

La normativa tecnica per la classificazione delle zone ATEX negli impianti di produzione di biometano

INAIL

Ing. Roberto Lauri, Ing. Corrado Delle Site

INAIL, Dipartimento di Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti, Prodotti e Insediamenti Antropici

Webinar “L’evoluzione qualitativa dei carburanti e lo sviluppo di soluzioni alternative low carbon”

5 Dicembre 2024

Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti prodotti e insediamenti antropici

Il ruolo strategico del biometano

I principali benefici derivanti dall'utilizzo del biometano sono:

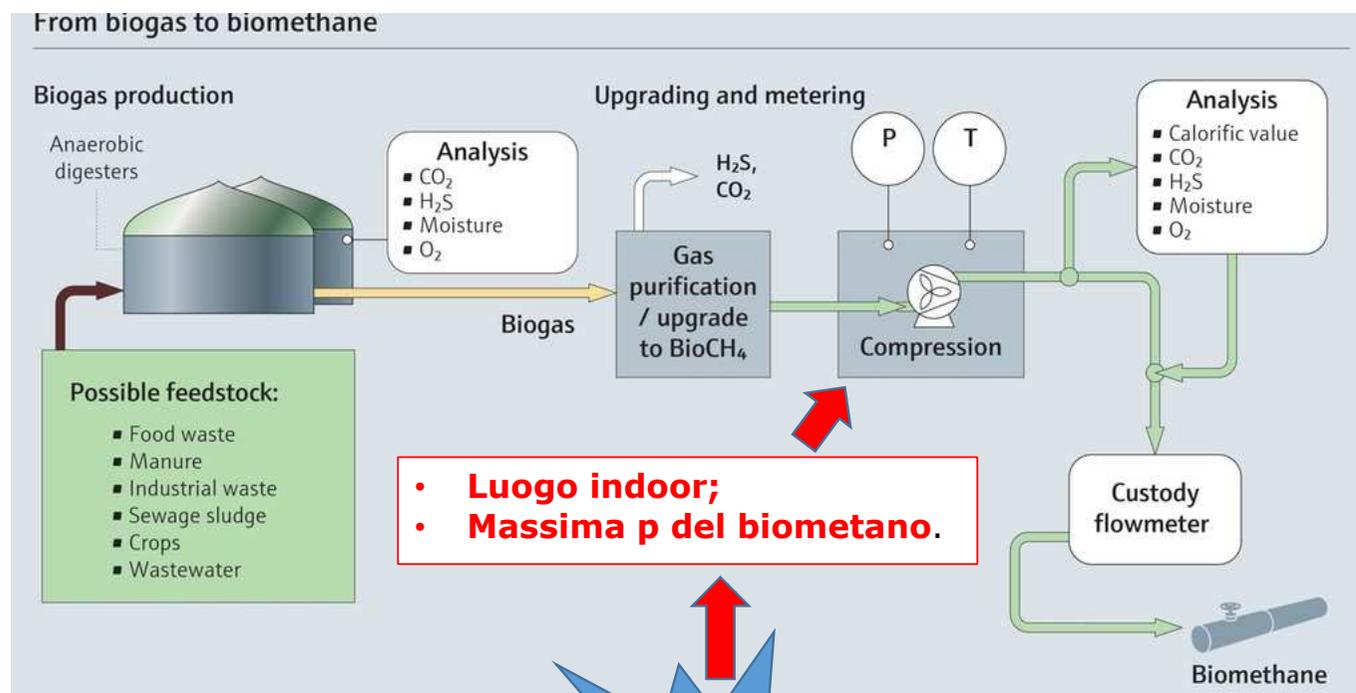
- la circolarità (il biometano è prodotto da scarti di lavorazione, sottoprodotti di origine agricola o agroindustriale e dalla FORSU) → fonte di energia rinnovabile;
- la creazione di nuovi posti di lavoro;
- la riduzione della dipendenza energetica dell'Italia dall'estero;
- l'immissione diretta nei gasdotti esistenti;
- l'utilizzo nel settore dell'autotrazione, del riscaldamento e della produzione di energia elettrica.

Biometano: le fasi del processo di produzione

➤ La fase del processo di produzione del biometano, potenzialmente più pericolosa per quanto concerne il pericolo di formazione di atmosfere esplosive, è quella di compressione;

➤ La sua pressione finale dipende dalla destinazione d'uso:

- 1) circa 40 bar (immissione in gasdotto regionale);
- 2) 80-100 bar (immissione in gasdotto nazionale);
- 3) 220-250 bar (produzione di CNG).



Potenziale Criticità

CEI EN 60079-10-1: definizione di sorgente di emissione

- **Sorgente di emissione (SE):** un componente di un dato impianto, che, a causa di anomalie di funzionamento prevedibili durante il suo normale esercizio, rilascia nell'ambiente un gas/vapore infiammabile o una polvere combustibile con una modalità tale da generare un'atmosfera potenzialmente esplosiva;
- **Non sono considerate SE i componenti, che emettono sostanze infiammabili a causa di rottura catastrofica o di un'errata manutenzione;**
- La sorgente di emissione è caratterizzata da un parametro denominato "grado di emissione", che riveste un ruolo fondamentale nell'individuazione della tipologia di zona pericolosa;
- **Il grado di emissione si ricava dall'analisi della tipologia costruttiva del componente e delle sue condizioni di esercizio (pressione e temperatura);**
- **Potenziali sorgenti di emissione negli impianti industriali sono: le flange, le valvole di regolazione, le pompe, i compressori, le valvole di sicurezza, etc.**

Esempi di potenziali sorgenti di emissione negli impianti di produzione di biometano



Valvole di sicurezza e di regolazione (portata o pressione)



Accoppiamento flangiato



Compressore

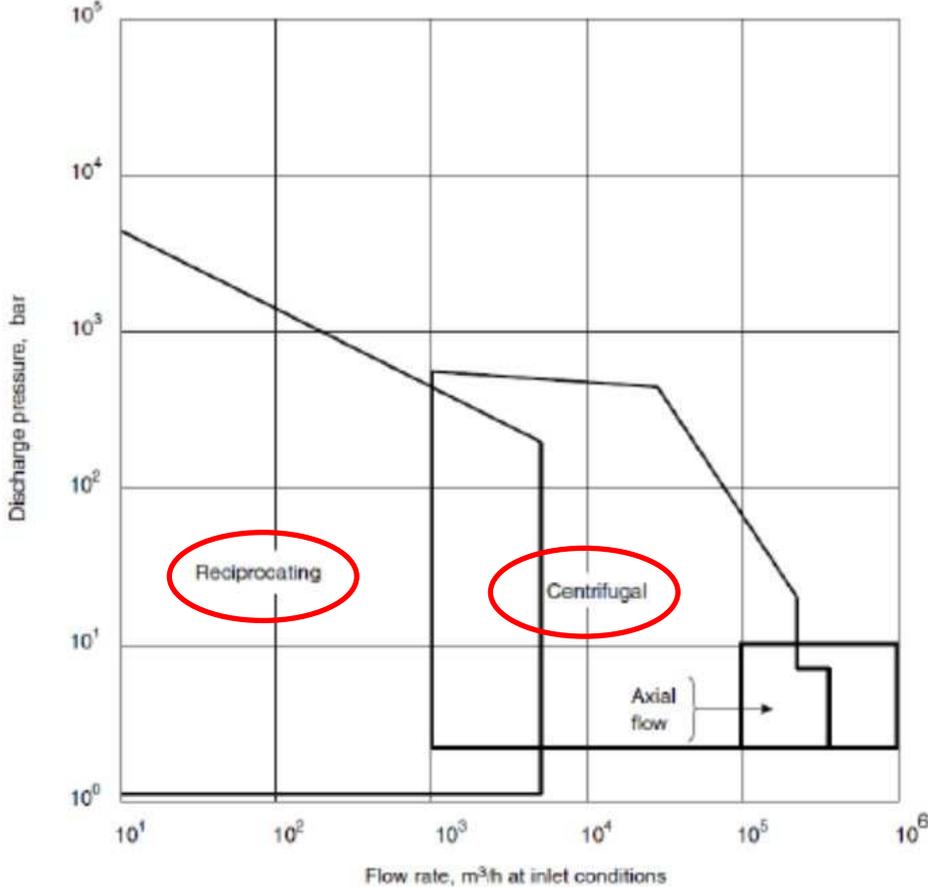
Compressori impiegati negli impianti di produzione di biometano



Compressore centrifugo multistadio



Compressore volumetrico alternativo multistadio



Zone Atex: atmosfere potenzialmente esplosive generate da gas, vapori o nebbie infiammabili

GAS – VAPORI – NEBBIE



ZONA 0: Area, in cui è presente per lunghi periodi o frequentemente un'atmosfera potenzialmente esplosiva, consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore o nebbia.

ZONA 1: Area in cui la formazione di un'atmosfera potenzialmente esplosiva, consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore o nebbia, è probabile che avvenga occasionalmente durante le normali condizioni di funzionamento.

ZONA 2: Area in cui, durante le normali condizioni di esercizio, non è prevista la formazione di un'atmosfera esplosiva, consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore o nebbia o qualora dovesse formarsi, sarebbe caratterizzata da una durata estremamente breve.

**Incremento
del livello di
pericolosità**

Obiettivi della procedura di classificazione delle zone ATEX

➤ Qualunque sia la sostanza infiammabile rilasciata (gas, vapore, etc.) la procedura di classificazione delle zone ATEX deve:

- 1) Valutare se la potenziale sorgente di emissione (SE) sia in grado di generare una zona pericolosa (**zona ATEX**) o non pericolosa ai fini della formazione di un'atmosfera potenzialmente esplosiva;**
- 2) Qualora la SE fosse in grado di generare una zona pericolosa, deve essere stimata la sua estensione geometrica, ricavabile dal calcolo della "**distanza pericolosa**" (hazardous distance).**

La Normativa Tecnica per classificare le zone Atex generate da gas/vapori infiammabili

Norma Italiana

CEI EN IEC 60079-10-1

La seguente Norma è identica a: EN IEC 60079-10-1:2021-02

Data Pubblicazione

2023-10

Titolo

**Atmosfere esplosive
Parte 10-1: Classificazione dei luoghi - Atmosfere esplosive per la
presenza di gas**

Title

**Explosive atmospheres
Part 10-1: Classification of areas - Explosive gas atmospheres**

CEI EN 60079-10-1 (CEI 31-87): settori di esclusione

• La Norma CEI EN 60079-10-1 non si applica a:

- 1) Miniere con possibile presenza di grisou;
- 2) Luoghi di trattamento e produzione di esplosivi;
- 3) Guasti catastrofici o rari malfunzionamenti;
- 4) Locali adibiti ad uso medico;
- 5) Ambienti domestici;
- 6) Luoghi in cui il pericolo di formazione di atmosfere potenzialmente esplosive è derivante dalla presenza di polveri combustibili.

CEI EN 60079-10-1: parametri per la classificazione delle zone Atex derivanti dalla presenza di gas/vapori infiammabili

Per classificare le zone, generate da possibili rilasci dalle SE, presenti sia negli ambienti di lavoro all'aperto che in quelli al chiuso, è necessario determinare i 3 seguenti parametri:

- 1) Grado di emissione della SE;**
- 2) Disponibilità della ventilazione;**
- 3) Grado di diluizione.**

I gradi di emissione delle SE

1) emissione di grado continuo:

emissione che avviene con continuità oppure che può avvenire frequentemente o per lunghi periodi (es. la superficie di un liquido infiammabile stoccato in un serbatoio a tetto fisso, dotato di sfiato verso l'atmosfera);

2) emissione di primo grado:

emissione che può avvenire periodicamente oppure occasionalmente durante il normale funzionamento (es. valvola di sicurezza);

3) emissione di secondo grado:

emissione che non è prevista che si verifichi durante il normale funzionamento e qualora dovesse avvenire, avrebbe una durata molto breve (es. pompe, compressori, etc.).

La valutazione della disponibilità della ventilazione

➤ La norma tecnica CEI EN 60079-10-1 prevede 3 livelli per la disponibilità della ventilazione:

1) Buona: la ventilazione è presente con continuità;

2) Adeguata: la ventilazione è presente durante il normale funzionamento e sono ammesse delle interruzioni, purché siano brevi e poco frequenti;

3) Scarsa: la ventilazione non risponde ai requisiti previsti per i livelli di buona ed adeguata.

Luogo all'aperto → il valore della velocità dell'aria (v_a) viene desunto dalle mappe eoliche (Atlante eolico dell'Italia) del sito di interesse. Quando $v_a \geq 0,5$ m/s la disponibilità della ventilazione è considerata buona, altrimenti viene assunta adeguata (una ventilazione scarsa è difficilmente riscontrabile in un luogo all'aperto).

Luogo al chiuso → la disponibilità della ventilazione dipende dai parametri operativi (velocità e portata volumetrica di aria, che può essere immessa nel locale) dell'impianto di ventilazione artificiale ed in particolar modo dall'affidabilità delle apparecchiature e dalla loro eventuale ridondanza.

Il grado di diluizione

➤ **Il grado di diluizione è una misura della capacità della ventilazione (naturale o artificiale) di diluire un'emissione ad un livello sicuro (la condizione ottimale si verifica quando la concentrazione in aria della sostanza infiammabile è inferiore al suo LFL);**

➤ La Norma Tecnica CEI EN 60079-10-1 riporta i tre seguenti gradi di diluizione:

1) **Diluizione Alta**

La concentrazione della miscela esplosiva in prossimità della sorgente di rilascio si riduce rapidamente e, dopo l'arresto dell'emissione, non ci sarà sua persistenza.

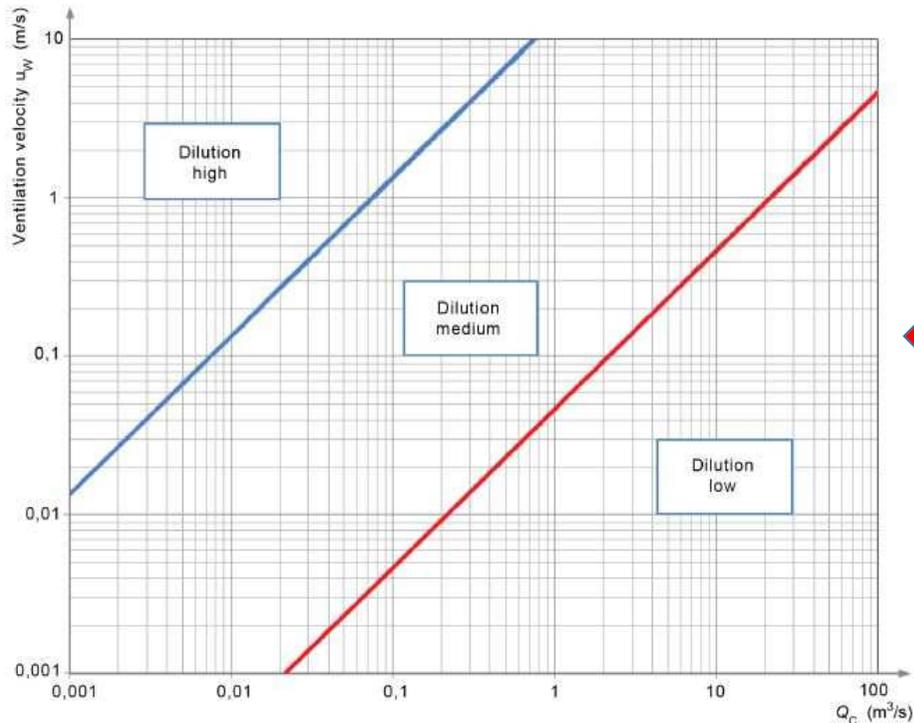
2) **Diluizione Media**

Mentre il rilascio è in corso, la concentrazione della miscela esplosiva è controllata, determinando una zona i cui limiti sono stabili e, dopo l'arresto dell'emissione, l'atmosfera esplosiva non persiste in modo ingiustificato.

3) **Diluizione Bassa**

Mentre l'emissione è in corso la concentrazione della miscela esplosiva è alta, e/o dopo l'arresto dell'emissione, c'è una sua significativa persistenza.

CEI EN 60079-10-1: la valutazione del grado di diluizione (gas/vapori infiammabili)



Valutazione del grado di diluizione

- u_w è la velocità dell'aria (m/s);
- Il termine $Q_c = W_g / (\rho_g \cdot \text{LFL})$ è la caratteristica di emissione della sorgente (m³/s);
- W_g indica la portata massica rilasciata del composto infiammabile (kg/s);
- ρ_g rappresenta la densità del gas/vapore (kg/m³);
- LFL indica il limite inferiore di infiammabilità del gas/vapore (v/v%).

Step per ricavare W_g : la determinazione del regime di efflusso del gas

➤ **Moto sonico** → $p_{\text{son}} = p_{\text{gas}} \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \geq p_{\text{atm}}$ (pressione esistente a valle del foro);

- p_{son} rappresenta la pressione sonica del gas (Pa);
- p_{gas} (Pa) è la pressione del gas a monte del foro di rilascio;
- p_{atm} indica la pressione atmosferica (101325 Pa);
- γ è dato dal rapporto tra i calori specifici a pressione e a volume costante del gas (dipendono dalla pressione e dalla temperatura di rilascio) = c_p/c_v .

➤ **Moto subsonico** → $p_{\text{son}} < p_{\text{atm}}$ (pressione esistente a valle del foro).

Calcolo della portata massica (W_g) di biometano emessa

➤ **Moto sonico** → $W_g \text{ (kg/s)} = \underbrace{A_{\text{foro}}}_{\text{m}^2} \cdot p_{\text{gas}} \cdot C_d \cdot \sqrt{\gamma \cdot \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \cdot \frac{PM_{\text{gas}}}{Z \cdot R \cdot T_{\text{gas}}}}$

- A_{foro} (m^2) indica l'area del foro di rilascio;
- C_d è il coefficiente di efflusso (parametro adimensionale minore di 1);
- T_{gas} (K) è la temperatura di emissione del gas;
- Z è il fattore di comprimibilità del gas (parametro adimensionale);
- PM_{gas} è il peso molecolare del gas (kg/kmol);
- R è la costante universale dei gas = 8314 J/kmol K.

➤ **Moto subsonico** → $W_g \text{ (kg/s)} = \underbrace{A_{\text{foro}}}_{\text{m}^2} \cdot p_{\text{gas}} \cdot C_d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot PM_{\text{gas}}}{Z \cdot R \cdot T_{\text{gas}}} \cdot \frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot \left[\left(\frac{p_{\text{atm}}}{p_{\text{gas}}}\right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p_{\text{atm}}}{p_{\text{gas}}}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right]}$

CEI EN 60079-10-1: la stima dell'area del foro di emissione

Tabella B.1 – Sezioni dei fori suggerite per le emissioni di grado secondo

Tipo di componente	Componente	Considerazioni sulle perdite		
		Valori tipici per le condizioni nelle quali l'apertura di emissione non si espanderà	Valori tipici per le condizioni nelle quali l'apertura di emissione può espandersi, per es. in caso di erosione	Valori tipici per le condizioni nelle quali l'apertura di emissione può espandersi fino a diventare un guasto grave, per es. una rottura improvvisa
		S (mm ²)	S (mm ²)	S (mm ²)
Elementi di tenuta con parti fisse	Flange con guarnizioni in fibra compressa o similari	≥ 0,025 fino a 0,25	> 0,25 fino a 2,5	(sette tra due bulloni) × (spessore della guarnizione) tipicamente ≥ 1 mm
	Flange con guarnizioni avvolte a spirale o similari	0,025	0,25	(sette tra due bulloni) × (spessore della guarnizione) tipicamente ≥ 0,5 mm
	Connessioni ad anello	0,1	0,25	0,5
	Connessioni di piccolo diametro fino a 50 mm ^(a)	≥ 0,025 fino a 0,1	> 0,1 fino a 0,25	1,0
Elementi di tenuta con parti in movimento a bassa velocità	Tenute a pacchetto di alberi di valvole	0,25	2,5	Da definire in accordo ai dati del fabbricante dell'apparecchiatura, ma non meno di 2,5 mm ² ^(d)
	Valvole di scarico della pressione ^(b)	0,1 × (sezione dell'orifizio)	Non Applicabile	Non Applicabile
Elementi di tenuta con parti in movimento ad alta velocità	Pompe e compressori ^(c)	Non Applicabile	≥ 1 fino a 5	Da definire in accordo ai dati del fabbricante dell'apparecchiatura e/o alla configurazione dell'unità di processo, ma non meno di 5 mm ² ^(d ed e)

Le emissioni di biometano nei luoghi al chiuso

- In caso di rilasci di biometano da SE, presenti in un luogo al chiuso, come l'unità di compressione, è necessario determinare la concentrazione di fondo del locale (X_b), che indica la concentrazione media di sostanza infiammabile nel volume esaminato dopo un periodo di tempo, durante il quale si è stabilita una condizione stazionaria tra l'emissione e il movimento dell'aria indotto dalla ventilazione:

$$X_b(\text{vol/vol}) = \frac{f \cdot Q_g}{Q_a + Q_g}$$

← CEI EN 60079-10-1 (CEI 31-87)

In cui:

- f (parametro adimensionale) indica il fattore di inefficienza della ventilazione (è compreso tra 1 e 5);
- Q_g (m^3/s) è la portata volumetrica di gas/vapore infiammabile;
- Q_a (m^3/s) rappresenta la portata volumetrica di ventilazione.

- **Nei luoghi indoor, per valutare il grado di diluizione, X_b deve essere sempre confrontata con la X_{cr} (concentrazione critica), la quale è solitamente pari a 0,25 LFL, che rappresenta generalmente il valore di impostazione della soglia di allarme di basso livello dei rilevatori di gas.**

$X_b \geq X_{cr} \rightarrow$ grado di diluizione basso

CEI EN 60079-10-1: classificazione delle zone Atex generate da gas/vapori infiammabili

Grado di emissione	Efficacia della Ventilazione						
	Diluizione Alta			Diluizione Media			Diluizione Bassa
	Disponibilità della ventilazione						
	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona, adeguata o scarsa
Continuo	Non pericolosa (Zona 0 NE) ^a	Zona 2 (Zona 0 NE) ^a	Zona 1 (Zona 0 NE) ^a	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primo	Non pericolosa (Zona 1 NE) ^a	Zona 2 (Zona 1 NE) ^a	Zona 2 (Zona 1 NE) ^a	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 oppure Zona 0 ^c
Secondo^b	Non pericolosa (Zona 2 NE) ^a	Non pericolosa (Zona 2 NE) ^a	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 e persino Zona 0 ^c

^a Zona 0 NE, 1 NE oppure 2 NE indica una zona teorica nella quale, in condizioni normali, l'estensione è trascurabile.

^b Il luogo classificato zona 2 creato da una sorgente di emissione di grado secondo potrebbe eccedere le condizioni attribuibili ad un'emissione di grado primo o continuo; in questo caso, dovrebbe essere applicata la distanza maggiore.

^c Sarà zona 0 se la ventilazione è così debole e l'emissione è tale che, in pratica, un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas esiste virtualmente in continuazione (avvicinandosi cioè ad una condizione di "assenza della ventilazione").

'+' significa "circondata da".
La disponibilità della ventilazione negli spazi chiusi naturalmente ventilati non deve mai essere considerata buona.

Estensione della zona Atex: il calcolo dell'ampiezza della zona a getto generata da rilasci di biometano

- **Prima di utilizzare la Norma CEI 31-87 per stimare l'estensione geometrica della zona Atex, in caso di rilasci di gas, come il biometano, deve essere preliminarmente calcolata l'ampiezza (J) della zona a "getto", nella quale il moto del gas è sonico:**

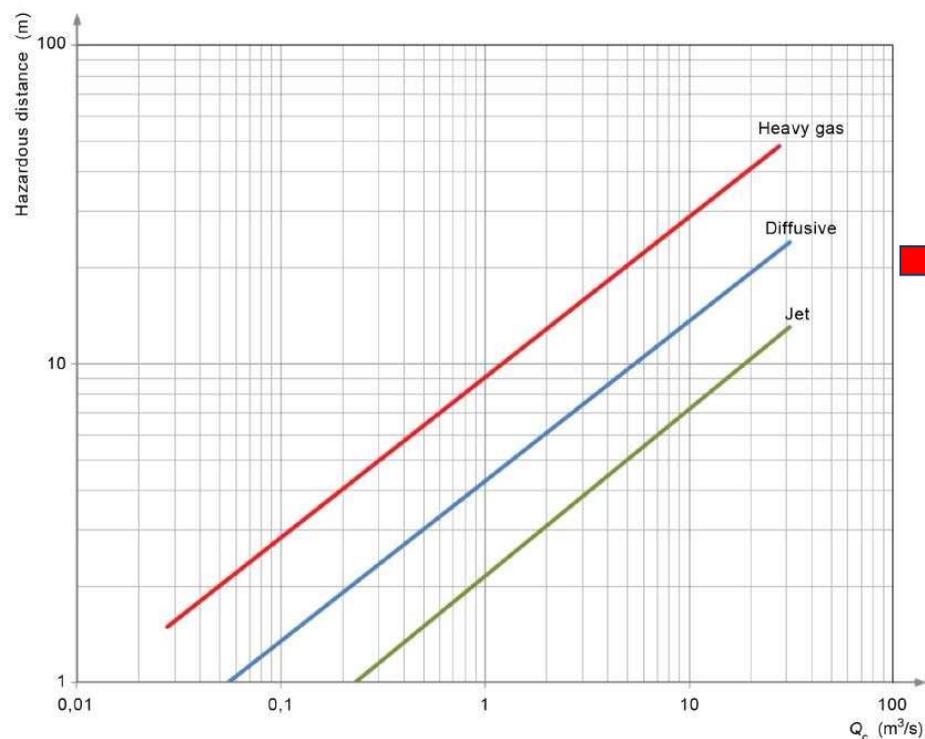
$$J(m) = 0,5 \cdot d \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho_a} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \sqrt{Fr} \rightarrow \text{ampiezza della zona a getto}$$

In cui:

- d (m) è il diametro del foro di emissione;
 - ρ_0 (kg/m³) indica la densità del biometano in uscita dalla SE;
 - ρ_a (kg/m³) indica la densità dell'aria;
 - Fr è il numero di Froude (parametro adimensionale) dato dal rapporto tra le forze di inerzia e la forza di gravità.
- **Qualora la distanza pericolosa (d_z) fosse maggiore di J, l'ampiezza della zona Atex deve essere estesa fino alla regione, in cui la dispersione del gas è diffusiva (moto subsonico del gas).**

Zone ATEX generate da gas/vapori infiammabili: la valutazione dell'estensione geometrica (CEI EN 60079-10-1)

- **Per valutare l'estensione della zona ATEX, si deve calcolare la grandezza d_z** , che rappresenta la distanza, misurata (in ogni direzione) a partire dalla SE, in cui la concentrazione in aria del gas/vapore infiammabile è inferiore al suo LFL.



- **Rilascio a getto (jet)**: è sostanzialmente indipendente dalla velocità dell'aria ed è generato da efflussi sonici;
- **Rilascio dispersivo (diffusive)**: emissione a bassa velocità o che perde la sua quantità di moto a causa di urti con ostacoli posti nelle vicinanze (efflussi subsonici);
- **Gas/vapori pesanti (heavy gas)**: gas/vapori infiammabili aventi densità maggiore rispetto a quella dell'aria.

$$d_{zg} = 10^{(0,53 \cdot \log Q_c) + 0,3273} \rightarrow \text{rilascio a getto} \quad 1)$$

$$d_{zd} = 10^{(0,5 \cdot \log Q_c) + 0,6281} \rightarrow \text{rilascio dispersivo} \quad 2)$$

$$d_{zp} = 10^{(0,5 \cdot \log Q_c) + 0,9571} \rightarrow \text{rilascio di gas pesanti} \quad 3)$$

Luoghi al chiuso: la stima del tempo di persistenza dell'atmosfera potenzialmente esplosiva

CEI EN 60079-10-1 (CEI 31-87)

$$\longrightarrow t_d(s) = \frac{f}{C} \cdot \ln\left(\frac{X_b}{X_{cr}}\right)$$

- t_d (s) è il tempo di persistenza della miscela esplosiva, indicante l'intervallo temporale necessario per diluire la concentrazione in aria del composto infiammabile a valori inferiori al suo LFL;
- C (s^{-1}) indica il numero di ricambi di aria nel luogo al chiuso.

Sorgente di emissione: valutazione della minima portata volumetrica di ventilazione

CEI EN 60079-10-1



$$Q_{amin} \left(m^3/s \right) = \frac{Q_g \cdot T_a}{LFL \cdot 293}$$



- **Q_{amin} è la minima portata volumetrica di ventilazione richiesta da una data SE per diluire la concentrazione in aria della sostanza infiammabile a valori inferiori al suo LFL;**
- Q_g (m^3/s) indica la portata volumetrica di gas infiammabile, emessa da una data SE;
- T_a (K) rappresenta la temperatura dell'ambiente;
- LFL (vol/vol %) è il limite inferiore di infiammabilità del gas infiammabile.

Conclusioni

- L'importanza strategica del biometano determina una particolare attenzione verso i potenziali pericoli connessi con la sua produzione;
- Negli impianti di produzione di biometano, la possibile formazione di atmosfere potenzialmente esplosive nei luoghi indoor, come l'unità di compressione (in essa il biocombustibile raggiunge i livelli più alti di pressione), rappresenta la principale criticità;
- La classificazione delle Zone ATEX ha notevoli impatti sulla sicurezza dei processi industriali, poiché influenza la scelta delle attrezzature di lavoro, dei dispositivi di sicurezza e della sensoristica, che possono essere usati in tali zone pericolose, riducendo fortemente la probabilità che i suddetti elementi diventino sorgenti efficaci di innesco.

Ing. Roberto Lauri

INAIL, Settore Ricerca, Certificazione e Verifica

Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti, Prodotti e Insediamenti Antropici

Centro Ricerche Area Casilina, Via del Torraccio di Torrenova 7, 00133 Roma.

E-mail: r.lauri@inail.it

**Vi ringrazio per la
cortese attenzione**