

UN APPROCCIO QUANTITATIVO PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DOVUTO ALLA PRESENZA DI ATMOSFERE ESPLOSIVE NEI LUOGHI DI LAVORO AI SENSI DELLE NORMATIVE ATEX

Roberto Lisi¹, Maria Francesca Milazzo¹, Sergio Galletti³ e Giuseppe Maschio²

¹ Dipartimento di Chimica Industriale e Ingegneria dei Materiali, Università di Messina, Salita Sperone 31, Messina, 98166, Italia, mfmilazzo@ingegneria.unime.it

² Dipartimento di Principi e Impianti di Ingegneria Chimica, Università di Padova, via F.Marzolo, 9, Padova, 35131, Italia, giuseppe.maschio@unipd.it

³ “3G” s.r.l., via Scala Greca, 139/a Siracusa, 96100

SOMMARIO

L'applicazione delle direttive ATEX implica la valutazione dei rischi connessi con la possibile presenza di atmosfere esplosive negli ambienti di lavoro. La possibilità di formazione di atmosfere esplosive è generalmente tipica di aziende classificate a rischio di incidente rilevante, ma anche di qualsiasi attività produttiva in cui siano presenti piccole quantità di sostanze infiammabili. La problematica rientra nel campo della sicurezza nei luoghi di lavoro ed impone al datore di lavoro di effettuare una valutazione dei livelli di rischio cui i lavoratori sono esposti, di attuare tutte le misure possibili per abbassarne il livello e, infine, di informare e formare i lavoratori sui rischi a cui sono esposti. L'approccio più utilizzato nella valutazione dei rischi è di tipo qualitativo, anche se può comportare una sottostima dei rischi reali. Nelle aziende a rischio di incidente rilevante, tale sottovalutazione può essere ancor più importante nonostante l'attenzione che in queste vi è già per evitare e controllare i rischi di incidenti di magnitudo significativamente maggiore. Tuttavia, proprio dall'esperienza di tali aziende, nasce la proposta di un approccio quantitativo nella valutazione del rischio ATEX che consente una uniformità di azione e gestione della attività dal punto di vista della sicurezza e una più corretta stima dei rischi per i lavoratori.

1.0 NORMATIVA PER IL CONTROLLO DEI RISCHI DOVUTI ALLA PRESENZA DI ATMOSFERE ESPLOSIVE

Nell'ambito della Direttiva Generale 89/391/CE [1], concernente l'attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori, i "*luoghi con pericolo di esplosione*" hanno assunto particolare attenzione tanto da richiedere l'attuazione di due Direttive particolari, la 99/92/CE [2] e la 94/9/CE [3], con l'obiettivo di mettere in atto prescrizioni minime di sicurezza (*Essential Safety Requirement*) e modalità di certificazione cui devono conformarsi gli apparecchi e i sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva.

Le atmosfere esplosive possono essere originate dal rilascio di sostanze infiammabili gassose, nebbie o vapori o da polveri combustibili. Se il quantitativo di sostanza rilasciata è sufficiente, una volta mescolata con aria, è sufficiente una fonte qualsiasi di ignizione per provocare un'esplosione.

Le esplosioni negli ambienti lavorativi, pur non essendo tra le principali cause di incidenti, a causa della violenza del fenomeno esplosivo portano a conseguenze difficilmente prevedibili, spesso gravissime in termini di perdite di vite umane e di costi economici. La prevenzione dei rilasci di sostanze pericolose in grado di creare atmosfere esplosive e la prevenzione della formazione di fonti di innesco sono i due metodi più ampiamente usati per ridurre il rischio connesso alla presenza di atmosfere esplosive. L'uso di attrezzature appropriate può aiutare notevolmente nella realizzare di questi scopi.

Al fine di incrementare la sicurezza dei lavoratori e prevenire possibili esplosioni nei luoghi di lavoro, nel corso del 2003, la Comunità Europea ha realizzato e redatto appositamente, in tutte le lingue comunitarie, una guida ufficiale definita di "buona pratica" (*good practise*) per la corretta applicazione della nuove direttive comunitarie relative alla sicurezza dei lavoratori per quanto riguarda i rischi connessi alle atmosfere potenzialmente esplosive.

Il termine ATEX deriva dalla lingua francese *Atmospheres Explosibles* ed è il nome che è stato dato al contesto relativo al controllo della formazione di atmosfere esplosive e agli standards riguardanti le

apparecchiature e i sistemi di protezione utilizzati in quest'ambito. Lo stesso termine dà il nome alle due direttive comunitarie attinenti la prevenzione dei rischi legati alla presenza di atmosfere potenzialmente esplosive ed elencate di seguito:

1. *Direttiva 94/9/CE* (nota anche come *ATEX 95* oppure come *ATEX Equipment Directive*) concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva.
2. *Direttiva 99/92/CE* (nota anche come *ATEX 137* oppure come *ATEX Workplace Directive*) relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive.

Le novità che hanno introdotto le due direttive definiscono sostanzialmente i requisiti essenziali di sicurezza da attuare per i luoghi con pericolo di esplosione, sia a carico dei produttori delle apparecchiature destinate a tali luoghi (Dir. 94/9/CE) che a carico dei datori di lavoro ai fini della sicurezza e salute dei lavoratori (Dir. 99/92/CE). La valutazione complessiva dei luoghi con pericolo di esplosione è frutto dell'integrazione delle due direttive e delle sinergie dei diversi specialisti del settore.

Le direttive 99/92/CE e 94/9/CE sono state recepite dalla legislazione italiana, rispettivamente, con il D.Lgs. 233 del 12 Giugno 2003 [4] e il D.P.R. 126 del 23 Marzo 1998 [5]. Le due leggi sono state successivamente modificate ed integrate nella normativa italiana principale concernente la sicurezza e la protezione della salute nei luoghi di lavoro (D.Lgs. 626/94 [6]).

1.1 La normativa italiana

Il D.Lgs. 626/94 è la normativa italiana riguardante la sicurezza e protezione della salute nei luoghi di lavoro. Tale decreto interessa tutti i settori e gli ambiti lavorativi, infatti fa esplicito riferimento a tutti gli ambienti di lavoro ed alle attrezzature di lavoro in essi contenuti, escludendo soltanto casi particolari quali miniere, polveriere, depositi militari, ecc.

I campi di applicazione del decreto sono molto estesi e vanno dall'industria chimica a quella alimentare, dalle piccole officine meccaniche alle aziende agricole, agli uffici, alle banche, ecc.

Gli ambienti di lavoro vengono definiti come luoghi destinati a contenere posti di lavoro, ubicati all'interno dell'azienda ovvero dell'unità produttiva. Le attrezzature vengono definite come qualsiasi macchina, apparecchio, utensile o impianto destinato ad essere impiegato durante il lavoro.

La parte VIII del decreto include le norme di protezione contro le esplosioni. La normativa riporta che il datore di lavoro ha l'obbligo di prevenire la formazione di atmosfere esplosive adottando tutte le misure tecnico-organizzative richieste, questo può essere fatto sulla base di una valutazione della presenza di atmosfere esplosive nel posto di lavoro. Se la formazione di tali nubi infiammabili non può essere evitata, è necessario prevenire il loro innesco e, qualora non sia possibile neanche questo, occorre tentare la mitigazione dei danni potenziali causati dall'esplosione.

Sulla base di appositi criteri il datore di lavoro deve, inoltre, classificare le aree in cui è possibile la formazione di atmosfere esplosive, successivamente, dovrà predisporre il *Documento di valutazione del rischio dovuto ad atmosfere esplosive*, o *Documento di valutazione del rischio di ATEX*) e, periodicamente, aggiornarlo.

Nel documento la *classificazione delle aree a rischio esplosione* deve essere fatta sulla base dell'uso di norme armonizzate. Esso deve includere una sezione nella quale vengono effettuate la valutazione del rischio eseguita usando specifici algoritmi, l'individuazione di misure per evitare la formazione di atmosfere esplosive e di fonti di ignizione ed infine la definizione delle attrezzature usate nel luogo di lavoro.

2.0 APPROCCIO METODOLOGICO

I Rapporti di Sicurezza delle industrie classificate a rischio d'incidente rilevante descrivono la valutazione del rischio relativamente a esplosioni di grande entità. La stima del rischio dovuto ad esplosioni, caratterizzate da una minore magnitudo, ma che, potenzialmente, possono coinvolgere i lavoratori, è descritto nel documento di valutazione dei rischi nei luoghi di lavoro, prodotto ai sensi del D.Lgs. 626/94, e nel documento di valutazione del rischio di ATEX.

L'approccio generalmente più utilizzato nella valutazione generica dei rischi negli ambienti di lavoro è di tipo qualitativo e tende ad essere usato anche in presenza di rischi connessi con la possibile presenza di atmosfere esplosive [7]. Molto usato è anche l'approccio semi-quantitativo [8].

L'applicazione di un approccio qualitativo comporta, nella maggior parte dei casi, una sottostima dei rischi reali e, conseguentemente, la possibilità di non mettere in atto le necessarie azioni di previsione, prevenzione e protezione. Nelle aziende a rischio di incidente rilevante, inoltre, tale sottovalutazione può essere ancor più importante stante l'attenzione che in queste vi è già per evitare e controllare il rischio di incidenti di magnitudo significativamente maggiore. Tuttavia, proprio dall'esperienza di tali aziende, nasce la proposta di un approccio quantitativo nella valutazione del rischio ATEX che consente una uniformità di azione e di gestione della attività dal punto di vista della sicurezza e una più corretta stima dei rischi per i lavoratori.

La metodologia proposta nel presente lavoro è basata su una analisi di rischio probabilistica che parte da una conoscenza di dettaglio del sistema analizzato. Il primo passo è la definizione della aree "*classificate a rischio di esplosione*" basata sulla individuazione e caratterizzazione di tutte le possibili sorgenti di emissione di sostanze infiammabili ed esplosive. Il calcolo degli effetti dell'esplosione, la valutazione della probabilità di presenza di sorgenti di ignizione e il numero dei lavoratori esposti sono le fasi successive che portano al calcolo del rischio esplosione.

Nella Fig. 1 è riportata una flow-chart della metodologia globale. La procedura può essere suddivisa in due parti: la fase di censimento e la fase di valutazione di rischio.

Gli elementi salienti della valutazione sono:

- *Studio del ciclo produttivo*;
- *Identificazione dei pericoli di esplosione*: è necessario identificare i parametri tecnici della sicurezza, i quali indicano se una determinata sostanza è infiammabile ed il suo grado di infiammabilità attraverso la conoscenza delle caratteristiche chimico-fisiche dell'agente (gas/vapori/polveri);
- *Valutazione del rischio di esposizione ad atmosfere esplosive*: la valutazione è possibile attraverso i seguenti step:
 - ☞ determinazione della probabilità che si formi un'atmosfera esplosiva e la quantità di sostanza rilasciata, la stima della probabilità che si abbia quell'entità di rilascio; tali informazioni permettono la "classificazione delle aree a rischio di esplosione";
 - ☞ individuazione della presenza di fonti di innesco efficaci cioè suscettibili di innescare un'atmosfera esplosiva formata;
 - ☞ individuazione dei possibili effetti di un'esplosione;
 - ☞ determinazione della probabilità di presenza dei lavoratori, questo passaggio è utile al fine di calcolare il numero di persone esposte;
 - ☞ calcolo del rischio, che si effettuerà sulla base delle considerazioni riportate nei paragrafi che seguono.

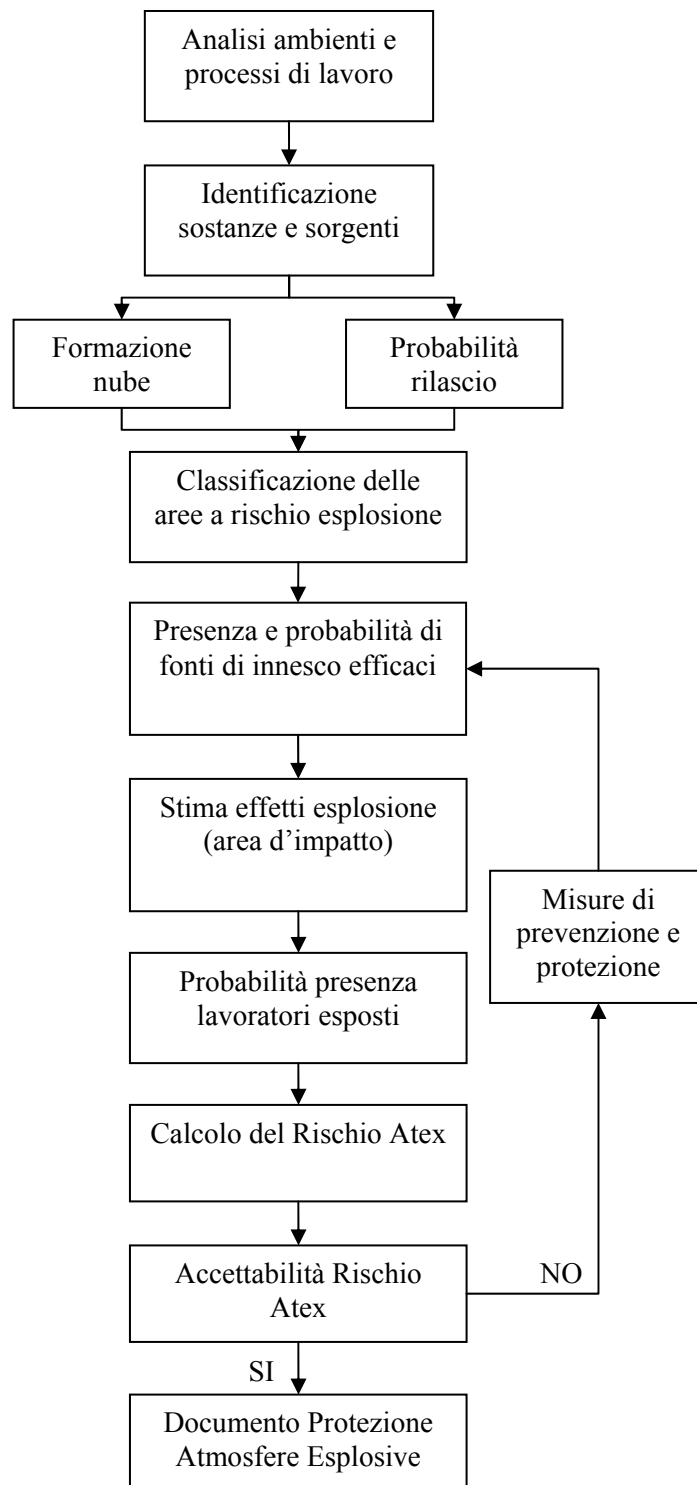


Figura 1. Flow-chart della procedura di analisi del rischio ATEX.

La fase preliminare della valutazione del rischio di esplosione consiste nell'accertare se è possibile escludere "a priori" la presenza di atmosfere esplosive. In tale caso, infatti, il luogo non presenta rischio di esplosione e la valutazione ha termine. In caso contrario è necessario procedere alla valutazione del rischio di esplosione.

La valutazione del rischio di esplosione non viene fatta una sola volta, ma deve essere ripetuta nelle diverse fasi dei processi di lavorazione e/o produzione:

- nelle normali condizioni di funzionamento;
- durante la messa in servizio e fuori servizio;
- a seguito di avarie e stati difettosi prevedibili (malfunzionamento prevedibile).

3.0 L'INDICE DI RISCHIO ATEX

In accordo con la flow-chart descritta sopra, è possibile calcolare il rischio dovuto alla presenza di atmosfere esplosive. Tale rischio può essere espresso attraverso l'indice di *rischio ATEX* R_{ae} dato dall'equazione (1):

$$R_{ae} = p_e \cdot p_a \cdot D \quad (1)$$

dove p_e – probabilità di rilascio di sostanze infiammabile da una sorgente di emissione, p_a – probabilità di presenza di una sorgente di innesco, D – numero di persone nell'area d'impatto.

4.0 ANALISI DEL RISCHIO

La procedura per il calcolo del rischio ATEX comprende le fasi descritte nei paragrafi che seguono.

4.1 Formazione di atmosfere esplosive e classificazione delle aree a rischio esplosione

Come è noto le sostanze infiammabili nello stato di gas, vapori, nebbie o polveri combustibili, quando si trovano disperse nell'atmosfera in determinate concentrazioni ed avviene un innesco, possono causare esplosioni.

Un'esplosione può avvenire in un ambiente confinato ovvero in un ambiente non confinato. Normalmente una esplosione in un ambiente confinato è molto più distruttiva di una che si verifica in un ambiente aperto.

Molti luoghi di lavoro contengono sostanze potenzialmente esplosive o, spesso, hanno attività che le producono. Alcuni esempi sono attività dove si effettuano operazioni di verniciatura dei veicoli o in cui vengono manipolate polveri organiche fini come di farina di grano o di legno.

Le sostanze infiammabili, che possono generare atmosfere esplosive, possono essere raggruppate in quattro categorie:

- Liquidi:** Sono sostanze, come benzina, altri combustibili o come i solventi presenti in alcuni prodotti industriali (come vernici, inchiostri, adesivi e prodotti per la pulizia), che possono emanare vapori infiammabili. I liquidi infiammabili sono classificati come segue:
 - Estremamente infiammabili: Liquidi che hanno un *flash point* inferiore a 0°C ed un punto d'ebollizione (o, nel caso di range di temperature di ebollizione, il punto iniziale di ebollizione) minore o uguale a 35°C.
 - Altamente infiammabili: Liquidi che hanno un *flash point* sotto 21°C, ma che non sono estremamente infiammabili.
 - Infiammabili.
- Polveri:** Le polveri possono essere prodotte da materiali come carbone, legno, grano, zucchero, alcuni metalli e sostanze chimiche organiche e sintetiche. Una nube di polvere combustibile nell'aria può esplodere violentemente se si ha una fonte di innesco efficace.
- Gas:** Questa classe comprende gas petroliferi liquefabili o metano. Questi sono solitamente immagazzinati in cilindri sotto pressione. Rilasci incontrollati possono provocare l'innesco rapido, l'esplosione avendo un decorso molto violento può far diventare il cilindro come un missile.
- Solidi:** Sono sostanze come plastica, imballaggi e materiali tessili che possono bruciare emanando fumo nero denso, qualche volta velenoso.

La classificazione dei luoghi ha lo scopo di stabilire la presenza di zone con pericolo d'esplosione nelle quali devono essere adottati provvedimenti di natura tecnica e/o organizzativa per rendere trascurabili i rischi derivanti dalla presenza di atmosfere esplosive e/o potenzialmente tali. La classificazione dei luoghi, fa parte dei dati di base per la valutazione del rischio "atmosfere esplosive" al quale possono essere esposti i lavoratori di cui alla direttiva europea 1999/92/CE.

I luoghi con pericolo di esplosione sono suddivisi in zone, in funzione della probabilità di presenza di atmosfere esplosive, applicando la norma EN 60079-10 (gas/vapori/nebbie) e EN 50281-3 (polveri), in conformità all'Allegato XV-bis del Titolo VIII-bis del D.Lgs. 626/94.

4.2 Calcolo della probabilità di presenza di un'atmosfera esplosiva

La definizione delle aree a rischio di esplosione nelle normali condizioni operative si basa sulla classificazione delle aree secondo la direttiva CEI-31-30 ed gli orientamenti relativi.

Applicando la CEI-31, il luogo di lavoro viene suddiviso in zone pericolose (tipo 0, 1, 2, 20, 21, 22) ed in zone non pericolose. Nelle prime dovranno essere adottate misure di protezione tanto più efficaci quanto maggiore è la probabilità di presenza di atmosfera esplosiva; nelle seconde non sarà necessaria alcuna cautela nei confronti dell'esplosione.

Le zone vengono identificate come riportato di seguito:

- a. *Zona 0*: area con una presenza continua dell'atmosfera esplosiva.
- b. *Zona 1*: area dove è probabile una presenza dell'atmosfera esplosiva nelle normali condizioni operative dell'impianto.
- c. *Zona 2*: area dove è improbabile la presenza di un'atmosfera esplosiva nelle normali condizioni di funzionamento o, qualora si verifichi, è unicamente di breve durata.

Le aree a rischio di esplosione sono identificate in base alla frequenza e alla durata della presenza di atmosfere esplosive (*European and IEC method*). La direttiva CEI 31-35 definisce le categorie di probabilità di presenza delle atmosfere esplosive mostrate in tabella 1.

Tabella 1. Probabilità e durata delle atmosfere esplosive.

Zona	Probabilità di atmosfera esplosiva in un anno (365 d)	Durata complessiva di atmosfera esplosiva in un anno (365 d)
0	$P > 10^{-1}$	Oltre 1000 h
1	$10^{-1} > P > 10^{-3}$	Oltre 10 h fino a 1000 h
2	$10^{-3} > P > 10^{-5}$	Oltre 0,1 h fino a 10 h (*)
(*)	Se la durata complessiva di un'atmosfera è inferiore a 0.1 h in un anno il luogo è da non considerarsi pericoloso e quindi, non rientra nella classificazione.	

4.3 Calcolo della probabilità di innesco di un'atmosfera esplosiva

La seconda fase della valutazione del rischio ATEX è l'individuazione delle sorgenti di accensione (SA) in grado di innescare l'atmosfera esplosiva. È stato visto che la presenza di un'atmosfera esplosiva non è sufficiente perché avvenga un'esplosione, occorre un innesco e le cause di innesco in un impianto di processo possono essere svariate.

In accordo alla norma UNI EN 1127-1 le cause di innesco di un'atmosfera esplosiva sono riconducibili a quelle riportate in tabella 2.

Tabella 2. Cause d'innesco di un'atmosfera esplosiva.

Superfici calde
Fiamme e gas caldi (incluse le particelle calde)
Scintille di origine meccanica
Impianto elettrico
Correnti elettriche vaganti
Protezione catodica
Elettricità statica
Fulmine (e cumuli nubi)
Cavi scaldanti
Onde elettromagnetiche a radiofrequenza (RF) da 104 Hz a 3×10^{12} Hz
Onde elettromagnetiche da 3×10^{11} Hz a 3×10^{15} Hz
Radiazioni ionizzanti
Ultrasuoni
Compressione adiabatica e onde d'urto
Reazioni esotermiche inclusa l'autoaccensione delle polveri

Per quantificare la probabilità d'innesco per ogni tipo di fonte di ignizione è possibile usare dati di letteratura o, preferibilmente, specifici studi fatti sullo stesso impianto oggetto di valutazione. Possono, inoltre, essere usati metodi come analisi storica, fault tree analysis, FMEA, FMECA, oppure specifiche procedure analitiche.

4.4 Valutazione delle conseguenze dell'esplosione

Le conseguenze devono essere valutate per ogni sorgente di emissione identificata attraverso la classificazione delle aree e per ogni unità dello stabilimento. Questa fase consiste nel calcolo degli effetti dell'esplosione che significa quantificare l'entità della sovrappressione ad una data distanza dalla sorgente di rilascio.

Un'esplosione è uno sviluppo di energia in un tempo sufficientemente piccolo, a seguito del rilascio di energia, un'onda di pressione (perturbazione) inizierà a propagarsi nello spazio.

La complessità del fenomeno richiederebbe uno studio di tipo fluidodinamico attraverso l'utilizzo di codici di simulazione appropriati, ma l'utilizzo di modelli/metodi semplificati che forniscono il picco di sovrappressione a determinate distanze, anche se maggiormente conservativo, considerando le piccole quantità di sostanze in gioco e l'elevato numero di sorgenti di emissione che generalmente possono essere individuate, risulta soddisfacente.

In [9] sono disponibili diversi modelli, anche semplificati, per la stima della sovrappressione originata da un'esplosione. I metodi più diffusi sono i seguenti:

1. il modello del TNT equivalente;
2. il modello del pistone equivalente.

Metodo del TNT equivalente

Il metodo TNT equivalente approssima gli effetti di una deflagrazione a quelli di una detonazione ideale. La base del metodo risiede nella correlazione tra sovrappressione prodotta ed energia rilasciata che è quella usata per gli esplosivi solidi (quali il TNT). Dato l'elevato valore della densità di energia contenuto negli esplosivi solidi, vengono rilasciate notevoli quantità di energia in tempi estremamente brevi, questo fa sì che, quando

il modello viene adattato a gas o a liquidi, la variazione di sovrappressione nel tempo necessita di opportune correzioni.

Il criterio di TNT equivalente è stato sviluppato sulla linea delle leggi di scala. Attraverso questo metodo i danni prodotti e, dunque, le zone di pianificazione vengono stimati attraverso le formule ricavate empiricamente per l'esplosione di cariche di tritolo. E' sufficiente stabilire una relazione tra l'esplosivo in esame e il tritolo, in termini di effetti prodotti, per determinare l'andamento delle sovrappressioni in funzione delle distanze. Un ruolo molto importante riveste in questa valutazione la morfologia del territorio circostante e la presenza di ostacoli naturali o artificiali.

Con tale criterio, quindi, si assume che una esplosione sia equivalente, dal punto di vista energetico, a quella di una carica di TNT. L'equivalenza viene stabilita confrontando l'energia di combustione per unità di massa del combustibile con quella del TNT e considerando, tramite l'introduzione di un coefficiente di efficienza dell'esplosione, che soltanto una frazione dell'energia disponibile nella nube contribuisca all'esplosione.

L'energia calcolata permette di ricavare una massa equivalente di TNT. Quindi le conseguenze dell'esplosione di questa massa di TNT possono essere, successivamente, ricavate da grafici e tabelle di dati oppure usando opportune correlazioni.

L'entalpia di combustione di TNT è 4196 kJ/kg, la massa equivalente di TNT per una data esplosione è data da equazione (2):

$$m_{TNT} = \eta \cdot \frac{\Delta H_C}{4,196 \cdot 10^6} \cdot m_{cloud} \quad (2)$$

dove η – resa dell'esplosione; ΔH_C – entalpia di combustione della sostanza, J/kg; m_{cloud} – massa di sostanza nella nube, kg.

La distanza a cui si raggiunge una data sovrappressione è calcolata usando l'equazione (3), in questa correlazione è riportata la distanza in funzione della sovrappressione e della massa equivalente di TNT ([10]):

$$x = (m_{TNT})^{1/3} \cdot \exp[3.5031 - 0.724 \cdot \ln(O_p) + 0.0398 \cdot (\ln(O_p))^2] \quad (3)$$

dove x – distanza, ft; O_p – sovrappressione, psi.

Modello del pistone equivalente (TNO shock wave model)

Il modello del pistone equivalente è stato sviluppato dal TNO ed è descritto in [10], permette di calcolare il picco di sovrappressione e la durata del fenomeno esplosivo.

Questo modello si basa sull'assunzione che la nube è una semisfera di gas incombusto di volume V_0 che espande diventando una semisfera di volume V_1 . Si assume che durante il processo l'energia acquistata dal gas incombusto sia fornita da un pistone semisferico, questa descrizione riporta efficacemente il processo di combustione.

La sovrappressione e la durata del fenomeno sono entrambe funzione della distanza dal centro dell'esplosione e si possono calcolare usando grafici o equazioni riportate in [9].

Calcolo delle zone di danno

L'individuazione delle zone di danno prodotte da un fenomeno esplosivo può essere fatta usando un codice di simulazione basato su uno dei modelli citati sopra. Questi metodi permettono di quantificare la distanza d'impatto, in questo caso l'obiettivo che si vuole perseguire è quello di conoscere la distanza a cui il picco di sovrappressione raggiunge il valore di 0.03 bar. Tale valore è il limite di soglia a cui si hanno lesioni reversibili, quindi sovrappressioni minori causano effetti lievi sulle persone.

Poiché l'applicazione del metodo del TNT è molto semplice e l'algoritmo del codice di simulazione [11], disponibile presso il laboratorio di Chimica Industriale ed Ingegneria dei Materiali dell'Università di Messina, è basato sulle equazioni (2) e (3), si è scelto di applicare questo modello nella fase di validazione della procedura.

L'utilizzo di entrambi i metodi richiede alcune informazioni per la stima delle conseguenze, i dati di input necessari sono la *portata di rilascio* della sostanza infiammabile Q (kg/s) e la *distanza di permanenza* della nube d_z (m). Per definire quest'ultimo parametro è necessario ricordare che dopo il rilascio la nube esiste per un certo tempo nell'area in questione e, in presenza di una sorgente d'innesco, può potenzialmente causare un'esplosione, quindi la distanza di permanenza indica la massima dimensione della nube di esplosivo.

Numero di persone coinvolte

Il numero di persone coinvolte, cioè il numero di individui presenti nell'area di danno, è calcolato tenendo conto della probabilità di presenza del personale nel luogo di lavoro. A tal proposito è necessario conoscere il tipo di attività svolta dai lavoratori (turnista, capoturno, manutentore, etc.). Il numero di lavoratori coinvolti può essere calcolato applicando la correlazione (4):

$$D = \left(\frac{A_i}{A_{imp}} \right) p_p \quad (4)$$

dove A_i – area d'impatto dell'esplosione, m²; A_{imp} – area dell'intero stabilimento, m²; probabilità di presenza di personale nello stabilimento.

Occorre ricordare che la zona di danno dello scenario incidentale è un cerchio il cui raggio è la distanza dal centro dell'esplosione. Il picco di sovrappressione all'interno di quest'area raggiungerà valori maggiori o uguali a 0.03 bar.

Valutazione del rischio

Il calcolo dell'indice di rischio ATEX è la fase più importante dell'intera procedura, in questo lavoro la valutazione del rischio è stata effettuata applicando l'equazione (1).

La stima del rischio ATEX non completa l'analisi del rischio, in quanto è necessario dare un giudizio sulla sua accettabilità. A tal proposito è stato proposto di fare riferimento ai valori di soglia usati nelle industrie a rischio d'incidente rilevante. Anche i Rapporti di Sicurezza di tali aziende analizzano i fenomeni esplosivi, tuttavia gli scenari incidentali considerati nel documento differiscono da quelli studiati nella valutazione del rischio ATEX.

Il tipo di esplosioni prese in considerazione nel Rapporto di Sicurezza sono originati da grandi portate di rilascio di sostanze infiammabili e, conseguentemente, impattano su aree estese. Per gli stabilimenti non a rischio d'incidente rilevante, le esplosioni hanno una zona di danno molto ridotta che coinvolge solo i lavoratori. Tuttavia, data l'analogia degli scenari e la possibilità di quantificare il rischio in entrambi i casi, è opportuno uniformare l'approccio di valutazione. Questo lavoro rappresenta un primo tentativo di perseguire tale obiettivo.

Come già accennato, al fine di adottare appropriate misure di prevenzione e protezione, il calcolo del rischio deve essere combinato con un giudizio sul livello di rischio che potrebbe far riferimento allo stesso criterio usato per la valutazione dell'accettabilità del rischio nelle industrie a rischio d'incidente rilevante. A tal proposito la normativa italiana consente di giudicare l'accettabilità del rischio sulla base dei valori di soglia di frequenze e conseguenze degli scenari incidentali riportati nel D.P.C.M. del 25 febbraio del 2005 [12].

Per quanto riguarda la valutazione del rischio ATEX, in questo lavoro è stato proposto di far riferimento al criterio di accettabilità adottato nel Regno Unito e descritto in [13] e [14]. Sulla base del criterio inglese i valori di soglia di rischio sono:

$R_{ae} < 10^{-6}$	il rischio è accettabile
$10^{-6} < R_{ae} < 10^{-4}$	è necessario ridurre il rischio quanto tecnicamente ed economicamente possibile
$R_{ae} > 10^{-4}$	il rischio non è accettabile

4.5 Definizione delle misure di prevenzione e protezione

L'approccio proposto permette di verificare anche gli effetti delle misure di prevenzione e protezione adottati per ridurre i livelli rischio negli ambienti di lavoro analizzati. La valutazione del rischio è realizzata sulla base di una conoscenza approfondita e dettagliata dei luoghi, delle attrezzature e dei processi di lavoro. I risultati della valutazione servono alla definizione delle misure di prevenzione e di protezione necessarie, alla verifica della loro efficacia e ad eventuali ulteriori miglioramenti. Per procedere secondo questo schema di analisi può essere utile la realizzazione di apposite check-list dinamiche, che si modificano e si implementano anche durante le stesse osservazioni sui luoghi, indispensabili per l'identificazione dei fattori di rischio negli ambienti di lavoro.

5.0 APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA A UN CASO REALE

La metodologia proposta nel presente lavoro è stata adottata per la valutazione del rischio ATEX in una raffineria di cui non si cita il nome per motivi di riservatezza.

L'azienda si estende su un'area di circa 400 ettari ed è costituita da quindici impianti di produzione, dieci impianti di servizi ausiliari, quattro impianti di "salvaguardia atmosfera", due di "salvaguardia dall'inquinamento idrico", gli impianti antincendio, una vasta area di movimentazione e le aree dedicate ai servizi generali (uffici, sala controllo, mensa, officine, laboratorio, ecc.). Per la valutazione dei rischi l'intero stabilimento è stato diviso in 27 blocchi per ognuno dei quali è stata condotta l'analisi e la determinazione del rischio e delle conseguenti misure di protezione necessarie.

I primi passi dello studio sono stati lo studio del ciclo di lavorazione e dei processi per ognuno degli impianti in cui è stato suddiviso lo stabilimento e la identificazione delle sostanze infiammabili e/o esplosive presenti. Il passo successivo è stata la ricerca delle possibili sorgenti di emissione (SE) e la determinazione della probabilità di formazione di un'atmosfera esplosiva. Il risultato di questa prima parte del lavoro è stata la definizione e la classificazione delle aree con rischio di esplosione che ha ristretto il campo di studio a quelle parti dello stabilimento realmente interessate da questa tipologia di rischio.

La fase successiva è stata la ricerca della presenza di *fonti di innesco* suscettibili di innescare un'atmosfera esplosiva. In seguito ai sopralluoghi e alle interviste con il personale della raffineria, è stato possibile escludere dalla valutazione alcune tipologie di sorgenti potenziali di accensione previste nella norma UNI EN 1127-1, in quanto non rientranti nella casistica degli impianti studiati. Sono state prese in considerazione, quindi, nove tipologie di sorgente di accensione potenziali:

1) superfici calde, 2) fiamme e gas caldi, 3) scintille di origine meccanica, 4) impianto elettrico, 5) protezione catodica, 6) elettricità statica (nelle strutture e nelle tubazioni), 7) fulmini, 8) sovratensioni per presenza di cumuli nubi, 9) cavi scaldanti. Per ogni SA potenziale la relativa probabilità di accensione efficace è stata presa da letteratura o calcolata sulla base di analisi storiche o con specifiche procedure.

Successivamente, per ogni impianto, e per ogni sorgente di emissione (SE) censita nello studio di classificazione delle aree a rischio di formazione di atmosfere esplosive sono stati calcolati gli effetti dell'eventuale esplosione dovuta alla presenza di almeno una sorgente di accensione (SA) efficace. Per questo sono stati presi in considerazione, per ogni SE, la portata in kg/s, la distanza di permanenza d_z e la sostanza rilasciata. Il calcolo dell'esplosione ha permesso di calcolare la distanza di impatto d_i e, quindi, l'area di impatto derivante dal possibile scenario incidentale.

La presenza del personale è stata calcolata tenendo conto di tre figure presenti, con differente frequenza, negli impianti della Raffineria: operai turnisti, manutentori e capi turno. E quindi si è determinata la probabilità di presenza sugli impianti e specificatamente nelle aree d'impatto potenziale.

Considerati i valori determinati per la probabilità di emissione e quelli di probabilità di presenza di sorgenti di accensione efficaci è stato calcolato il rischio connesso con la presenza di atmosfere esplosive relativamente ad ogni impianto studiato. I risultati hanno permesso di valutare l'accettabilità del rischio calcolato e, dove necessario, la programmazione di interventi di miglioramento atti a ridurre il rischio. Effettuati gli interventi di miglioramento è stato possibile ricalcolare il rischio e verificare l'efficacia delle misure adottate.

A titolo di esempio si riporta in Fig.2 il grafico relativo ad un impianto studiato, in cui si riporta per ogni sorgente di emissione considerata il valore di rischio esplosione calcolato. Ciò evidenzia come sia semplificata l'individuazione dei punti critici sui quali intervenire per la riduzione del rischio eventualmente fuori dai limiti di accertabilità.

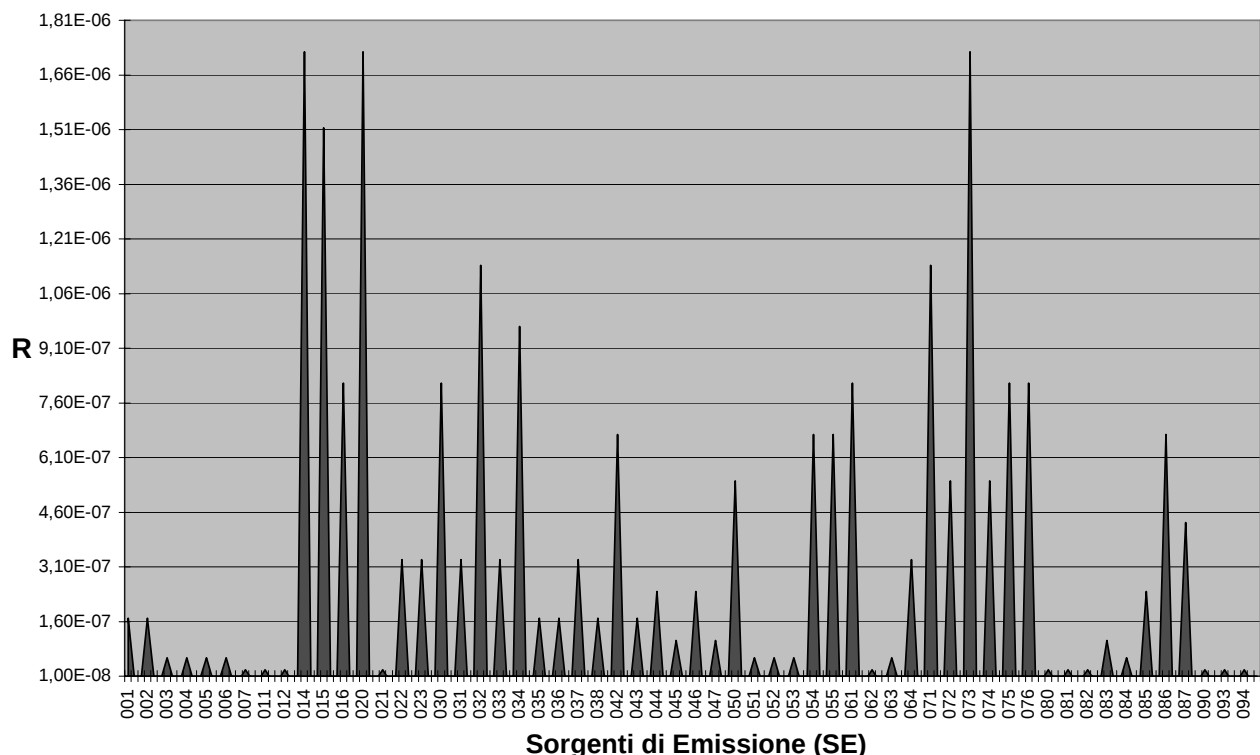


Figura 2. Valori di rischio ATEX per sorgente di emissione (SE) considerata.

6.0 CONCLUSIONI

La metodologia proposta permette di identificare i punti critici tecnici e procedurali presenti nel sistema in studio e, quindi, di ridurre per quanto sia possibile al minimo l'esposizione dei lavoratori.

L'approccio quantitativo consente di evitare sottostime nel calcolo dei rischi a cui sono soggetti i lavoratori, in quanto la valutazione permette di avere un livello di dettaglio maggiore e, conseguentemente, una migliore efficacia negli interventi di prevenzione e protezione adottati. È possibile, infatti, intervenire con misure di prevenzione e mitigazione del rischio riducendo, dove necessario, la probabilità di presenza di sorgenti di accensione efficaci con appositi interventi strutturali e/o procedurali; oppure agire direttamente sulla sorgente di emissione che dovesse dare valori di rischio atex non accettabili.

Nel corso dello studio è stato sviluppato uno strumento per il calcolo del *rischio atex* che consente di ripetere in maniera molto semplice le elaborazioni. L'utilizzo di tale strumento richiede solo l'inserimento degli input per calcolo da parte dell'utente, pertanto il suo impiego consente verifiche molto veloci di eventuali modifiche migliorative.

Infine, l'analisi quantitativa consente di studiare più approfonditamente gli scenari incidentali originati da piccoli rilasci e che possono dare luogo ad effetti domino causando incidenti rilevanti.

RIFERIMENTI

- [1] Council Directive 89/391/EEC on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work, 1989.
- [2] Directive 99/92/EEC concerning the minimum requirements for improving the safety and health protection for workers potentially at risk from explosive atmospheres, 1999.
- [3] Council Directive 94/9/EEC concerning Equipment and Protective Systems intended for use in potentially explosive atmospheres, 1994.
- [4] Decreto Legislativo 233/03 “Regolamento recante norme per l'attuazione della direttiva 99/92/CE relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive”, 2003.
- [5] DPR 126 del 23 marzo 1998 “Regolamento recante norme per l'attuazione della direttiva 94/9/CE in materia di apparecchi e sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva”, 1998.
- [6] Decreto Legislativo 626/94 riguardante il miglioramento della salute e sicurezza dei lavoratori durante il lavoro, 1994.
- [7] Benintendi, R., Dolcetti G., Grimaz Stefano, Iorio C.S., A comprehensive approach to modelling explosion phenomena within ATEX 1999/92/CE directive, Chemical Engineering Transactions, proceeding of 2nd International Conference on Safety & Environment in Process Industry CISAP2, 2006, pp. 403-408.
- [8] Pezzo, T., Vannucci, D. & Uguccioni, G., Semiquantitative Analysis for Assessment of Explosion Risk for Workers - Application of the Requirements of the ATEX Directive, Chemical Engineering Transactions, proceeding of 2nd International Conference on Safety & Environment in Process Industry CISAP2, 2006, pp. 391-396.
- [9] Lees, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, 1996, London.
- [10] Committee for the Prevention of Disaster, TNO "Yellow Book" - Methods for the calculation of physical effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases), 1997, The Hague.
- [11] Chems Plus v.2 Manual, 1991.
- [12] D.P.C.M. 25 febbraio 2005 recante le “Linee Guida per la predisposizione del piano d'emergenza esterna di cui all'articolo 20, comma 4, del decreto legislativo 17 agosto 1999, n. 334”, 2005.
- [13] ESCIS, Introduction to Risk Analysis, Approaches and Methods, Booklet 4, 1998.
- [14] LUPACS, Methodology & Case Studies, 1999.