica di biogas.

Come accennato in precedenza il processo di modellazione delle complesse interazioni sinergiche che intervengono all'interno di una discarica è infatti reso complesso dal fatto che una discarica è per sua stessa natura un'entità non omogenea, non simmetrica e non isotropa. In aggiunta alle molte intrinseche variabili interne, una discarica risulta anche essere soggetta a variabili esterne, come la pressione atmosferica, il gelo e la copertura di neve (dove possibile) per differenti periodi dell'anno, le infiltrazioni, gli agenti atmosferici, tutti fattori che sembrano influenzare le prestazioni di un sistema di aspirazione di gas in depressione.

A causa della riconosciuta complessità, un modello matematico adeguato relativo all'operazione di estrazione di gas nei rifiuti non è ancora stato sviluppato. Perciò tecnici e studiosi sono costretti ad osservare esempi sul campo e a cercare di interpretare correttamente i fenomeni osservati in risposta ai diversi modi di costruzione e funzionamento di una discarica.

In genere vengono applicati modelli teorici che a partire dalla composizione merceologica media del rifiuto e, senza tenere in considerazione gli agenti esterni sopra menzionati, calcolano sul periodo medio di 25 anni (lasso di tempo sperimentalmente osservato per veder esaurire la capacità di generare biogas) la produzione "teorica" per ogni singola annualità a partire dal primo anno di gestione dell'impianto.

Tra gli elementi influenti sull'efficienza dell'impianto e dipendenti dalle caratteristiche realizzative della discarica si elencano:

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

Tra gli elementi influenti l'efficienza dipendenti dalla rete di captazione si hanno:

- densità planimetrica dei pozzi (interasse dei pozzi);
- depressione applicata ai singoli pozzi o trincee;
- caratteristiche costruttive dei pozzi;
- diametri dei pozzi o sezioni delle trincee;
- tipologia dei materiali drenanti;



- tipologia e diametro delle sonde di captazione;
- eventuale parziale allagamento dei pozzi da parte dei percolati.

L'attenta considerazione degli elementi descritti consente la scelta di un valore caratteristico percentuale, definito appunto coefficiente di efficienza, applicabile alle produzioni teoriche calcolate.

Tale coefficiente di efficienza in base all'esperienza maturata in campo e nella realtà specifica può essere considerato intorno allo 0.8 in ragione soprattutto del dilavamento ("flushing") operato dall'acqua che genera il percolato e che si porta via una parte del carico organico contenuto nel rifiuto.

Interviene poi un'efficienza del sistema di captazione; nel caso di pozzi verticali esistono diagrammi semiempirici che consentono di ricavare il rapporto tra portata aspirata e portata prodotta (Q_a/Q_p) in funzione della forma dell'elemento di captazione (pozzo o trincea) e del raggio medio di influenza attribuito al singolo pozzo.

In particolare, supposto un raggio medio di influenza di 15÷30 metri ed una buona copertura superiore, è possibile stimare un coefficiente di efficienza valido per pozzi verticali variabile tra il 65 ed il 75% (si è optato per un valore del 70% per considerare le condizioni più cautelative).

Va detto, comunque, che un metodo grafico di questo genere, seppur basato su esperienze empiriche relative a varie tipologie di impianto, non garantisce l'attendibilità del dato, che verrà determinato correttamente solo per via sperimentale una volta attivato l'impianto anche perché questi valori di efficienza sono funzione della distribuzione dei pozzi, come chiaramente intuibile.

Di seguito si riportano le stime di produzione di biogas relative al caso in oggetto con l'utilizzo del metodo basato sulla "*reazione semplificata*" di produzione.

I dati di input riguardano, innanzitutto, le quantità di rifiuti solidi urbani ed assimilabili agli urbani smaltite in discarica. Nel caso in esame, dalle informazioni reperite presso l'amministrazione comunale, si può stimare un volume di rifiuti abbancati pari a 232'000 m³ nell'arco di circa 20 anni (periodo di esercizio 1992-2012). Per ciò che concerne la densità media del rifiuto si è considerato un valore medio di 1-1.1 t/m³ tipico dei compattatori (considerando che nel corso degli anni i processi di biodegradazione hanno contribuito a compattare il materiale abbancato, oltre all'effetto del peso del materiale sovrastante). Inoltre, non conoscendo gli afflussi annuali dei rifiuti in discarica si è ipotizzato di dividerli in parti uguali secondo gli anni di esercizio.

Il risultato dell'elaborazione fornisce i dati di produzione teorica della discarica intesa come il quantitativo di gas teoricamente prodotto ed emesso. I risultati ottenuti sono riportati nella seguente tabella e rappresentati graficamente nella successiva Figura 5: andamento grafico della produzione di biogas.



Tabella 4: biogas teoricamente generabile e captabile

Anno	Q.tà RS inserita (tonnellate)	biogas teor. generabile (Nm ³)	biogas teor. captabile (Nm ³)
1992	12,152	0	0
1993	12,152	319,786	223,850
1994	12,152	887,143	621,000
1995	12,152	1,310,072	917,050
1996	12,152	1,588,571	1,112,000
1997	14,362	1,722,643	1,205,850
1998	14,362	1,839,549	1,287,685
1999	14,362	1,995,284	1,396,698
2000	14,362	2,118,572	1,483,001
2001	14,362	2,209,415	1,546,591
2002	16,571	2,267,813	1,587,469
2003	16,571	2,364,476	1,655,133
2004	16,571	2,498,842	1,749,189
2005	16,571	2,599,637	1,819,746
2006	16,571	2,666,862	1,866,803
2007	16,571	2,700,517	1,890,362
2008	16,571	2,716,263	1,901,384
2009	16,571	2,729,759	1,910,831
2010	16,571	2,741,005	1,918,704
2011	16,571	2,750,003	1,925,002
2012	16,571	2,756,751	1,929,725
2013	0	2,761,812	1,933,268
2014	0	2,329,676	1,630,774
2015	0	1,558,819	1,091,173
2016	0	983,785	688,650
2017		604,575	423,203
2018		421,751	295,226
2019		341,618	239,133
2020		269,921	188,944
2021		206,658	144,661
2022		151,830	106,281
2023		105,438	73,806
2024		67,480	47,236
2025		37,958	26,570
2026		16,870	11,809
2027		4,218	2,952
2028		0	0

biogas teoricamente generabile e captabile

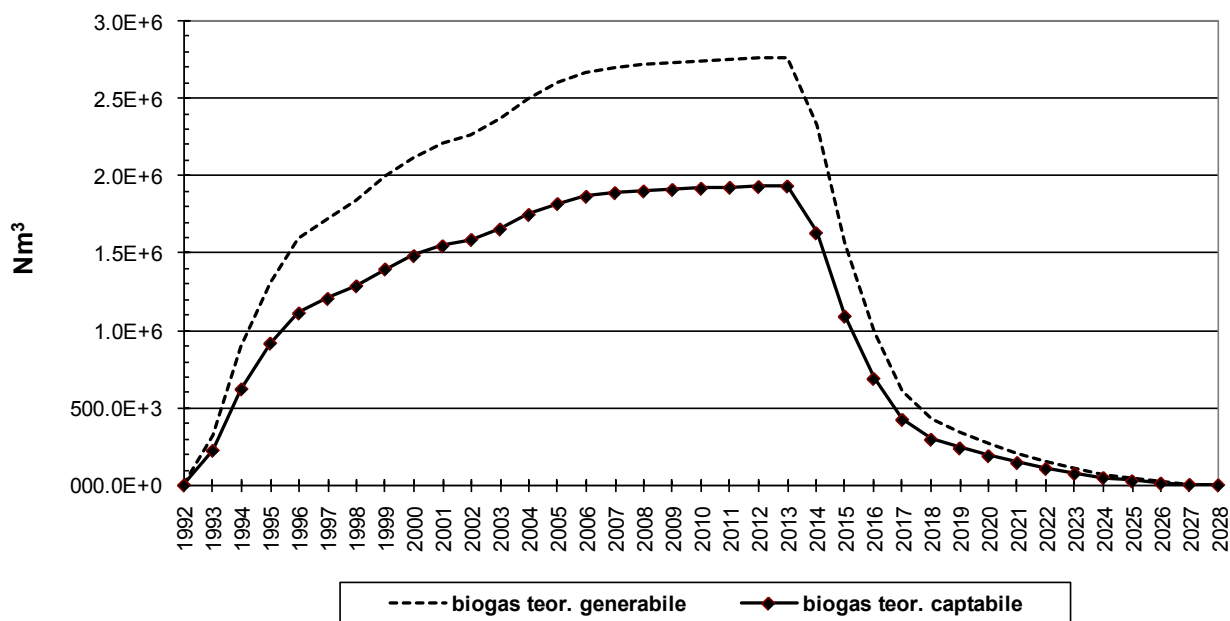


Figura 5: andamento grafico della produzione di biogas

In particolare, in base ai risultati del modello, ci si attende per l'anno in corso (2017) una produzione specifica di biogas, teoricamente captabile, pari a $1.66 \text{ Nm}^3/\text{t}$ di R.S.U. ovvero circa $48.31 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

8 Caratteristiche generali dell'impianto - conclusioni

Come più volte accennato, non tutto il biogas può essere intercettato e trattato da un impianto di captazione; è pertanto necessario definire un criterio di "efficienza di captazione" inteso come il rapporto tra la capacità di captazione della rete e la produzione teorica prevista di biogas.

Le conclusioni qui esposte, si basano sulle considerazioni illustrate nei precedenti capitoli circa lo studio del biogas a partire dai dati ricavati dalle informazioni in nostro possesso.

In effetti non è possibile, sulla base delle conoscenze attuali circa le condizioni al contorno della discarica, formulare ipotesi più precise circa la presenza di biogas ed il tasso di produzione dello stesso, soprattutto in considerazione della mancanza di dati relativi alla tipologia e merceologia dei rifiuti conferiti nel corso degli anni.

Nel contesto di una discarica priva di sistemi attivi di captazione del biogas e di sistemi di contenimento/isolamento della massa di rifiuto abbancato, caratterizzata da emissioni incontrollate e diffuse, i processi degradativi avvengono in modo disomogeneo risentendo delle influenze esterne in maniera più sensibile rispetto a discariche opportunamente isolate (discariche controllate).

È utile sottolineare che la maggior parte delle indagini sperimentali, condotte fino ad oggi, finalizzate allo studio della cinetica del biogas (e su cui si basano i modelli di calcolo come quello impiegato) sono state eseguite sempre su rifiuti caratterizzati da un apprezzabile grado di



bioreattività ed in particolare su campioni di rifiuto tal quale, il cui comportamento è stato definito con una maggiore accuratezza. Sulla base dell'esperienza e di dati esistenti in letteratura, in condizioni normali (ove presenti celle di smaltimento e coperture adeguate allo scopo), il quantitativo di biogas che è possibile captare corrisponde al massimo al 65% di quello complessivamente prodotto.

Alla luce della elaborazioni suddette, tenuto conto del biogas residuo e delle portate medie in oggetto, non si configura l'ipotesi di un recupero energetico; a valle della stima quantitativa del biogas la scelta progettuale di trattarlo mediante l'installazione ex novo di opportuna torcia di combustione ad accensione automatica quale alternativa al possibile recupero energetico e/o ossidazione termica è confermata dai risultati analitici sopra riportati.

L'impianto di captazione e combustione biogas previsto per la discarica in oggetto (copertura finale), ha le seguenti principali caratteristiche:

- Rifunionalizzazione dei 7 pozzi esistenti e realizzazione ex novo di 9 pozzi per un totale di 16 pozzi di biogas, della profondità di 10 m dall'estradosso della nuova copertura; l'area di influenza è stata posta pari a 20-25 m;
- realizzazione della rete di trasporto PEAD con posa interrata al fine di proteggere la stessa dagli agenti atmosferici e da danneggiamenti connessi a potenziali incendi;
- realizzazione di una stazione di regolazione del biogas (aspirazione);
- trattamento finale mediante torcia ad accensione automatica in grado di ossidare il metano presente nella corrente di biogas ad anidride carbonica.

La rete di trasporto consentirà il convogliamento del biogas estratto dai singoli elementi di captazione verso la 1 stazione di regolazione e di qui verso la torcia.

Tenuto conto dell'entità del biogas in uscita, la rete di trasporto sarà realizzata mediante tubazione in PEAD con diametri esterni di 80 mm indipendentemente dalla posizione di installazione. È buona norma non realizzare linee con diametri esterni inferiori a 80 mm per i seguenti motivi:

- tubazioni con diametri inferiori sono molto flessibili e pertanto è difficile mantenere il posizionamento iniziale;
- il rischio di occlusione da parte delle condense è molto elevato a causa della ridotta sezione;
- il rischio di congelamento invernale è molto elevato.

In particolare avremo, per la rete di estrazione, le seguenti caratteristiche dimensionali:

Rete di estrazione biogas	
Lunghezza (m)	Diametro esterno tubo in PEAD (mm)
2140	80

Il layout prescelto è del tipo *"in parallelo"*, ovvero ad ogni pozzo di estrazione corrisponde una linea verso la stazione di regolazione. Questa è una soluzione che, a fronte di maggiori quantità di tubazioni, consente di centralizzare le operazioni gestionali e di regolazione. Come accennato si provvederà ad una posa interrata scegliendo percorsi che garantiscano una pendenza minima del 2% evitando assolutamente tratti in contropendenza.

La copertura del materiale arido drenante a testa pozzo con un tappo sigillante di bentonite idrata consentirà di annullare le perdite di biogas in atmosfera con una notevole riduzione dell'impatto ambientale dovuto all'emissione di gas serra.

In base alle portate di biogas previsto, alle sezioni della rete principale e secondaria sono stati calcolati valori di velocità del biogas nelle tubazioni variabili da 0.9 a 1.5 m/s a, quindi del tutto compatibili con il sistema in esame. Inoltre, una depressione dell'ordine di 1000 mm di



colonna d'acqua (circa 0.1 atm) risulta del tutto sufficiente a vincere le perdite del circuito (sia distribuite che concentrate).

Per la planimetria della rete di captazione del biogas si rimanda allo specifico elaborato etichettato "Planimetria delle reti tecnologiche".



Impianto antincendio



9 Norme di riferimento

Gli impianti e i relativi componenti devono rispettare, ove di pertinenza, le prescrizioni contenute nelle seguenti norme di riferimento, comprese eventuali varianti, aggiornamenti ed estensioni emanate successivamente dagli organismi di normazione citati.

UNI 10779 Impianti di estinzione incendi - Reti di idranti - Progettazione, installazione ed esercizio.

UNI 804 Apparecchiature per estinzione incendi - Raccordi per tubazioni flessibili.

UNI 810 Apparecchiature per estinzione incendi - Attacchi a vite.

UNI 811 Apparecchiature per estinzione incendi - Attacchi a madrevite.

UNI 814 Apparecchiature per estinzione incendi - Chiavi per la manovra dei raccordi, attacchi e tappi per tubazioni flessibili.

UNI 7421 Apparecchiature per estinzione incendi - Tappi per valvole e raccordi per tubazioni flessibili.

UNI 7422 Apparecchiature per estinzione incendi - Requisiti delle legature per tubazioni flessibili.

UNI 9032 Tubi di resine termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) con o senza cariche: tipi, dimensioni e requisiti.

UNI 9487 Apparecchiature per estinzione incendi - Tubazioni flessibili antincendio di DN 70 per pressioni di esercizio fino a 1,2 MPa.

UNI 9795 Sistemi fissi automatici di rivelazione, di segnalazione manuale e di allarme d'incendio - Sistemi dotati di rivelatori puntiformi di fumo e calore, rivelatori onici lineari di fumo e punti di segnalazioni manuali.

UNI EN 545 Tubi, raccordi ed accessori in ghisa sferoidale e loro assemblaggi per condotte d'acqua. Prescrizioni e metodi di prova.

UNI EN 671-1 Sistemi fissi di estinzione incendi - Sistemi equipaggiati con tubazioni: Naspi antincendio con tubazioni semirigide.

UNI EN 671-2 Sistemi fissi di estinzione incendi - Sistemi equipaggiati con tubazioni: Idranti a muro con tubazioni flessibili.

UNI EN 671-3 Sistemi fissi di estinzione incendi - Sistemi equipaggiati con tubazioni: Manutenzione dei naspi antincendio con tubazioni semirigide ed idranti a muro con tubazioni flessibili.

UNI EN 694 Antincendio - Tubazioni semirigide per sistemi fissi antincendio.

UNI EN 1074-1 Valvole per la fornitura di acqua - Requisiti di attitudine all'impiego e prove idonee di verifica - Parte I: Requisiti generali.

UNI EN 1074-2 Valvole per la fornitura di acqua - Requisiti di attitudine all'impiego e prove idonee di verifica - Parte 2: Valvole di intercettazione.

UNI EN 1452 Sistemi di tubazioni di materia plastica per adduzione d'acqua - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U).

UNI EN 10224 Tubi e raccordi di acciaio non legato per il convogliamento di acqua e di altri liquidi acquosi: Condizioni tecniche di fornitura.

UNI EN 10255 Tubi di acciaio non legato adatti alla saldatura e alla filettatura - Condizioni tecniche di Fornitura.

UNI EN 12201 Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua - Polietilene (PE).

UNI EN 12845 Installazioni fisse antincendio - Sistemi automatici a sprinkler: Progettazione, installazione e manutenzione.



UNI EN 13244 Sistemi di tubazioni di materia plastica in pressione interrati e non per il trasporto di acqua per usi generali, per fognature e scarichi - Polietilene (PE).

UNI EN 14339 Idranti antincendio sottosuolo.

UNI EN 14384 Idranti antincendio a colonna sopra suolo.

UNI EN 14540 Tubazioni antincendio - Tubazioni appiattibili impermeabili per impianti fissi.

UNI EN ISO 15493 Sistemi di tubazioni di materia plastica per applicazioni industriali - Acrilnitrile Butadiene - Stirene (ABS), policloruro di vinile non plastificato (PVC-V) e clorurato (PVC-C) - Specifiche per i componenti ed il sistema - Serie Metrica.

UNI EN ISO 15494 Sistemi di tubazioni di materia plastica per applicazioni industriali - Polibutene (PS), polietilene (PE) e polipropilene (PP) - Specifiche per i componenti ed il sistema - Serie Metrica.

UNI EN ISO 14692 Industrie del petrolio del gas naturale - Tubazioni in plastica vetro-rinforzata.

Norme della serie UNI EN 54.

10 Descrizione dell'impianto

La presente relazione ha lo scopo di evidenziare i requisiti costruttivi e prestazionali dell'impianto, dimensionato secondo le esigenze e le rispondenze alle normative vigenti.

Le scelte progettuali sono state indirizzate verso il raggiungimento delle garanzie di sicurezza in caso d'incendio e quindi volte a creare un'autonoma rete antincendio, attraverso l'installazione e l'esercizio degli impianti idrici di estinzione incendi permanentemente in pressione, destinati all'alimentazione di idranti, come indicato sugli elaborati grafici allegati.

In particolare la presente relazione è articolata nelle seguenti sezioni:

- -descrizione del sito;
- -componenti principali dell'impianto, descrizione, utilizzo e installazione;
- -progettazione e calcolo dell'impianto con le caratteristiche idrauliche dei terminali utilizzati;
- informazioni sull'alimentazioni idrica.

I componenti dell'impianto, specificati nei paragrafi successivi, sono costruiti, collaudati ed installati in conformità alla legislazione vigente.

La pressione normale supportata dai componenti del sistema non sarà minore della pressione massima che il sistema può raggiungere in ogni circostanza e comunque non minore di 1.2 MPa.

11 Documentazione

La documentazione di progetto è costituita dalla presente relazione tecnica e di calcolo, i disegni di lay-out dell'impianto con l'esatta ubicazione delle attrezzature, la posizione dei punti di misurazione, ed i dati tecnici dell'impianto.

La ditta installatrice rilascerà al committente apposita documentazione comprovante la corretta realizzazione ed installazione dell'impianto e dei suoi componenti secondo il progetto e la relazione tecnica, copia del progetto utilizzato per l'installazione, completo di tutti gli elaborati grafici e descrittivi relativi all'impianto come realizzato, ed il manuale di uso e manutenzione dello stesso.



12 Tubazioni

Tutte le tubazioni saranno installate entro terra e saranno conformi alla specifica normativa vigente e scelte tenendo conto delle caratteristiche di resistenza meccanica ed alla corrosione che assicurino la voluta affidabilità dell'impianto.

Sono utilizzate tubazioni in materia plastica con pressione nominale non minore di 1.2 MPa, conformi alle norme UNI EN 12201, UNI EN 13244, UNI EN ISO 15494, UNI EN 1452, UNI EN ISO 15493, UNI 9032 e UNI EN ISO 14692.

I raccordi, gli attacchi e gli accessori delle tubazioni sono conformi alle norme UNI 804, UNI 810, UNI 811, UNI 7421, con chiavi di manovra secondo la UNI 814, UNI EN 14384 e UNI EN 14339.

Le legature sono conformi alla UNI 7422.

Tutte le tubazioni saranno svuotabili senza dover smontare componenti significativi dell'impianto.

In generale la profondità di posa non sarà minore di 0.8 m dalla generatrice superiore della tubazione.

13 Impianto, reti, terminali

La rete a servizio dell'area di discarica è classificata in conformità alle le indicazioni della UNI 10779, essa presenta un livello di pericolosità di tipo II ed è utilizzata per la protezione esterna.

I terminali utilizzati per la protezione esterna sono idranti esterni con attacco DN80.

Questa classificazione prevede 4 elementi operativi la cui portata minima è per la protezione esterna 300.00 l/min per gli idranti soprasuolo, con una pressione residua di funzionamento per la protezione esterna di 300.00 kPa per gli idranti soprasuolo. La durata dell'alimentazione deve essere garantita per almeno 60 minuti.

Le aree classificate come livello di pericolosità II sono aree nelle quali c'è una presenza non trascurabile di materiali combustibili e che presentano un moderato pericolo di incendio come probabilità d'innesco, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza.

Le aree di livello II possono essere assimilate a quelle definite di classe OH 2, 3 e 4 della UNI EN 12845.

Nella tabella seguente vengono riportati i parametri idrici degli idranti a colonna soprasuolo della rete.

N. idranti	Nome	DN	ΔP (kPa)	K	Q (l/min)*
9	UNI EN 14384 - 400 kPa - DN80 - 300 l/min - SOPRASUOLO	DN80	400.00	150.00	300.00

Gli idranti a colonna soprasuolo sono conformi alla norma UNI EN 14384.

Per ciascun idrante è prevista, secondo la necessita di utilizzo, una o più tubazioni flessibili di DN70, conformi alla UNI 9487, complete di raccordi UNI 804, lancia di erogazione e con le chiavi di manovra indispensabili all'uso dell'idrante stesso. Tali dotazioni sono ubicate in prossimità degli idranti, in apposite cassette di contenimento dotate di sella di sostegno, o conservate in una o più postazioni accessibili in sicurezza anche in caso d'incendio; in ogni caso sono adeguatamente individuate da apposita segnaletica.



Dove possibile sono installati in corrispondenza degli ingressi, ma in modo che risultino in posizione sicura anche durante un incendio. In relazione all'altezza dell'area da proteggere, gli idranti sono distanziati dalle pareti perimetrali dei fabbricati stessi, con una distanza tra 5 m e 10 m.

Le operazioni di manutenzione includeranno almeno:

- -verifica della manovrabilità della valvola principale mediante completa apertura e chiusura;
- -verifica della facilità di apertura dei tappi;
- -verifica del sistema di drenaggio antigelo, ove previsto;
- -verifica del corredo di ciascun idrante.

14 Progettazione e calcolo impianto

La progettazione di un impianto antincendio richiede l'applicazione di norme tecniche specifiche che consentono di determinare le caratteristiche dell'impianto.

In particolare, tali norme forniscono gli strumenti per identificare le prestazioni richieste all'impianto in termini di pressione di scarica minima ai terminali, portata in uscita da ciascun terminale, numero dei terminali da attivare.

La normativa prende in considerazione diversi fattori:

- -il tipo di attività che viene svolta all'interno dell'area da proteggere;
- -in caso di deposito, le caratteristiche del deposito, delle merci stoccate, dei materiali e della modalità di imballaggio;
- -le caratteristiche dei fabbricati;
- -le condizioni ambientali.

Si è provveduto, pertanto, dapprima alla identificazione delle aree da proteggere, seguendo le suddette indicazioni e, successivamente, al disegno e calcolo delle caratteristiche idriche delle tubazioni, calcolandone portata e prevalenza per ciascun terminale attivo ai fini del calcolo.

Una volta ultimata questa procedura, si è completato il progetto indicando le caratteristiche della sorgente di alimentazione.

14.1 Calcolo tubazioni

Il calcolo idraulico della rete di tubazioni consente di dimensionare ogni tratto di tubazione in base alle perdite di carico distribuite e localizzate in quei tratti.

Il calcolo è eseguito sulla base dei dati geometrici (lunghezze dei tratti della rete, dislivelli geodetici, diametri nominali delle tubazioni), arrivando alla determinazione di tutte le caratteristiche idrauliche dei tratti quali portata, perdite distribuite e perdite concentrate, e, quindi, della prevalenza e della portata totali necessari al calcolo della potenza minima della pompa da installare a monte rete (Appendice C della Norma UNI EN 10779).

Verrà eseguita, infine, la verifica della velocità massima raggiunta dall'acqua in tutti i tratti della rete; in particolare, sarà verificato che essa non superi in nessun tratto il valore di 10.00 m/s.

14.1.1 Perdite di carico distribuite

Le perdite di tipo distribuito sono state valutate secondo la seguente formula di Hazen-Williams:



$$p = \frac{6.05 \times Q^{1.85} \times 10^9}{C^{1.85} \times D^{4.87}}$$

dove:

p = perdita di carico unitaria in millimetri di colonna d'acqua al metro di tubazione.

Q = portata attraverso le tubazioni, in litri al minuto.

D = diametro medio interno della tubazione, in millimetri.

C = costante dipendente dal tipo e dalla condizione della tubazione.

14.1.2 Perdite carico localizzate

Le perdite di carico localizzate dovute a raccordi, curve, pezzi a T e raccordi a croce, attraverso i quali la direzione di flusso subisce una variazione di 45° o maggiore, e alle valvole di intercettazione e di non ritorno, sono trasformate in "lunghezza di tubazione equivalente", come mostrato nel prospetto che segue, ed aggiunte alla lunghezza reale della tubazione di uguale diametro e natura.

Tipo di accessorio	DN *											
	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
	Lunghezza tubazione equivalente (m)											
Curva 45°	0.3	0.3	0.6	0.6	0.9	0.9	1.2	1.5	2.1	2.7	3.3	3.9
Curva 90°	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	3.0	3.6	4.2	5.4	6.6	8.1
Curva 90° a largo raggio	0.6	0.6	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.4	2.7	3.9	4.8	5.4
Giunto T o Croce	1.5	1.8	2.4	3.0	3.6	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	15.0	18.0
Saracinesca	-	-	-	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8
Valvola di non ritorno	1.5	2.1	2.7	3.3	4.2	4.8	6.6	8.3	10.4	13.5	16.5	19.5
Nota: il prospetto è valido per coefficienti di Hazen Williams C=120 (accessori di acciaio), per accessori di ghisa (C=100) i valori ivi specificati devono essere moltiplicati per 0.713; per accessori di acciaio inossidabile, di rame e di ghisa rivestita (C=140) per 1.33; per accessori di plastica analoghi (C=150) per 1.51.												
* Per valori intermedi dei diametri interni si fa riferimento al DN immediatamente successivo (maggiore)												

Nella determinazione delle perdite di carico localizzate si tiene presente che:

- -quando il flusso attraversa un pezzo a T o un raccordo a croce senza cambio di direzione, le relative perdite di carico possono essere trascurate;
- -quando il flusso attraversa un pezzo a T o un raccordo a croce in cui, senza cambio di direzione, si ha una riduzione della sezione di passaggio, deve essere presa in considerazione la "lunghezza equivalente" relativa alla sezione di uscita (la minore) del raccordo medesimo;
- -quando il flusso subisce un cambio di direzione (curva, pezzo a T o raccordo a croce), deve essere presa in conto la "lunghezza equivalente" relativa alla sezione di uscita.

14.1.3 Calcolo perdite lungo la manichetta

I terminali di tipo naspo o idrante presentano una perdita di carico al bocchello della manichetta dovuta all'attrito dell'acqua con le pareti della tubazione. Tali perdite sono computate secondo la formula attribuita a Marchetti di seguito riportata:

$$J = \beta \frac{Q^2}{D^5}$$

dove:

J = perdita di carico (m.c.a./m).

Q = portata (m³/s).

D = diametro (m).

con β pari a 0.0017 nel caso di tubazioni con rivestimento gommato liscio, oppure con β pari a 0.0021 nel caso di tubazioni con rivestimento gommato non liscio.

Nella seguente tabella si riportano i valori delle perdite di carico nelle manichette internamente gommate.

Perdita di carico in m di H2O per 100 m di stendimento				
Portata (l/min)	Rivestimento gommato			
	liscio $\beta = 0.0017$		non liscio $\beta = 0.0021$	
	DN45	DN70	DN45	DN70
100	2.6		3.2	
125	4		4.9	
150	5.8		7.1	
200	10.2	1.1	12.6	1.4
250	16	1.8	20	2.2
300	23	2.5	28.4	3.1
350		3.4		4.3
400		4.5		5.5
450		5.7		7
500		7		8.7
550		8.5		10.5
600		10.1		12.5
650		11.9		14.7
700		13.8		17
750		15.8		19.5
800		18		22.2

14.1.4 Procedura e dati utilizzati nel calcolo

La procedura di calcolo procede per passi successivi. Inizialmente, si considera una portata nominale alla pressione di scarica minima per ciascun terminale attivo ai fini del calcolo.

Se l'impianto è ramificato e non magliato, si procede per correzioni successive bilanciando la pressione su ciascun terminale e considerando le portate correttive sugli archi che collegano il terminale alla sorgente. Si raggiunge così in pochi passi una situazione in cui ogni nodo intermedio ha portata in ingresso pari alla portata in uscita e le perdite di carico, lungo i tratti di tubazione, rispecchiano effettivamente la differenza di carico fra gli estremi delle tubazioni stesse, nel rispetto delle tolleranze ammesse dalla normativa.

Se, invece, nell'impianto sono presenti delle maglie, dopo aver completato un primo bilanciamento in termini di pressione e portata come già indicato nel caso di impianto ramificato, si individuano gli anelli e si bilanciano, con il metodo iterativo proposto dal professor Hardy-Cross, le portate e le perdite di carico sui rami degli anelli stessi. L'iterazione procede fino a che la portata correttiva di Hardy-Cross si è ridotta a tal punto da non apportare modifiche alle pressioni nei nodi degli anelli.

Nella seguente tabella sono indicate l'accuratezza nei calcoli idraulici e le tolleranze utilizzate.



Pressione	0.1 kPa (1mbar)
Perdita di carico	0.1 kPa/m (1mbar/m)
Portate	1 l/min
Portata nelle giunzioni	± 0.1 l/min
Perdita di carico anello	± 0.1 kPa

Le tubazioni utilizzate nell'impianto antincendio sono le seguenti.

Codice	Tubazione	Materiale	C nuovo	C usato
PPEPN16	UNI 10910-2 SDR 11 - POLIETILENE PE 100 PN 16	POLIETILENE	150	105.0

Nella tabella seguente sono indicati i terminali utilizzati e il loro posizionamento.

Terminali attivi Impianto

Rif. nodo	Terminale	Alt. (cm)
Idrante esterno IT.1.T0	UNI EN 14384 - 400 kPa - DN80 - 300 l/min - SOPRASUOLO	0
Idrante esterno IT.2.T0	UNI EN 14384 - 400 kPa - DN80 - 300 l/min - SOPRASUOLO	-500
Idrante esterno IT.5.T0	UNI EN 14384 - 400 kPa - DN80 - 300 l/min - SOPRASUOLO	-1800
Idrante esterno IT.7.T0	UNI EN 14384 - 400 kPa - DN80 - 300 l/min - SOPRASUOLO	-1907



14.1.5 Risultati di calcolo

Arco	Codice	Lungh. (m)	L.eq. (m)	DN	Ø int. (mm)	ΔH_d (kPa)	ΔH_c (kPa)	ΔH_q (kPa)	ΔH (kPa)	Q (l/min)	V (m/s)
Gruppo pompaggio --> Rete 1	PPEPN16	16.45	0.00	DN110	87.80	16.36	0.00	0.00	16.35	1 227.68	3.38
Rete 1 --> Idrante esterno IT.1.T0	PPEPN16	3.20	1.81	DN110	87.80	3.18	1.80	0.00	4.98	1 227.68	3.38
Idrante esterno IT.1.T0 --> Idrante esterno IT.9.T0	PPEPN16	57.69	1.81	DN110	87.80	34.12	1.06	-25.01	10.17	927.17	2.55
Idrante esterno IT.2.T0 --> Idrante esterno IT.4.T0	PPEPN16	84.86	1.81	DN110	87.80	24.32	0.52	-147.10	-122.25	626.66	1.73
Idrante esterno IT.4.T0 --> Curva .T0	PPEPN16	14.25	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-24.71	-24.71	---	0.00
Idrante esterno IT.4.T0 --> Curva .T0	PPEPN16	25.95	1.81	DN110	87.80	7.43	0.52	4.02	11.97	626.66	1.73
Rete 1 --> Curva .T0	PPEPN16	32.94	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-5.49	-5.49	---	0.00
Idrante esterno IT.7.T0 --> Curva .T0	PPEPN16	36.87	1.81	DN110	87.80	3.16	0.15	5.00	8.31	326.14	0.90
Idrante esterno IT.8.T0 --> Curva .T0	PPEPN16	34.21	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-53.64	-53.64	---	0.00
Curva .T0 --> Curva .T0	PPEPN16	11.32	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-21.77	-21.77	---	0.00
Curva .T0 --> Curva .T0	PPEPN16	13.46	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-15.10	-15.10	---	0.00
Curva .T0 --> Idrante esterno IT.5.T0	PPEPN16	42.51	1.81	DN110	87.80	3.64	0.15	5.49	9.28	326.14	0.90
Curva .T0 --> Idrante esterno IT.7.T0	PPEPN16	49.98	1.81	DN110	87.80	14.32	0.52	5.10	19.93	626.66	1.73
Curva .T0 --> Idrante esterno IT.6.T0	PPEPN16	15.16	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-4.12	-4.11	---	0.00
Curva .T0 --> Curva .T0	PPEPN16	6.85	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-4.22	-4.21	---	0.00
Curva .T0 --> Curva .T0	PPEPN16	7.49	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-2.16	-2.15	---	0.00
Curva .T0 --> Curva .T0	PPEPN16	10.19	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-2.16	-2.15	---	0.00



Curva .T0 --> Curva .T0	PPEPN16	16.17	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-1.47	-1.47	---	0.00
Curva .T0 --> Curva .T0	PPEPN16	15.52	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-14.42	-14.41	---	0.00
Curva .T0 --> Idrante esterno IT.3.T0	PPEPN16	7.59	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-11.47	-11.47	---	0.00
Curva .T0 --> Curva .T0	PPEPN16	10.19	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-12.45	-12.45	---	0.00
Curva .T0 --> Curva .T0	PPEPN16	20.04	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-31.48	-31.47	---	0.00
Curva .T0 --> Idrante esterno IT.8.T0	PPEPN16	14.94	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-25.30	-25.30	---	0.00
Curva .T0 --> Curva .T0	PPEPN16	27.57	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-38.74	-38.73	---	0.00
Curva .T0 --> Curva .T0	PPEPN16	11.35	0.00	DN110	87.80	0.00	0.00	-15.69	-15.69	---	0.00
Idrante esterno IT.9.T0 --> Idrante esterno IT.2.T0	PPEPN16	55.61	1.81	DN110	87.80	32.89	1.06	-24.03	9.93	927.17	2.55

Dove:

L.eq. = lunghezza equivalente dovuta alle giunzioni (curva, gomito, TEE, croce, ecc.) (m)

ΔH_d = Perdita di carico distribuita (kPa)

ΔH_c = Perdita di carico concentrata (kPa)

ΔH_q = Perdita di carico per differenza di quota (kPa)

ΔH = Perdita di carico complessiva (kPa)

Q = Portata (l/min)

V = Velocità (m/s)

Nella seguente figura è riportata, a titolo esemplificativo, la planimetria dell'impianto antincendio; si rimanda, comunque, allo specifico elaborato etichettato "Planimetria delle reti tecnologiche".

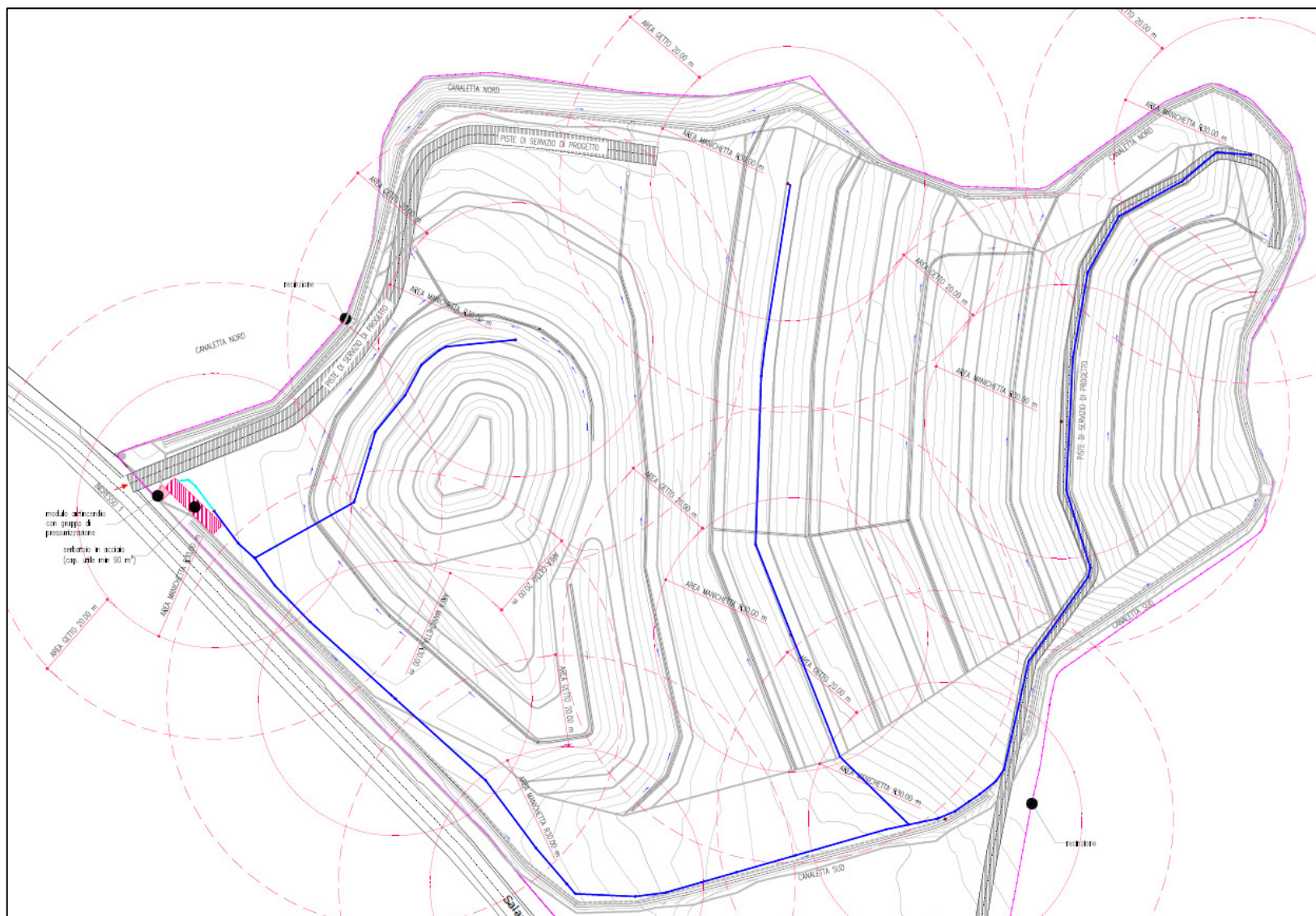


Figura 6: Planimetria di progetto dell'impianto antincendio



Nella seguente tabella sono riportati i risultati del calcolo sui nodi dell'impianto.

Rif. nodo	Tipo	Quota (m)	Q (l/min)	P (kPa)	Perdite totali (kPa) *
Gruppo pompaggio	Gruppo pompaggio	0.00	1 227.68	446.35	-
Rete Discarica	Rete idranti	0.00	1 227.68	429.99	-
Idrante esterno IT.1.T0	Idrante esterno	0.00	307.45	425.01	21.34 + 4.90
Idrante esterno IT.2.T0	Idrante esterno	-5.00	300.51	404.89	41.46 + 3.53
Idrante esterno IT.3.T0	Idrante esterno	-47.00	422.12	791.93	-
Idrante esterno IT.4.T0	Idrante esterno	-20.00	344.40	527.16	-
Idrante esterno IT.5.T0	Idrante esterno	-18.00	326.14	477.64	-31.29 + 4.90
Idrante esterno IT.6.T0	Idrante esterno	-2.00	318.06	449.61	-
Idrante esterno IT.7.T0	Idrante esterno	-19.07	332.16	495.25	-48.89 + 4.90
Idrante esterno IT.8.T0	Idrante esterno	-36.08	392.54	684.84	-
Curva .T0	Curva	-28.07	0.00	606.29	-
Curva .T0	Curva	-41.55	0.00	738.48	-
Curva .T0	Curva	-18.56	326.14	486.93	-
Curva .T0	Curva	-19.59	626.66	515.18	-
Curva .T0	Curva	-1.58	0.00	445.49	-
Curva .T0	Curva	-1.15	0.00	441.27	-
Curva .T0	Curva	-0.93	0.00	439.11	-
Curva .T0	Curva	-0.71	0.00	436.96	-
Curva .T0	Curva	-0.56	0.00	435.49	-
Curva .T0	Curva	-43.09	0.00	753.59	-
Curva .T0	Curva	-45.83	0.00	780.45	-
Curva .T0	Curva	-44.56	0.00	768.00	-
Curva .T0	Curva	-30.29	0.00	628.06	-
Curva .T0	Curva	-33.50	0.00	659.54	-
Curva .T0	Curva	-22.52	0.00	551.87	-
Curva .T0	Curva	-26.47	0.00	590.60	-
Idrante esterno IT.9.T0	Idrante esterno	-2.55	305.51	414.82	-

* Valorizzato se il nodo corrisponde a un terminale attivo dell'impianto. Se sono presenti perdite al bocchello o alla manichetta i relativi valori sono riportati nella colonna.

Nella tabella seguente sono mostrate le tipologie delle tubazioni con i diametri utilizzati.

Tubazione	Materiale	DN	Lunghezza (m)
UNI 10910-2 SDR 11 - POLIETILENE PE 100 PN 16	POLIETILENE E	DN110	642.36

Per soddisfare i requisiti necessari al bilanciamento dell'impianto, la Prevalenza dell'impianto H deve essere pari almeno a: 45.53 m c.a. (446.47 kPa), a cui corrisponde una Portata dell'impianto Q di: 1 227.68 l/min.

Nell'immagine seguente è riportata la curva caratteristica dell'impianto H(Q).

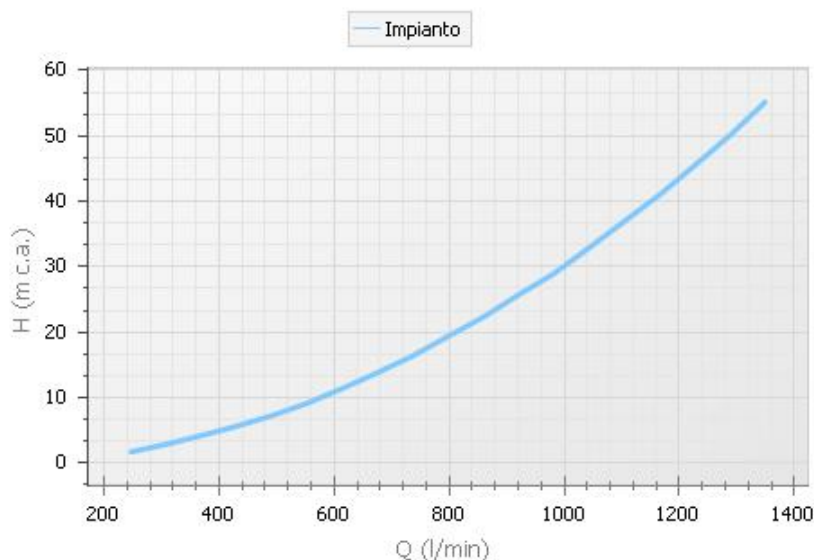


Figura 7 – Curva caratteristica impianto

15 Alimentazione idrica

L'alimentazione idrica a servizio della rete antincendio è realizzata secondo i criteri di buona tecnica: è in grado, come minimo, di garantire la portata e la pressione richiesta dall'impianto ed è progettata in modo tale da assicurare i tempi di erogazione previsti. Mantiene permanentemente in pressione le reti dell'impianto, non è soggetta a possibili condizioni di congelamento, di siccità o di allagamento, nonché qualsiasi altra condizione che potrebbe ridurre il flusso o l'effettiva portata oppure rendere non operativa l'alimentazione. Sono, infatti, prese in considerazione tutte le possibili azioni utili ad assicurare la continuità ed affidabilità dell'alimentazione idrica. L'acqua non contiene sostanze fibrose o altro materiale in sospensione che possa provocare depositi all'interno delle tubazioni dell'impianto.

L'impianto è alimentato da un gruppo di serbatoi con pompe le cui caratteristiche sono descritte nel paragrafo successivo.

15.1 Gruppo serbatoi con pompe

L'alimentazione idrica a servizio dell'impianto antincendio è realizzata tramite un gruppo di serbatoi con pompe. Ubicazione: quota di 396.00 m e altezza relativa rispetto all'origine di 0.00 m.

Il punto di lavoro dell'Impianto con il Gruppo di pompaggio è pari a:

Portata Q: 1 252.60 l/min

Prevalenza H: 47.42 m c.a.

È presente una pompa con le caratteristiche seguenti.

Marca	Modello	Tipo	Potenza (kW)	H (m c.a.)	Q (l/min)
IDROELETTRICA (o similare)	GRDUEEP220065 - 50-200 NB	centrifuga normalizzata	18.50	62.00	1 500.00

Le immagini che seguono illustrano la caratteristica $H(Q)$, prevalenza al variare della portata e il punto di lavoro individuato.

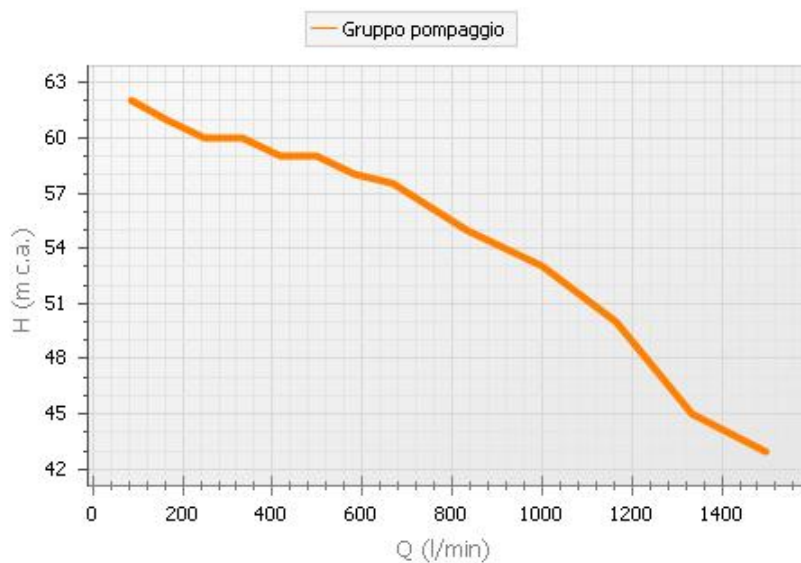


Figura 8 - Caratteristica H(Q) del gruppo di pompaggio

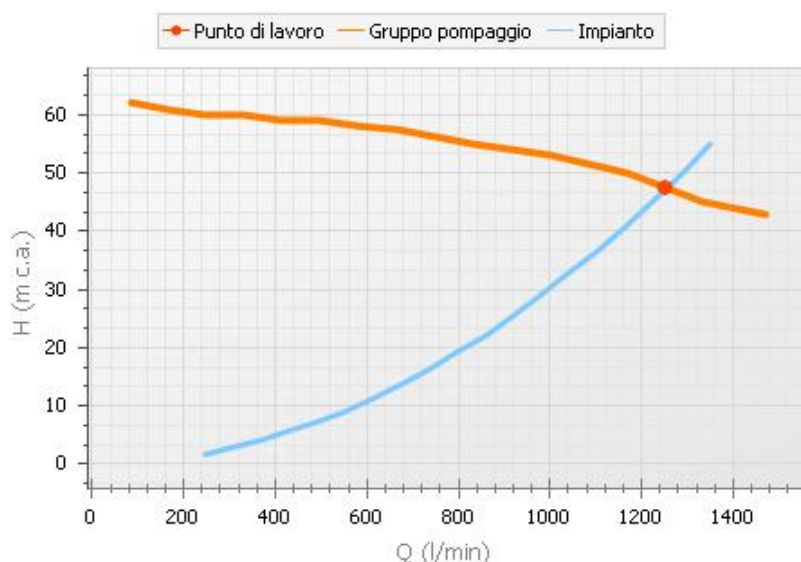


Figura 9 - Caratteristica H(Q) Impianto e Gruppo di pompaggio – Punto di lavoro

15.2 Condizioni di aspirazione

La tubazione di aspirazione, comprese tutte le valvole e raccordi, è progettata in modo da assicurare che l'NPSHa disponibile (calcolato alla massima temperatura prevista dell'acqua) all'ingresso della pompa superi l'NPSHr richiesto di almeno 1 m alla portata massima della pompa.

Le tubazioni di aspirazione sono poste orizzontalmente o con pendenza continua in salita verso la pompa per prevenire la possibilità di formazione di sacche d'aria nella tubazione.

È utilizzata una valvola di fondo qualora l'asse della pompa si trovi al di sopra del livello minimo dell'acqua.

Il tratto di condotta che collega la pompa alla struttura di raccolta ha le seguenti caratteristiche:

- UNI 10910-2 SDR 11 - POLIETILENE PE 100 PN 16.



- Classe DN180 per N° 1 attacchi.
- Aspirazione interrata
- Lunghezza complessiva 4.00 m.
- Dislivello 1.00 m.
- NPSHa 8.96 m.c.a.
- Pressione atmosferica: 10.00 m.c.a.
- Tensione di vapore: 0.00 m.c.a..

L'aspirazione della pompa sarà collegata ad una tubazione conica, lunga almeno due volte il diametro. La tubazione conica eccentrica ha la parte superiore orizzontale ed un angolo di apertura massimo non maggiore di 20°. Le valvole non saranno posizionate direttamente sulla bocca di entrata della pompa.

15.3 Struttura di raccolta

La struttura di raccolta del gruppo di serbatoi con pompe è senza pozzetto di presa.

Di seguito i dettagli della struttura di raccolta:

- livello normale dell'acqua: 3.00 m;
- livello minimo storico: 0.50 m;
- diametro di aspirazione: DN125;
- distanza minima dal tubo di aspirazione al livello minimo dell'acqua: 0.50 m;
- distanza minima dal tubo di aspirazione al fondo del pozzetto: 0.10 m;
- capacità effettiva: 90.00 m³.

Il gruppo di serbatoi con pompe così realizzato è classificato come alimentazione "singola" (classificazione prevista dalla normativa UNI 12845:2009) con capacità complessiva delle strutture di raccolta pari a 90.00 m³.