

ATMOSFERE POTENZIALMENTE ESPLOSIVE: VALUTAZIONE DELLA DISTANZA PERICOLOSA DERIVANTE DA RILASCIO DA ACCOPPIAMENTO FLANGIATO

Negli impianti industriali vi sono molte potenziali sorgenti di emissione di composti tossici ed infiammabili. In questo articolo il criterio della “distanza pericolosa” viene applicato per selezionare la guarnizione dell'accoppiamento flangiato, la quale minimizzi l'estensione della zona, che potrebbe contenere un'atmosfera potenzialmente esplosiva, derivante da un possibile rilascio di NH_3 in un impianto DeNO_x . Questo criterio è finalizzato a migliorare il livello di sicurezza degli impianti, quando siamo in presenza di varie guarnizioni adatte per le previste condizioni di esercizio (pressione e temperatura).



Nell'industria di processo i sistemi di tenuta sono utilizzati per il contenimento dei fluidi, gassosi o liquidi, all'interno di un circuito o di un impianto, al fine di evitare efflussi verso l'esterno. Le emissioni fuggitive costituiscono un serio problema del settore industriale, poiché generano una perdita di efficienza dell'impianto, alla quale, considerando le caratteristiche chimico-fisiche della sostanza rilasciata, si possono sommare la pericolosità (esposizione a composti tossici, formazione di atmosfere potenzialmente esplosive, etc.) per i lavoratori e per l'ambiente circostante. Il rischio di generazione di atmosfere esplosive è ritenuto peculiare dell'industria chimica ed energetica, per la presenza di gas,

vapori, nebbie o polveri notoriamente riconosciuti come infiammabili o instabili. Nella realtà, anche materiali di uso comune, in condizioni sfavorevoli possono dar luogo a esplosioni, per esempio farina, segatura, zucchero, polveri di rifiuti domestici, per non parlare dei combustibili di largo uso, come gas di petrolio liquefatto, gas naturale e carburanti per autotrazione.

Sono molteplici le sorgenti di emissione, che possono determinare un rilascio di un composto pericoloso in un impianto industriale. Tra queste vi sono gli accoppiamenti flangiati. In particolar modo la norma CEI 31-35 (Guida alla classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per la presenza di gas in applicazione della norma CEI EN 60079-10:1) considera il guasto del dispositivo di tenuta (guarnizione) per stimare le dimensioni del foro di emissione della flangia. In questo lavoro è stata effettuata una comparazione delle distanze pericolose (d_p), derivanti dall'emissione di una connessione flangiata, al cui interno fluisce ammoniaca gassosa, al fine di individuare la guarnizione, che consentisse di minimizzare l'estensione dell'area potenzialmente esplosiva e quindi di ridurre il rischio di innesco della stessa.

Malfunzionamenti dovuti alle guarnizioni

Esistono diverse cause responsabili delle perdite delle guarnizioni delle flange. Tra queste le più diffuse sono le seguenti:

- errata selezione per l'applicazione richiesta;
- deterioramento per invecchiamento;
- serraggi successivi all'esposizione ad elevate temperature di esercizio;



- selezione di uno spessore errato;
- rottura della guarnizione a causa di un carico eccessivo applicato durante l'installazione;
- picchi di funzionamento esterni alla normale curva operativa;
- presenza di momento flettente sulle tubazioni;
- danneggiamento durante l'immagazzinaggio o il trattamento.

Dimensioni dei fori di emissione degli accoppiamenti flangiati

La stima delle dimensioni dei fori, che si generano in caso di guasto di componenti dell'impianto, contenenti sostanze infiammabili o tossiche, da utilizzare per definire la portata di emissione per la definizione del grado della ventilazione e dell'estensione delle zone pericolose è di difficile valutazione. In generale tali dimensioni sono basate sull'esperienza pratica e su considerazioni ingegneristiche, soprattutto in relazione ai materiali utilizzati, alla periodicità ed accuratezza della manutenzione e alla rapidità di intervento in caso di anomalie di funzionamento. Per l'emissione da flangia si può fare riferimento alla norma CEI 31-35, che, per stimare l'area del foro, considera il guasto del dispositivo di tenuta (guarnizione). La suddetta norma classifica in tre grandi categorie, ad ognuna delle quali associa un determinato valore della superficie originante il rilascio, le tipologie di guarnizioni presenti in commercio:

- 1) guarnizione in fibra compressa ($A_{\text{foro}}=2,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$);
- 2) giunto ad anello metallo su metallo (ring joint), giunti filettati ($A_{\text{foro}}=0,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$);
- 3) guarnizioni spirometalliche, guarnizione in grafoil con inserto anti-estrusione e con anello interno (a volte anche anello esterno) di contenimento e guarnizione in teflon ($A_{\text{foro}}=0,25 \times 10^{-6} \text{ m}^2$).

Il caso studio: emissione di NH_3 gassosa da flangia (unità DeNO_x)

Lo studio ha avuto come oggetto un'unità DeNO_x , installata in una centrale termoelettrica a vapore, che prevede lo stoccaggio di una soluzione acquosa di ammoniaca e la sua successiva vaporizzazione (Fig. 1) per

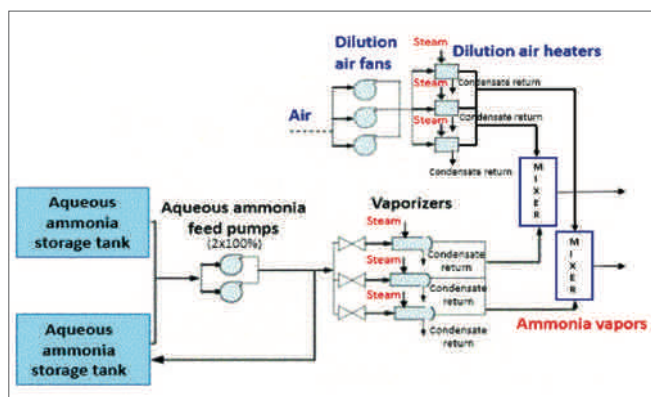


Fig. 1 - Produzione dei vapori di ammoniaca (stazione di vaporizzazione)



Fig. 2 - Guarnizione a fibra compressa (a sinistra), spirometallica (al centro) e ring-joint (a destra)

Produzione di NH_3 (% capacità nominale)	T_{NH_3} (K)	p_{NH_3} (Pa)	c_p (J/gK)	c_v (J/gK)
100	413,15	360.000	2,349	1,833
90	408,15	320.000	2,338	1,823
80	402,15	270.000	2,316	1,803

Tab. 1 - Produzione di NH_3 (stazione di vaporizzazione)

produrre la corrente di vapori, che, dopo essere stata diluita con l'aria, viene iniettata nei gas combust per l'abbattimento degli ossidi di azoto. Il tratto più pericoloso dell'impianto DeNO_x per la possibile formazione di atmosfere potenzialmente esplosive è quello compreso tra la sezione di uscita della stazione di vaporizzazione e l'ingresso del miscelatore statico, poiché nella tubazione, che conduce la miscela aria/vapori di NH_3 alla sezione di iniezione, la concentrazione dell'ammoniaca è pari circa al 5% (solitamente il rapporto aria/ NH_3 è di circa 20:1) e quindi si trova al di sotto del suo limite inferiore di infiammabilità ($\text{LEL}_{\text{vNH}_3}=15\%$).

Lo scenario considerato riguarda l'emissione in atmosfera (ambiente aperto) di ammoniaca dall'accoppiamento flangiato, che viene utilizzato per collegare alla sezione di uscita dello scambiatore la tubazione, che convoglia i vapori ammoniacali al miscelatore statico (static mixer). La finalità dello studio è stata quella di confrontare le distanze pericolose derivanti dall'emissione delle seguenti guarnizioni (guarnizione in fibra compressa, ring joint e guarnizione spirometallica, che sono raffigurate in Fig. 2), considerando una richiesta variabile di NH_3 , in modo da scegliere il dispositivo di tenuta, che minimizzasse d_z e quindi riducesse l'estensione della regione contenente un'atmosfera potenzialmente esplosiva. In Tab. 1 sono riportati i valori della pressione (p_{NH_3}), della temperatura (T_{NH_3}) e dei calori specifici a pressione (c_p) e a volume costante (c_v) dell'ammoniaca rilasciata, in funzione di una produzione della stessa pari a 80%, 90% e 100% della capacità nominale.

Procedura di calcolo della distanza pericolosa

Relativamente alle sorgenti di emissione (SE), che possiamo trovare negli impianti industriali, è fondamentale, per tutelare la salute e la sicurezza degli operatori, la determinazione della distanza pericolosa (d_z), che indica lo spazio, misurato dal punto di rilascio, a partire dal quale la concentrazione in aria dei gas o vapori infiammabili è inferiore al prodotto $k_{0z} \cdot \text{LEL}_v$ in cui:

- k_{0z} è un fattore di sicurezza (parametro adimensionale), avente valore pari a 0,5, poiché la connessione flangiata può essere considerata come una sorgente di emissione di secondo grado;
- LEL_v indica il limite inferiore di infiammabilità della sostanza (percentuale in volume); per l'ammoniaca tale grandezza è pari al 15% v/v. Poiché l'ammoniaca viene emessa ad una pressione relativa maggiore di 500 Pa (5 mbar), la norma CEI 31-35 indica la seguente equazione per calcolare d_z (m):

$$d_z = k_z \cdot 50 \cdot \frac{PM_{\text{NH}_3}^{-0,65}}{k_{d_z} \cdot \text{LEL}_v} \cdot \left(\frac{M_{\text{NH}_3}}{\phi \cdot C_d} \right)^{0,5} \cdot \left[\gamma \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^\beta \right]^{-0,25} \cdot T_{\text{NH}_3}^{0,25}$$

in cui:

- k_z è un coefficiente correttivo (parametro adimensionale), che tiene conto della concentrazione di gas o vapore infiammabile nell'ambiente ed è uguale ad 1 per gli ambienti aperti;

- PM_{NH_3} è il peso molecolare dell'ammoniaca = 17,03 kg/kmol;
- LEL_v indica il limite inferiore di infiammabilità dell'ammoniaca (percentuale in volume) = 15%;
- M_{NH_3} indica la portata massica dell'ammoniaca rilasciata (kg/s);
- γ è l'indice politropico dell'espansione adiabatica = c_p/c_v . I calori specifici a pressione ed a volume costante sono riferiti ai parametri termodinamici del rilascio dell'ammoniaca;
- $\beta = (\gamma+1)/(\gamma-1)$;
- ϕ è il rapporto critico del flusso, che dipende dalle condizioni di moto (regime subsonico o sonico). Esso è pari ad 1 per moto sonico, mentre viene calcolato con la seguente espressione, qualora si verificasse un'emissione subsonica:

$$\phi = \left(\frac{p_{atm}}{p}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_{atm}}{p}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[\left(\frac{2}{\gamma-1}\right) \cdot \left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{\beta}\right]^{\frac{1}{2}}$$

in cui p_{atm} rappresenta la pressione atmosferica e p quella nel punto di fuoriuscita;

- C_d è il coefficiente di efflusso (parametro adimensionale) = 0,85;
- T_{NH_3} (K) = temperatura di emissione dell'ammoniaca.

Può essere rilevato che la distanza pericolosa dipende dalla velocità dell'aria solamente quando le emissioni di gas o vapori avvengono a pressione relativa minore di 500 Pa. Il primo step, necessario per la determinazione di d_z , consiste nella definizione delle condizioni di rilascio (moto subsonico o sonico), che incidono sul valore di M_{NH_3} e di ϕ . Questi regimi di efflusso vengono definiti mediante il confronto tra la pressione esistente a valle del foro (in questo caso è la pressione atmosferica) e la pressione critica (p_{cr}), ricavabile dalla seguente equazione, che mette in evidenza la dipendenza di tale grandezza solamente dai parametri termodinamici dell'emissione:

$$p_{cr} = p_{NH_3} \cdot \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

Si instaura un regime di efflusso sonico quando $p_{cr} > p_{atm}$, in caso contrario si verifica un rilascio subsonico.

La definizione del regime di moto viene riportata in Tab. 2, dalla quale si evince che, per ognuna delle richieste di ammoniaca esaminate, si instaurano condizioni di moto sonico (γ resta invariato nonostante la variazione della richiesta di NH_3 dell'unità DeNO_x).

In presenza di efflusso sonico la norma CEI 31-35 impone $\phi=1$ e pertanto la portata di ammoniaca rilasciata (M_{NH_3}) può essere calcolata mediante la seguente equazione:

$$M_{NH_3} = A_{foro} \cdot p_{NH_3} \cdot C_d \cdot \sqrt{\gamma \cdot \frac{PM_{NH_3}}{RT_{NH_3}} \cdot \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}}$$

in cui R (costante universale dei gas) = 8,314 J/kmol · K.

Risultati e discussione

In Tab. 3 si riportano i risultati dello studio condotto. I valori delle distanze pericolose calcolate vengono arrotondati per eccesso e quindi risultano compresi tra:

- 1) 19-22 cm (guarnizione in fibra compressa);
- 2) 6-7 cm (guarnizione spirometallica);
- 3) 9-10 cm (guarnizione ring-joint).

Le condizioni di esercizio della stazione di vaporizzazione, deputata alla produzione di ammoniaca gassosa, hanno una diretta incidenza sui parametri termodinamici del rilascio e per la situazione analizzata l'estensione dell'atmosfera potenzialmente esplosiva (i valori di d_z sono esigui, raggiungendo al massimo i 22 cm) è limitata per ogni tipologia di guarnizione. Poiché tutti i dispositivi di tenuta considerati si prestano ad essere utilizzati nel range di pressione e temperatura previsto per l'ammoniaca, il criterio di scelta adottato è finalizzato a minimizzare la distanza pericolosa. Ciò costituisce una misura preventiva contro il rischio di esplosione in quanto consente di ridurre la probabilità di innesco della miscela infiammabile (diminuisce l'ampiezza della regione occupata dall'atmosfera esplosiva) e quindi si apportano dei benefici nell'ottica di garantire un funzionamento più sicuro dell'unità DeNO_x. Queste considerazioni hanno portato all'impiego di una guarnizione spirometallica, costituita da un nastro metallico con particolare profilo sagomato, accoppiato ad un altro nastro di riempimento realizzato in PTFE. Il profilo metallico, sotto compressione, ha un'azione elastica, che assicura una perfetta tenuta in tutte le condizioni di temperatura e pressioni. La guarnizione selezionata dispone di un:

- anello interno, avente una funzione anti-turbolenza in quanto ha il diametro interno uguale al diametro interno della flangia. Esso evita il depositarsi di materiale tra l'interstizio delle flange ed è costruito con lo stesso materiale della spirale, per cui ne protegge la corrosione e contrasta fortemente l'erosione della connessione flangiata;
- l'anello esterno, che serve come dispositivo di centraggio, previene l'espansione laterale della spirale e funge come spessore di riferimento per un corretto montaggio della stessa, riducendo la possibilità di rottura della guarnizione a causa di elevati serraggi.

Produzione di NH ₃ (% capacità nominale)	γ	p_{cr} (Pa)	Moto
100	1,28	197.773	sonico
90	1,28	175.680	sonico
80	1,28	148.230	sonico

Tab. 2 - Definizione del regime di efflusso dell'ammoniaca

Produzione di NH ₃ (%)	Tipologia di guarnizione	M_{NH_3} (kg/s)	d_z (m)
100	Fibra compressa	10 ⁻³	0,213
	Spirometallica	10 ⁻⁴	0,067
	Ring joint	2x10 ⁻⁴	0,095
90	Fibra compressa	8,9x10 ⁻⁴	0,2
	Spirometallica	8,9x10 ⁻⁵	0,063
	Ring joint	1,8x10 ⁻⁴	0,089
80	Fibra compressa	8,6x10 ⁻⁴	0,184
	Spirometallica	8,6x10 ⁻⁵	0,058
	Ring joint	1,72x10 ⁻⁴	0,082

Tab. 3 - Distanze pericolose



Conclusioni

La legislazione vigente in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro pone particolare attenzione alla protezione dei lavoratori dalle atmosfere potenzialmente esplosive. Per conseguire tale obiettivo è fondamentale eseguire una corretta classificazione delle aree degli impianti industriali, in cui si potrebbero formare miscele esplosive, e successivamente individuare l'estensione di questi "ambienti pericolosi" mediante il calcolo del parametro d_2 . In questo modo è possibile adottare i più idonei provvedimenti di natura tecnica ed organizzativa e selezionare apparecchi (in particolar modo si deve evitare che essi possano costituire una sorgente efficace di innesco) e sistemi di protezione, adatti a lavorare nelle zone individuate. Considerando i possibili rilasci di sostanze infiammabili da connessioni flangiate, la scelta della guarnizione (dispositivo di tenuta) deve essere effettuata non solo valutando le caratteristiche chimico-fisiche del fluido transitante ed il range delle pressioni e delle temperature di esercizio, ma anche prestando attenzione alla minimizzazione della distanza pericolosa (riduzione dell'estensione dell'area occupata da un'atmosfera esplosiva), poiché il successo di un processo produttivo è decretato dal connubio inscindibile tra elevate rese, ridotto impatto ambientale e sicurezza intrinseca. Nel caso studio illustrato i valori assunti da d_2 sono modesti e consentono una maggiore flessibilità nella scelta della guarnizione. L'utilizzo della distanza pericolosa, come ulteriore elemento per l'individuazione del più idoneo dispositivo di tenuta, non è, però, sufficiente a garantire un contenimento dell'estensione della zona occupata dalla miscela esplosiva, ma deve essere associato al rispetto delle procedure previste per l'esecuzione del corretto montaggio della guarnizione, evitando in particolar modo eccessivi serraggi, che potrebbero minarne l'integrità e determinare maggiori superfici di emissione.

Ringraziamenti

Si desidera esprimere un sentito ringraziamento all'Azienda Aetherdbb per la fattiva collaborazione.

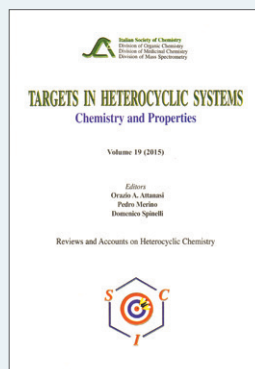
BIBLIOGRAFIA

- [1] CEI 31-35: Guida alla classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per la presenza di gas in applicazione della Norma CEI EN 60079-10-1, maggio 2014.
- [2] L. Haar, J.S. Gallagher, "Thermodynamic properties of ammonia", Journal of Physical and Chemical Reference Data, 1978.
- [3] N.P. Cheremisinoff, T.A. Davletshina, "Fire and Explosion Hazards Handbook of Industrial Chemicals", Noyes Publications, 1998.

Explosive Atmospheres: Valuation of the Dangerous Distance Deriving from a Release from a Flange Coupling

In the industrial plants there are many potential sources of release of toxic and flammable compounds. In this paper the criterion of the "dangerous distance" is used to select the flange coupling gasket in order to decrease the extent of the zone, which could contain an explosive atmosphere, deriving from a possible ammonia release in a DeNO_x plant. This criterion is aimed at improving the safety level of plants, when there are various gaskets, which are fit for the established operating conditions (pressure and temperature).

LIBRI E RIVISTE SCI



Targets in Heterocyclic Systems

Vol. 19

È disponibile il 18° volume della serie "Targets in Heterocyclic Systems", a cura di Orazio A. Attanasi, Pedro Merino e Domenico Spinelli.

Sono disponibili anche i volumi 1-18 della serie.

I seguenti volumi sono a disposizione dei Soci gratuitamente, è richiesto soltanto un contributo spese di € 10:

- G. Scorrano "La Storia della SCI", Edises, Napoli, 2009 (pp. 195)
- G. Scorrano "Chimica un racconto dai manifesti", Canova Edizioni, Treviso, 2009 (pp. 180)
- AA.VV. CnS "La Storia della Chimica" numero speciale, Edizioni SCI, Roma 2007 (pp. 151)
- AA.VV. "Innovazione chimica per l'applicazione del REACH" Edizioni SCI, Milano, 2009 (pp. 64)

Oltre "La Chimica e l'Industria", organo ufficiale della Società Chimica Italiana, e "CnS - La Chimica nella Scuola", organo ufficiale della Divisione di Didattica della SCI (www.soc.chim.it/riviste/cns/catalogo), rilevante è la pubblicazione, congiuntamente ad altre Società Chimiche Europee, di riviste scientifiche di alto livello internazionale:

- ChemPubSoc Europe Journal
- Chemistry A European Journal
- EURJOC
- EURJIC
- ChemBioChem
- ChemMedChem
- ChemSusChem
- Chemistry Open
- ChemPubSoc Europe Sister Journals
- Chemistry An Asian Journal
- Asian Journal of Organic Chemistry
- Angewandte Chemie
- Analytical & Bioanalytical Chemistry
- PCCP, Physical Chemistry Chemical Physics

Per informazioni e ordini telefonare in sede, 06 8549691/8553968, o inviare un messaggio a manuela.mostacci@soc.chim.it