



MISURE DI SICUREZZA CONTRO L'ESPLOSIONE FISICA DEI DEPOSITI DI ACCUMULO DI BIOGAS

IN ITALIA SI STA RAPIDAMENTE SVILUPPANDO L'INDUSTRIA DEL BIOGAS E LA DIRETTA CONSEGUENZA È LA CRESCENTE ATTENZIONE AL FUNZIONAMENTO SICURO DI TALI IMPIANTI (RISCHIO DI ESPLOSIONE E DI INCENDIO). L'ARTICOLO DESCRIVE ALCUNI DISPOSITIVI DI SICUREZZA, CHE SONO RIVOLTI AD IMPEDIRE SOVRAPPRESSIONI NELLA CUPOLA GASOMETRICA, CHE POTREBBERO CAUSARE LA SUA ROTTURA (ESPLOSIONE FISICA). QUESTO FENOMENO È PERICOLOSO, POICHÉ IL BIOGAS RILASCIATO POTREBBE FORMARE ATMOSFERE POTENZIALMENTE ESPLOSIVE CON L'ARIA



Fig. 1
Cupola gasometrica integrata
nel digestore anaerobico

Da anni si susseguono accordi e protocolli finalizzati a ridurre le emissioni di agenti inquinanti ed aumentare l'incidenza delle fonti di energia rinnovabile, attraverso un coordinamento dei Paesi industrializzati. In tale ambito sono noti gli obiettivi fissati dall'Unione Europea: riduzione entro il 2020 delle emissioni di gas serra del 20% rispetto al 1990, contrazione dei consumi energetici del 20% rispetto alle attuali previsioni e soprattutto incremento dell'utilizzo di energie rinnovabili, portandolo a coprire il 20% della quota globale di energia prodotta. Nel novero delle fonti rinnovabili rientra il biogas, generato dalla digestione anaerobica delle biomasse. Nel corso degli ultimi dieci anni la realizzazione di impianti di produzione di tale vettore energetico si è notevolmente diffusa in molti Paesi europei, tra i quali l'Italia. Lo sviluppo del biogas nel nostro Paese è stato caratterizzato da una massiccia presenza nelle regioni settentrionali in cui, al 2012, si concentrava il 77% degli impianti costruiti e l'81% della potenza elettrica installata [1]. Il crescente numero di tali insediamenti pro-

duttivi nel nostro territorio ha determinato una forte attenzione agli aspetti di sicurezza legati all'esercizio di tali impianti (rischio di incendio e di esplosione), derivante anche da incidenti accaduti (citiamo quelli avvenuti a Casalpoglio (MN) [2] il 12 maggio 2012 e a Lendinara (RO) [3] il 2 maggio 2013), che fortunatamente non hanno avuto serie ripercussioni sulla salute delle persone, ma solamente danni di natura economica.

Da tale contesto prende spunto il presente lavoro teso a descrivere delle soluzioni tecniche, che permettono di ridurre l'insorgere di sovrappressioni pericolose per l'integrità strutturale (esplosione "fisica") dei depositi di accumulo di biogas (palloni e cupole gasometriche). Infatti in queste unità produttive le possibili cause di esplosione sono riconducibili o all'accensione della miscela aria/biogas o ad un incontrollato incremento della pressione del biogas stoccato, che, qualora non fossero adottate delle specifiche misure di sicurezza, potrebbe provocare l'esplosione fisica dell'unità di stoccaggio con conseguente fuoriuscita di una nube

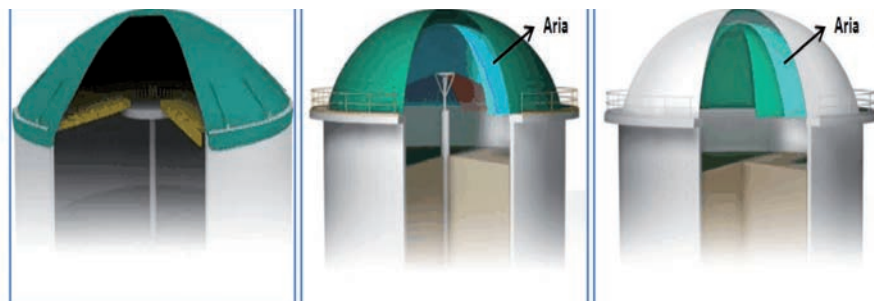


Fig. 2
Cupola a singola membrana (a sinistra), a doppia membrana (al centro) e a tripla membrana (a destra)

gassosa (il biogas può contenere una percentuale di metano, che può raggiungere il 65-70% in volume), che, in presenza di una sorgente di innesco efficace, potrebbe esplodere, generando effetti imprevedibili. La trattazione ha come oggetto i depositi di accumulo integrati (cupole gasometriche) nel digestore anaerobico, poiché costituiscono la tipologia costruttiva più diffusa nella nostra Nazione.

La prevenzione delle sovrappressioni pericolose per l'integrità strutturale delle unità di stoccaggio del biogas

All'interno dei reattori anaerobici vige, durante il loro esercizio, una sovrappressione di alcuni millibar (5-10), necessaria per massimizzare la resa del processo [4] ed evitare infiltrazioni di aria, che potrebbero generare atmosfere potenzialmente esplosive [5] nel digestore, data la presenza di biogas. Tra le cause più diffuse di innalzamenti della pressione del vettore energetico stoccato vi sono i guasti al gruppo di cogenerazione, che impediscono l'utilizzo del biogas, determinando un surplus nell'unità reattore/cupola gasometrica (Fig. 1).

Per evitare l'insorgere di sovrappressioni, che potrebbero provocare l'esplosione fisica dell'unità di stoccaggio, si devono adottare delle adeguate misure di prevenzione:

- 1) sensoristica per il monitoraggio della pressione del biogas stoccato;
- 2) valvola di sicurezza a guardia idraulica;
- 3) torcia di emergenza.

Le cupole a singola membrana sono le più soggette all'esplosione fisica ed al rilascio diretto in atmosfera del gas, mentre in quelle

costituite da una doppia o tripla membrana, in caso di rottura della membrana interna (a contatto diretto con il biogas) a causa di eccessive sovrappressioni, si avrebbe rispettivamente o il contatto immediato con l'aria di compensazione o la presenza della miscela gassosa nello spazio di separazione dall'aria (Fig. 2).

La misura della pressione del biogas stoccato

La produzione di biogas (miscela gassosa costituita prevalentemente da metano e da anidride carbonica) viene monitorata attraverso il sensore di pressione. La cupola è solitamente realizzata con fibre di poliestere, aventi inserti in PVC, è flessibile ed il suo volume varia in funzione della pressione e della quantità generata di biogas. Per assicurare continuità alla misura della sovrappressione si ricorre ad una strumentazione ridondata, che consente, in caso di anomalie di funzionamento

del trasduttore di pressione, la pronta entrata in esercizio di un altro sensore previsto per fronteggiare tale evenienza. Sulla base delle condizioni operative del fermentatore e della pressione massima ammissibile dell'unità di stoccaggio vengono individuate, per quanto concerne la misura della pressione, due soglie di allarme:

- 1) allarme di alta pressione;
- 2) allarme di altissima pressione (valore inferiore alla pressione di progetto della cupola gasometrica).

A questi due allarmi corrispondono diverse azioni, finalizzate ad evitare l'insorgere di sovrappressioni, che potrebbero minare l'integrità del deposito di accumulo. L'allarme di alta pressione del biogas stoccato determina l'attivazione della valvola di sicurezza a guardia idraulica, che consente di rilasciare la miscela gassosa in atmosfera, provocando un decremento del livello di pressione all'interno dell'unità digestore/cupola. Qualora l'intervento della valvola di sicurezza non fosse sufficiente a scongiurare il raggiungimento del valore, che farebbe scattare l'allarme di altissima pressione, il sistema di controllo interverrebbe, interrompendo l'apporto di energia termica al reattore (viene interrotta la produzione di biogas) ed attivando la torcia di emergenza al fine di smaltire il surplus del vettore energetico.

La valvola di sicurezza a guardia idraulica

Questo dispositivo di sicurezza, finalizzato a controllare la sovrappressione presente nel reattore anaerobico, è caratterizzato da semplicità costruttiva e di funzionamento [6]. Infatti è costituito da un volume chiuso, realizzato in acciaio inox e parzialmente riempito di

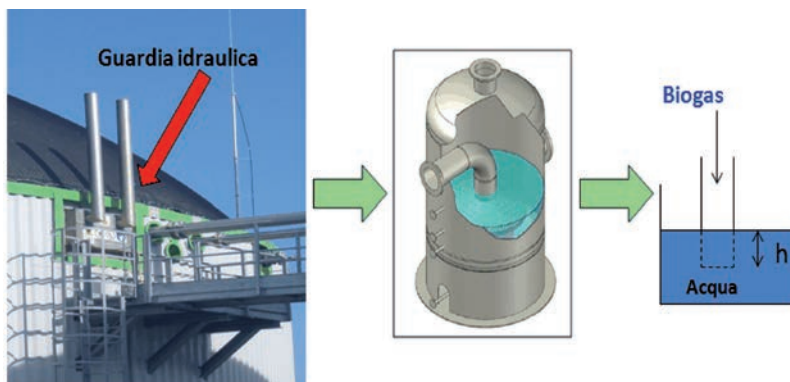


Fig. 3
Valvola di sicurezza a guardia idraulica



acqua. Il tubo di inserimento del biogas, collegato alla superficie superiore della guardia idraulica, viene immerso nel liquido (Fig. 3) fino a fissare il valore della sovrappressione ammissibile ($p_{amm} = \rho gh$).

Quando la pressione del biogas è maggiore della pressione idrostatica generata dalla colonna di acqua di altezza pari ad h , esso gorgoglia e viene espulso attraverso i camini esalatori della guardia, che hanno la funzione di evitare il contatto diretto del gas con il personale, che lavora nell'impianto. Il sistema deve essere provvisto di una modalità di riempimento automatico, che consente, in ogni situazione, la presenza del corretto livello del liquido all'interno del corpo valvola. Ciò è ottenibile con dei sensori, che misurano il livello dell'acqua, e con l'impostazione di soglie di basso ed alto riempimento (i valori accettabili di esercizio sono compresi tra i due valori limite individuati). Infatti un'altezza del liquido inferiore al valore limite di basso riempimento faciliterebbe un rilascio in atmosfera della miscela gassosa non necessario ai fini del ripristino nella cupola gasometrica della sovrappressione ammissibile e ciò penalizzerebbe la resa energetica del processo ed aumenterebbe la frequenza di generazione di un'atmosfera potenzialmente esplosiva nelle vicinanze dei camini. Viceversa un livello superiore a quello di alto riempimento ostacolerebbe l'espulsione del gas e favorirebbe l'incremento della pressione nell'unità di stoccaggio.

La torcia di emergenza

La torcia di emergenza entra in funzione quando viene raggiunto l'allarme di altissima pressione, mentre nelle normali condizioni di esercizio dell'impianto la portata di biogas viene convogliata al gruppo di cogenerazione. Il suo azionamento consente di smaltire il surplus di gas e di ripristinare il valore prestabilito della sovrappressione nel digestore anaerobico [7]. Le tipologie impiantistiche (Fig. 4) presenti sul mercato sono essenzialmente:

- 1) torcia semi-chiusa;
- 2) torcia chiusa.

Torcia di emergenza: funzionamento e strumentazione di sicurezza

Tra le torce di emergenza quelle chiuse sono le più utilizzate in quanto consentono un funzionamento più sicuro, poiché la fiamma è completamente confinata. Il processo di



Fig. 4
Torcia semichiusa (foto a sinistra) e torcia chiusa (foto a destra)

combustione in una torcia chiusa è controllato attraverso la temperatura della fiamma, il tempo di residenza nella zona di combustione, la turbolenza di miscelazione dei componenti gassosi necessaria per completare la reazione di ossidazione e l'ossigeno disponibile. La combustione si sviluppa in una camera isolata e in un ambiente controllato e ciò assicura che le radiazioni, la fiamma ed il rumore siano impercettibili nelle aree limitrofe, riducendo fortemente la possibile esposizione degli operatori a tali fenomeni. Il biogas entra nella torcia mediante la tubazione di alimentazione, attraversando un arrestatore di fiamma, che deve essere installato lungo il collettore di mandata per limitare eventuali ritorni di fiamma, causati da malfunzionamenti dell'impianto, attenuandone la propagazione e arriva al bruciatore dove, per mezzo dell'accenditore ad alta energia, avviene l'accensione della fiamma e quindi la combustione. Lungo il condotto di mandata sono presenti la valvola di regolazione della portata di biogas ed il misuratore di portata (Fig. 5). Le camere di combustione delle torce sono generalmente costruite in acciaio inox ed il loro interno viene isolato termicamente con delle fibre ceramiche (materiale refrattario), che consentono di raggiungere temperature operative di circa 1000-1.200 °C. Le torce chiuse sono usualmente costituite da:

- struttura di supporto;
- camera di combustione con isolamento interno per alte temperature;
- bruciatore pilota;
- accenditore elettrico con controllo di fiam-

ma a UV;

- termocoppia per il controllo continuo della temperatura di combustione;
- arrestatore di fiamma Atex;
- valvola di regolazione automatica Atex;
- gruppo di bruciatori;
- pannello di controllo elettrico.

Al fine di evitare l'esplosione fisica dell'unità di accumulo è fondamentale assicurare l'intervento della torcia, qualora fosse richiesto. Ciò è ottenibile predisponendo sul dispositivo di sicurezza un doppio sistema di accensione in grado di fronteggiare eventuali anomalie di funzionamento. Per garantire elevati standard di sicurezza della torcia durante il suo esercizio devono essere presenti nell'apparato di controllo:

- visualizzatore della temperatura di combustione;
- indicatore della portata di biogas;
- spie luminose per il controllo del funzionamento dei vari componenti;
- indicazione delle ore di funzionamento della torcia;
- unità di controllo della fiamma collegata al visualizzatore;
- spie di allarme;
- allarme di altissima temperatura di combustione ($T > 1.250$ °C).

Al funzionamento sicuro ed efficiente del dispositivo concorre anche la regolare effettuazione delle operazioni di manutenzione, che prevedono verifiche routinarie degli equipaggiamenti meccanici (giunti, valvole ecc.), dei sistemi elettrici e di sicurezza (arrestatore di fiamma). Le torce presenti in commercio sono



Fig. 5
Arrestatore di fiamma, valvola di regolazione e misuratore di portata

in grado di bruciare portate volumetriche di biogas, che raggiungono i 3.000 Nm³/h (la scelta viene eseguita sulla taglia dell'impianto) con un contenuto di metano nel vettore energetico compreso tra il 25 ed il 60% in volume.

Utilizzo della torcia in luoghi con atmosfere potenzialmente esplosive

Particolare attenzione deve essere rivolta alla progettazione ed alla costruzione delle torce di emergenza che vengono installate negli impianti di produzione di biogas poiché potrebbero operare in aree in cui si potrebbero generare, in seguito a rilasci della miscela gassosa, atmosfere potenzialmente esplosive. A tal proposito deve essere osservata la rispondenza della torcia ai requisiti sanciti dalla Direttiva 94/9/CE (Direttiva ATEX). In questa ottica sono fondamentali alcuni aspetti relativi:

- 1) alla progettazione;
- 2) alla fabbricazione;
- 3) alla messa in servizio.

Per quanto concerne il primo punto, nella progettazione della torcia il fabbricante deve seguire il principio della sicurezza integrata contro le esplosioni [8]. Ciò si traduce nell'attuare tutte le misure necessarie per:

- impedire che il dispositivo di sicurezza diventi una sorgente efficace di innesco (sorgenti di natura elettrica e non);
- evitare che l'apparecchio stesso produca delle atmosfere potenzialmente esplosive.

A quanto riportato va aggiunta, durante la fase di progettazione, l'analisi delle condizioni ambientali, in cui la torcia si troverà ad operare. Passando alla costruzione, risulta basilare la scelta dei materiali. Infatti, nei limiti delle condizioni di esercizio previste dal fabbricante, tra i materiali impiegati e l'area, che potrebbe essere interessata da un'atmosfera potenzialmente esplosiva, deve essere fortemente limitata ogni reazione, che possa danneggiare la situazione esistente per quanto concerne la prevenzione delle esplosioni. Inoltre la torcia deve riportare una marcatura (includendo sia la marcatura CE che quella ex, attestante il possesso dei requisiti necessari per il suo impiego in luoghi con atmosfere potenzialmente esplosive) conforme ai dettami della Direttiva 94/9/CE. Relativamente alla messa in servizio il dispositivo di sicurezza deve essere consegnato al gestore dell'impianto corredato di un manuale d'uso, riportante almeno:

- le istruzioni per effettuare senza rischi l'installazione, l'esercizio, la manutenzione (ordinaria e straordinaria) e la regolazione;
- le condizioni particolari di funzionamento, relative agli errori più frequenti, desunti dall'esperienza maturata;
- le caratteristiche degli strumenti, che possono essere installati sulla torcia;
- i parametri di progetto (pressione, temperatura di combustione, portata volumetrica di biogas ecc.) dell'apparecchio.

Conclusioni

La valvola di sicurezza a guardia idraulica entra in funzione ogni volta che la pressione del biogas stoccato supera il valore della pressione stabilita dal battente idrostatico, mentre l'azionamento della torcia di emergenza è legato all'attivazione del segnale di allarme di altissima pressione. Questa ridondanza delle misure di prevenzione contro l'insorgere di sovrappressioni pericolose per l'integrità strutturale del deposito di accumulo, abbinata ad una sensoristica ridondata per il monitoraggio della pressione, costituisce un'affidabile ed efficace soluzione per ridurre la probabilità di esplosione fisica della cupola.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. Fabbri *et al.*, *L'Informatore Agrario*, 2013, 11.
- [2] www.gazzettadimantova.it
- [3] www.ilgazzettino.it
- [4] D. Deublein, A. Steinhauser, *Biogas from waste and renewable resources*, Wiley, 2008.
- [5] T. Chrebet, J. Martinka, *Annals of Faculty Engineering Hunedoara*, International Journal Of Engineering, 2012, 39.
- [6] R. Lauri *et al.*, *Biorefinery safety: the biogas industry*, IFIB 2013 Workshop on industrial biotechnology and bioeconomy, Napoli, 22-23 ottobre 2013.
- [7] R. Lauri *et al.*, *Chem. Eng. Trans.*, 2013, **32**, 199.
- [8] Direttiva 94/9/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva.

Safety Measures against Physical Explosion of Biogasholders

In Italy the biogas industry is rapidly developing and the direct consequence is the growing attention to the safe operation of these plants (explosion and fire risk). The paper describes some safety devices, which are intended to prevent overpressures (in the gas dome), that could result in the destruction of the biogasholder (physical explosion). This phenomenon is dangerous, because the released biogas could form explosive mixtures in combination with the air.

ROBERTO LAURI

INAIL RICERCA, CERTIFICAZIONE E VERIFICA
DIPARTIMENTO INNOVAZIONI TECNOLOGICHE
E SICUREZZA DEGLI IMPIANTI, PRODOTTI
ED INSEDIAMENTI ANTROPICI - ROMA

R.LAURI@INAIL.IT