

UTILIZZO DI LAME D'ACQUA COME DISPOSITIVO DI ABBATTIMENTO DI VAPORI TOSSICI: APPLICAZIONE AD UN CASO CONCRETO DI STOCCAGGIO DI AMMONIACA

Roberto Sportiello, SYRECO – Gavirate (VA) – Italy (*)
Vittorio Jelmini, SYRECO – Gavirate (VA) – Italy (*)
Fausto Zani, SYRECO – Gavirate (VA) – Italy (*)
Maurizio Colombo, BEMBERG – Gozzano (NO) – Italy ()**
Gian Carlo Cavallari, BEMBERG – Gozzano (NO) – Italy ()**

- (*) SYRECO S.r.l - Via al Lido, 5 – 21026 GAVIRATE (VA) Italia
Tel. 0332/730273, Fax 0332/730280, e-mail: fzani@syreco.it, rsportiello@syreco.it
(**) BEMBERG S.p.A. - Via Beltrami, 66 – 28024 – GOZZANO (NO) Italia
Tel. 0322/914211, Fax 0322/93939, e-mail: colombo@bembergitalia.com, cav@bembergitalia.com

SOMMARIO

È pratica ormai consolidata l'utilizzo di lame d'acqua come dispositivo antincendio a protezione di talune aree critiche di impianto in caso di incendi in installazioni limitrofe (con funzione, ad esempio, di mitigazione delle radiazioni termiche incidenti). Prendendo spunto da una serie di studi e finalizzandoli ad un problema reale, si è pensato di sfruttare le lame d'acqua anche per un altro scopo: l'abbattimento di vapori tossici in seguito a rilascio per evento incidentale (distacco di manichetta in fase di carico/scarico, rilascio da serbatoi di stoccaggio, etc.) in un caso concreto, per conseguire l'obiettivo di ridurre le aree di impatto in seguito a rilascio di ammoniaca anidra nell'ambito dello stabilimento Bemberg di Gozzano (NO). A seguito di uno studio di fattibilità tecnologica e con l'ausilio di simulazioni numeriche mediante la applicazione di modelli matematici di valutazione sviluppati in ambito UE-CCR Ispra [2], sono state identificate le possibili soluzioni per mitigare gli effetti di un rilascio di ammoniaca in fase di scarico da ferrocisterna o in caso di rilascio dal serbatoio di stoccaggio. La migliore soluzione, da un'analisi costi-benefici, è apparsa l'introduzione di un sistema di lame d'acqua a protezione di entrambe le tipologie di evento incidentale, combinato con misure di contenimento e di ricoprimento con schiuma. Infatti, una serie di fenomeni propri del sistema a lame d'acqua, i più importanti dei quali sono rappresentati dalla solubilità dell'ammoniaca in acqua e dal grande "entrainment" (trascinamento) d'aria legato alle ingenti portate in gioco, portano ad una sensibile diminuzione delle quantità di ammoniaca disperse nell'ambiente, riducendo notevolmente le aree interessate da concentrazioni pericolose per la salute (LC₅₀, IDLH, LoC) e fornendo degli elementi concreti per l'intervento di emergenza. Nel caso specifico, si riescono a contenere abbondantemente all'interno dello stabilimento le zone interessate dalle soglie di concentrazione previste dalle Linee guida per la pianificazione di emergenza esterna per impianti industriali a rischio di incidente rilevante emesse dal Dipartimento della Protezione Civile nel gennaio 1994.

1. INTRODUZIONE

Poiché l'uso di lame d'acqua come strumento di mitigazione degli eventi incidentali connessi al rilascio di sostanze tossiche e/o infiammabili, con conseguente assorbimento e diluizione dei vapori, appare sempre più una delle soluzioni ottimali per ridurre le aree di impatto esterne in caso di rilascio accidentale e per evitare di raggiungere concentrazioni pericolose in aree interessate da presenza di insediamenti civili o recettori sensibili, gli studi riguardanti la loro modellizzazione, i criteri di dimensionamento ed i presupposti teorico-sperimentali che stanno dietro tali criteri si stanno moltiplicando.

Tipologie differenti di barriere idriche (spray d'acqua, cortine d'acqua, cortine di vapor d'acqua, con getto diretto verso il basso o verso l'alto) e differenti approcci di studio delle cortine (di tipo fisico o di tipo chimico) portano a criteri di dimensionamento che puntano ora sulla eliminazione dei vapori della sostanza rilasciata per assorbimento dalle cortine, ora sulla proprietà di diluizione per effetto del grande richiamo d'aria ("entrainment") causato dalle ingenti portate d'acqua in gioco, ora ancora al contributo dato dall'alta temperatura delle barriere sui vapori che diffondono.

La commistione di due o più delle proprietà studiate può garantire un miglioramento dell'efficienza di abbattimento delle barriere d'acqua. A tal proposito, date anche le caratteristiche di miscibilità in acqua della sostanza oggetto del presente caso (ammoniaca), è apparso molto utile lo studio condotto da G. Drogari e pubblicato dal Centro Comune di Ricerca di Ispra (VA) per la modellazione di tale fenomeno [2]. Da tale studio si evince che l'efficienza della cortina è legata, da una relazione sperimentale, alla portata d'acqua erogata al secondo e al metro lineare, mentre la concentrazione dell'inquinante a valle delle barriere d'acqua

viene ricavata da una correlazione teorica che tiene conto sia del richiamo d'aria, sia dell'assorbimento dell'inquinante in acqua. In particolare, per l'ammoniaca è atteso un abbattimento pari all'80% in caso di portata d'acqua, tale da garantire un rapporto massa acqua/massa vapori superiore a 70 e concentrazioni di ammoniaca nella nube non inferiori al 2%.

2. PROBLEMA

Bemberg gestisce dal 1925 in Gozzano (NO) uno Stabilimento, che ormai si può definire “storico” per il suo radicamento nel contesto sociale, nel quale produce filati di vario genere. All'interno di tale Stabilimento ed in un impianto destinato alla produzione di un filo cellulosico denominato CUPRO, di origine naturale perché derivato dal cotone, è presente ammoniaca anidra in stoccaggio, poi diluita a concentrazioni inferiori al 25% ed utilizzata in impianto. L'ammoniaca è conferita in Stabilimento tramite ferrocisterne e scaricata nel serbatoio di stoccaggio T1 (fuoriterza, cilindrico, orizzontale, in proprio bacino di contenimento) da 100 m³ geometrici. La Direzione Aziendale, per rispondere ad una prescrizione dell'Unità flessibile del Servizio Ambiente della Regione Piemonte in merito alla necessità di dotare l'area di scarico e stoccaggio ammoniaca di un sistema di raffreddamento/diluizione vapori dimensionato in relazione al massimo incidente credibile, ha incaricato Syreco S.r.l. di individuare una possibile e praticabile soluzione e di produrre uno studio di fattibilità per il dimensionamento di tale sistema ed evidenziasse i benefici apportati dalla nuova installazione sugli scenari incidentali credibili per lo stoccaggio e lo scarico dell'ammoniaca anidra, basato sui criteri perseguibili di ottimizzazione degli investimenti.

3. CORTINE D'ACQUA – I MODELLI

Lo studio, date le caratteristiche della sostanza in gioco e la tipologia incidentale considerata, si è rivolto verso la possibilità di mitigare gli effetti di un eventuale sversamento di ammoniaca nel bacino di contenimento del serbatoio T1 o in seguito a rilascio da ferrocisterna in fase di trasferimento, utilizzando delle barriere con lame d'acqua. Questi dispositivi permettono di abbattere i vapori sviluppati per flash o per evaporazione di pozza sfruttando il grande richiamo d'aria dato dalle grandi portate d'acqua in gioco e, per sostanze miscibili in acqua (ammoniaca, cloro, etc.), anche l'assorbimento dei vapori stessi.

Molti studi hanno affrontato il problema del dimensionamento delle cortine d'acqua dal punto di vista esclusivamente fisico, basandosi sulla verifica del ruolo dell' “entrainment” d'aria nell'abbattimento dei vapori e nella modifica delle concentrazioni delle sostanze infiammabili e/o tossiche a valle delle cortine. Tra questi modelli si citano: il modello semi-empirico di K. Moodie [3], il modello semplificato di Moore e Rees [4], il modello di McQuaid [5], le modellazioni e gli studi condotti presso il Von Karman Institute [6]. Tali modelli sono adatti a simulare il contenimento e l'abbattimento di vapori di sostanze difficilmente o per nulla miscibili in acqua (ad esempio, GPL), per i quali il trascinamento d'aria è preponderante rispetto ad altri fattori.

È apparso opportuno, per il nostro caso, considerare anche il contributo dato alla diluizione dalla grossa affinità dell'ammoniaca per l'acqua; sono stati verificati quindi gli studi che hanno scelto un approccio di tipo chimico. Tra questi, si ricordano il modello di assorbimento secondo Fthenakis [7] e il modello che ha portato allo sviluppo, presso il Centro Comune di Ricerca di Ispra, del programma Watcur [2] per la stima dell'efficienza delle cortine d'acqua nella mitigazione dei rilasci di gas pesanti. Quest'ultimo è stato il modello adottato per dimensionare le lame d'acqua da installare a protezione della zona di scarico e stoccaggio di ammoniaca anidra e che si andrà adesso brevemente a descrivere.

Il modello identifica come parametro fondamentale per determinare l'efficacia delle barriere d'acqua la portata d'acqua emessa dalle barriere idriche. I due contributi più importanti (l'assorbimento del vapore e la diluizione) dipendono direttamente dalla portata d'acqua. In base a prove sperimentali, si è valutato un assorbimento superiore al 90% di acido fluoridrico in caso di rapporto tra portata d'acqua e portata di acido fluoridrico evaporante superiore a 40. Si è inoltre notato che l'assorbimento aumenta con l'aumentare della concentrazione dell'inquinante: un rapporto tra portata d'acqua e portata di acido cloridrico superiore a 40 consente un abbattimento superiore al 90% dell'inquinante, se la concentrazione dello stesso risulta superiore all'1% in volume, mentre un rapporto tra portata d'acqua e portata d'ammoniaca pari a 70 permette di abbattere le concentrazioni di inquinante dell'80% nel caso in cui la concentrazione di ammoniaca risulti superiore al 2% in volume. In generale, viene raccomandato un rapporto tra portata di acqua e portata di inquinante compreso tra 40 e 60. Il ruolo dell'assorbimento viene considerato introducendo, come si vedrà tra breve, dei coefficienti correttivi all'espressione usata per ricavare la concentrazione a valle delle cortine d'acqua. L'efficienza della cortina d'acqua in termini di diluizione diminuisce però con l'aumentare della portata d'acqua, il che giustifica la esigenza di un dimensionamento corretto e non necessariamente cautelativo in un'ottica decisionale costi-benefici; comunque, anche se solo la metà dell'aria trascinata contribuisce alla diluizione dell'inquinante, l'efficienza sembra aumentare con l'aumento della portata,

specialmente se accompagnata dall'assorbimento. L'effetto di diluizione delle cortine d'acqua riduce i valori di concentrazioni nella zona immediatamente più prossima al rilascio. La riduzione di concentrazione dovuta alla diluizione diventa pressoché nulla a distanze dell'ordine del kilometro.

La concentrazione della nube di gas, assunta uniforme durante la fase di dispersione dominata dalla gravità, è data dalla formula:

$$c = \frac{M_g}{V_g + V_a} \quad (1)$$

ove c verrà reso in kg/m³ qualora M_g venga introdotto in kg/s e V_g e V_a in m³/s.

Per l'effetto della diluizione delle cortine d'acqua, Hartwig [8] propone l'equazione:

$$y_g = \frac{V_s}{V_s + 0.5V_{ca}} \quad (2)$$

Il trascinamento ("entrainment") d'aria addizionale dovuto alle cortine d'acqua può essere determinato dall'efficienza della cortina d'acqua e dalla portata d'acqua adottata. Per applicazioni pratiche, Hartwig propone un valore di efficienza tipica pari a 10 m³ aria/s ogni litro di acqua/s. Il coefficiente 0.5 è introdotto per tener conto del fatto che il trascinamento dell'aria, senza tenere in considerazione la nube di gas, è provocato da entrambi i lati della lama d'acqua, mentre, in presenza della nube di gas, questa è efficace soltanto da uno dei due lati della lama d'acqua, quello sottovento, mentre l'aria trascinata dalla parte sottovento della barriera idrica non ha effetto sensibile.

Poiché nella fase di dispersione dominata dalla gravità si ha che V_s=V_g+V_a, unendo la (1) e la (2) si ottiene un'espressione che esprime la concentrazione del gas sottovento una cortina d'acqua posizionata sufficientemente vicina al punto di rilascio:

$$c = \frac{M_g}{V_g + V_a + 0.5V_{ca}} \quad (3)$$

Sensibilmente vicino al rilascio, i valori di V_{ca} non sono trascurabili rispetto a V_a, mentre diventano poco significativi a distanze crescenti, in quanto V_a aumenta con la distanza. Per questa ragione, la riduzione di concentrazione dovuta alla diluizione diventa trascurabile a distanze sufficientemente elevate.

È possibile tener conto, ancora, nella (3), dell'assorbimento, ed arrivare all'espressione finale:

$$c = \frac{M_g (1-r)}{V_g (1-r) + V_a + 0.5V_{ca}} \quad (4)$$

Non viene approfonditamente studiato, nel modello Watcur, il contributo dato dal riscaldamento del gas a spese dell'ambiente circostante, il che può avere anche un effetto negativo, contribuendo alla evaporazione del prodotto liquido rilasciato, tipo di rilasci di gas, mantenuti liquidi sotto pressione o criogenici.

L'efficacia di diluizione di una cortina d'acqua può essere stimata mediante la formula empirica:

$$\ln Y = A + \frac{A_1}{M_l} + A_2 \ln M_l \quad (5)$$

Con A, A₁ e A₂ si indicano dei coefficienti empirici, pari rispettivamente a 2÷2.8, -0.05 e -0.6 in caso di lama d'acqua piana con ugelli distanziati di circa 3 metri, con pressione di 10 bar e angolo della lama pari a 30°. L'efficienza attesa Y viene resa in m³ di aria/s per litro di acqua/s, ove M_l venga dato in litri di acqua/m/s.

4. SCENARIO INCIDENTALE

Nel caso in esame, si è individuato, come scenario incidentale massimo credibile, una perdita da una delle linee di fondo del serbatoio di stoccaggio T1 (diametro: 2"), esercito ad una pressione di circa 850 kPa. Non si è tenuto conto, in quanto poco credibile (il serbatoio è posto all'interno di un bacino di contenimento, con

l'impossibilità quindi che l'interferenza di mezzi in movimento possa causare il tranciamento della linea), di una rottura totale della linea, ma è stata ipotizzata una perdita da una flangia con diametro equivalente del foro di uscita pari al 20% del diametro della linea. La portata di rilascio di ammoniaca da tale foro è stata calcolata con [1] pari a 1.553 kg/s e causa un flash con vaporizzazione istantanea immediatamente all'uscita (portata di ammoniaca che evapora istantaneamente per flash: 0.263 kg/s), mentre una parte che forma aerosol (circa 0.693 kg/s) e il resto dà origine alla formazione di una pozza evaporante all'interno del bacino di contenimento, la quale, evaporando, dà un proprio contributo alla formazione ed alimentazione della nube di vapori tossici per la diffusione e dispersione atmosferica. La portata evaporante dalla pozza varia tra 0.012 e 0.038 kg/s, per diventare pressoché costante dopo circa 3 minuti e pari a 0.02 kg/s. È stato ipotizzato, in base alle caratteristiche dei dispositivi di rilevazione dei gas pericolosi e di intercettazione delle perdite, un tempo di intervento di 1 minuto ed un tempo di mitigazione dell'evento pari a 5 minuti.

Con questo scenario incidentale, si ricavano, sempre utilizzando la suite di calcolo [1], per condizioni meteorologiche estremamente penalizzanti per la diffusione (classe di stabilità secondo Pasquill: F, velocità del vento: 2 m/s), le zone di danno per la Pianificazione delle emergenze in corrispondenza ai valori di soglia di cui alle Linee guida del Dipartimento della Protezione Civile [9] che sono riportate nelle seguenti figure: in giallo la 3^a zona di danno corrispondente alla soglia di attenzione LoC (30 ppm), in rosso la 2^a zona di danno corrispondente all'IDLH (300 ppm), in verde la 1^a zona di danno corrispondente al LC₅₀ (6840 ppm). Nella figura 1 viene riportata la situazione nella quale ci si trova dopo 30 minuti, tempo trascorso il quale la dispersione fa sì che tale soglia massima non venga più raggiunta.

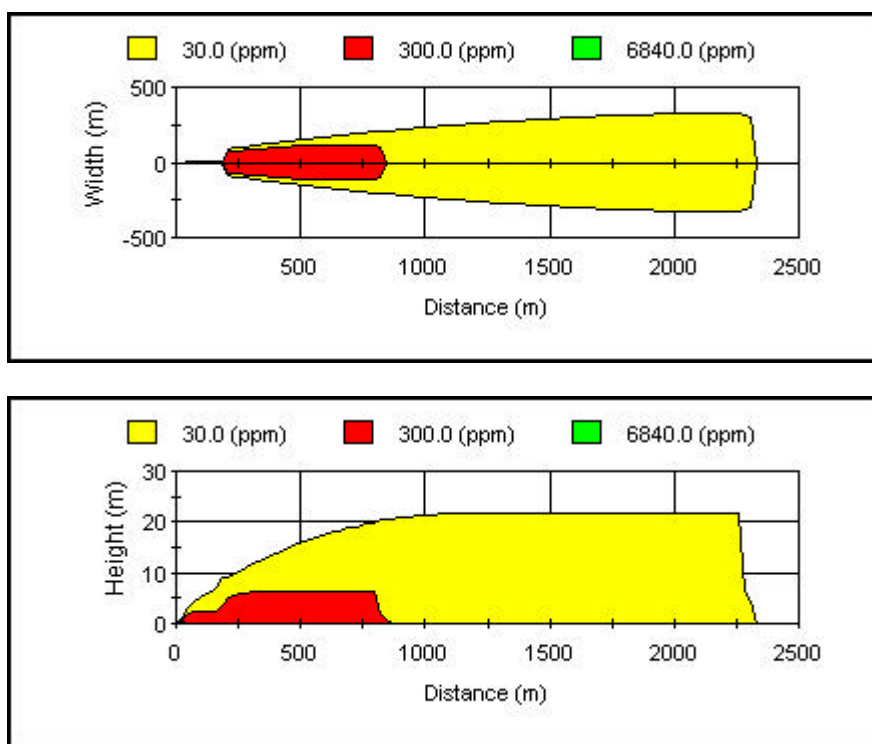


Figura 1: Concentrazioni di Ammoniaca ad 1.7 m di altezza e spaccato lungo il piano Z in direzione del vento dopo circa 30 minuti dall'inizio del rilascio.

Si nota che l'area interessata dalla 2^a zona di danno per la pianificazione delle emergenze è pari a circa 180000 m² (circa 750 m sottovento), mentre l'area interessata dalla 3^a zona di danno per la pianificazione delle emergenze è pari a circa 700000 m² (2500 m sottovento).

Appare quindi indispensabile pensare a dispositivi di mitigazione delle conseguenze per ridurre le distanze raggiunte da concentrazioni potenzialmente pericolose e, soprattutto, per diminuire drasticamente le aree interessate.

5. INTERVENTI DI MITIGAZIONE

Considerata l'elevata area interessata dalla diffusione di ammoniaca in seguito a rilascio da serbatoio di stoccaggio, si è cercato di porre rimedio alla situazione pensando a varie soluzioni alternative. La più importante è senz'altro l'adozione di un sistema di abbattimento dei vapori a lame d'acqua. Tale sistema è stato dimensionato seguendo il modello "Watcur" [2] presentato nel paragrafo 3 precedente. In base alle portate di ammoniaca in gioco, sono state calcolate le portate di acqua necessarie per il suo abbattimento. Poiché la portata evaporante totale è pari a 0.28-0.29 kg/s, la portata di acqua minima per garantire l'abbattimento dell'80% dell'ammoniaca rilasciata dovrà essere pari a circa 75 m³/h. Tale portata minima deve però essere distribuita sul perimetro del bacino del serbatoio, dove si è scelto di posizionare le lame d'acqua (superficie: 100 m², perimetro: 50 m), il più possibile a ridosso del rilascio ipotizzato; occorre garantire quindi, ancora, come suggerito da [2], una portata specifica d'acqua tale da garantire la continuità delle lame. Si è valutata ottimale una portata specifica di 1.5 litri di acqua/s/m, per cui la portata d'acqua alle lame risulta pari a 270 m³/h. Il dimensionamento delle lame d'acqua, in queste condizioni, avrebbe portato a mitigare gli effetti della diffusione e l'entità delle aree interessate come riportato nella figura 2 seguente.

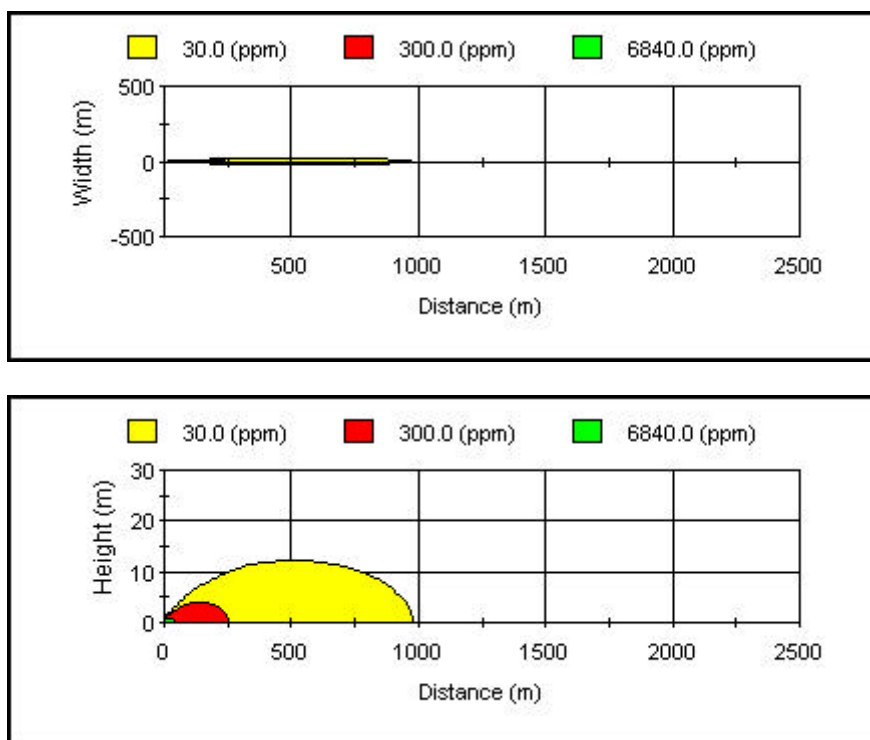


Figura 2: Concentrazioni di Ammoniaca ad 1.7 m di altezza e spaccato lungo il piano Z in direzione del vento dopo circa 8 minuti dall'inizio del rilascio con l'utilizzo di lame d'acqua perimetrali (1.5 l/min/mq).

Confrontando le due figure, salta subito all'occhio la sensibile diminuzione delle aree interessate da concentrazioni potenzialmente pericolose. Con la installazione delle lame d'acqua, infatti, l'area interessata dalla 2^a zona di danno per la pianificazione delle emergenze si è ridotta a circa 2000 m² (250 m sottovento) come si può meglio apprezzare dalla figura 3, dove vengono riportate, su scala più ampia, le concentrazioni di ammoniaca già riportate in figura 2, mentre l'area interessata dalla 3^a zona di danno per la pianificazione delle emergenze si è ridotta a circa 37000 m² (meno di 1000 m sottovento).

In una seconda fase di sviluppo dello studio di fattibilità del progetto, si è scelto di agevolare l'effetto di mitigazione delle lame d'acqua, limitando al minimo le portate d'acqua e quindi contenendo il dimensionamento ed i costi del gruppo di pompaggio, con il ricorso ad ulteriori interventi tecnici di minor costo, quali: la creazione di "tamponature" laterali al bacino di contenimento e di una tettoia, in modo da dar modo alla nube di gas di poter uscire soltanto dai due lati corti del bacino sui quali installare le lame d'acqua. In tal modo, viene ridotta l'entità dell'installazione necessari alle lame d'acqua (solo due linee da 5 metri ciascuna alle due estremità, con la riduzione ad 1/5 degli ugellie quindi della portata d'acqua complessiva). E' stata inoltre proposta l'installazione di ugelli nebulizzatori sotto la tettoia, per mitigare gli effetti di un "piccolo rilascio" e di un gruppo schiuma per consentire la copertura del bacino di contenimento con schiuma

a media espansione al fine di limitare la portata evaporante al solo flash prevenendo la evaporazione dalla pozza.

In questo modo, la portata di vapori di ammoniaca da considerare si riduce, per cui le nuove zone di impatto sono quelle riportate nella seguente figura 4.

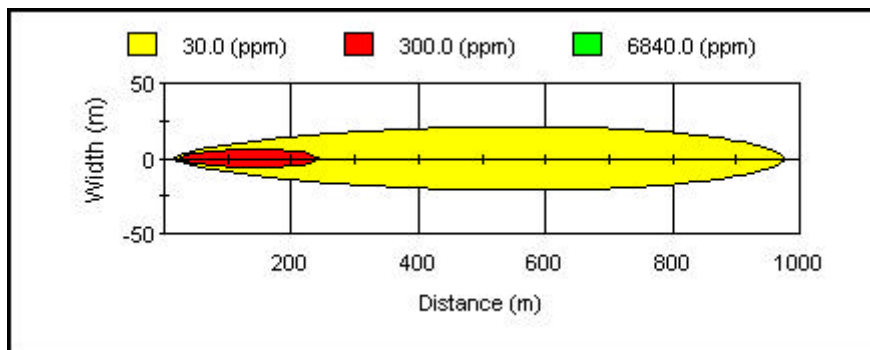


Figura 3: Concentrazioni di Ammoniaca ad 1.7 m di altezza dopo circa 8 minuti dall'inizio del rilascio con l'utilizzo di lame d'acqua perimetrali (1.5 l/min/m^2) (scala particolareggiata).

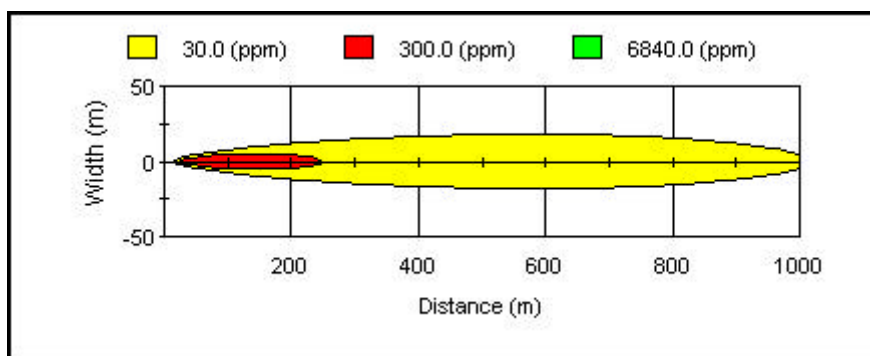


Figura 4: Concentrazioni di Ammoniaca ad 1.7 m di altezza dopo circa 8 minuti dall'inizio del rilascio con l'utilizzo di lame d'acqua frontali, tamponamenti laterali e copertura con schiuma (scala particolareggiata)

Dalla figura 4 si nota una ulteriore, lieve diminuzione dell'area interessata dalla 2^a zona, ma soprattutto è importante notare che l'evoluzione temporale della nube, diminuendo la durata dell'evento incidentale, assumendo pari ad 1 minuto il tempo di intervento per bloccare la perdita con valvole di sezionamento a comando remotizzato e/o asservite a sensori e 5 minuti quello ipotizzato per ricoprire con schiuma e/o allontanare l'ammoniaca presente all'interno del bacino di contenimento.

Nelle figure 5 e 6 è riportata la dinamica dell'andamento nel tempo della nube, osservandone gli effettivi spostamenti, e non le aree interessate da un suo passaggio, confrontando il caso di lame d'acqua totali e lame d'acqua parziali con ricoprimento con schiuma e tamponamento laterale.

Sarebbe possibile, analizzando le figure appena citate, aggiungere delle ulteriori considerazioni a proposito della probabilità di danno alla popolazione in termini di vulnerabilità (funzione di Probit), ma questo esula dagli scopi della presente esposizione.

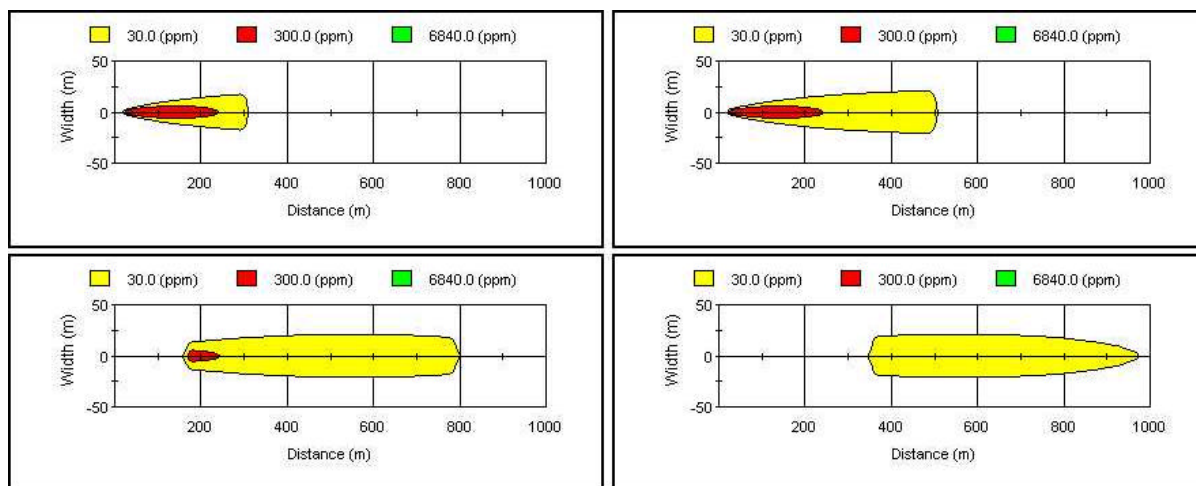


Figura 5: Evoluzione della nube di vapori di ammoniaca (concentrazioni a 1.7 m di altezza) nel tempo, dopo 2, 4, 6 e 8 minuti dal rilascio, con l'utilizzo di lame d'acqua perimetrali totali.

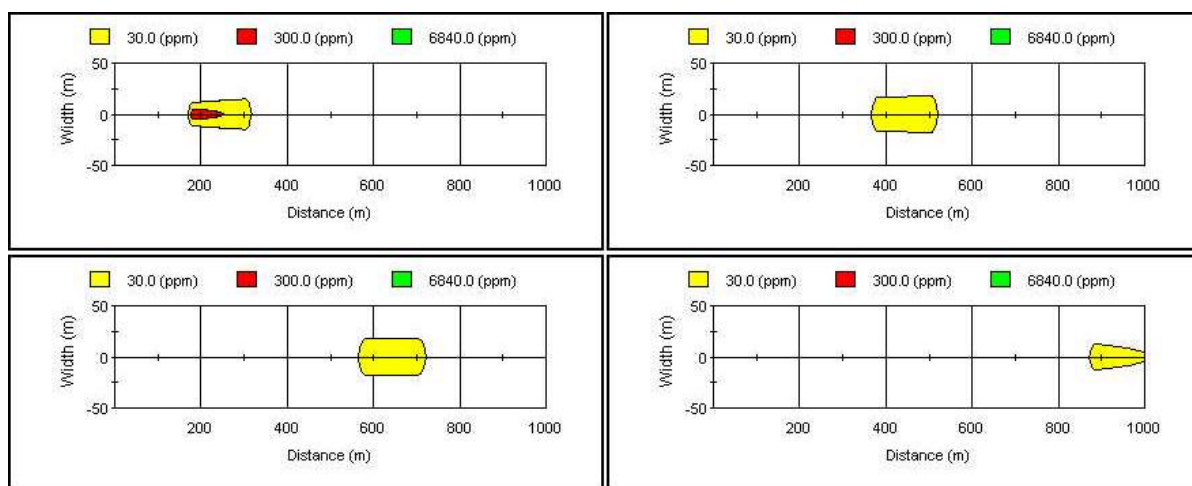


Figura 6: Evoluzione della nube di ammoniaca (concentrazioni a 1.7 m di altezza) nel tempo dopo 2, 4, 6 e 8 minuti dal rilascio, con l'utilizzo di lame d'acqua parziali, tamponamenti laterali e copertura con schiuma del bacino.

6. SCELTA DELLA SOLUZIONE OTTIMALE

In definitiva, gli interventi ottimali proposti a protezione di un eventuale sversamento di ammoniaca dal serbatoio di stoccaggio T1 si concretizzano in:

- Installazione di sistema di abbattimento dei vapori mediante "lame d'acqua" poste solo sui lati più corti, costituite da: 2 linee da 5", con ugelli da 1/2" con angolo di spruzzo di 101° circa e densità di scarica 1.5 l/s/m lineare.
- Tamponature laterali e tettoia di copertura leggera in lamiera metallica per contenere ed indirizzare solo verso le aperture sui lati più corti dei vapori di ammoniaca che dovessero svilupparsi a seguito di un rilascio, senza con ciò pregiudicare la buona aerazione del bacino stesso.
- Premiscelatore con impianto con versatori schiuma a media espansione per inibire l'evaporazione dalla pozza liquida che si formerebbe nel bacino di contenimento.
- Installazione di ugelli nebulizzatori al di sotto della copertura per abbattere i vapori sviluppati da piccoli sversamenti (allorché non è consigliato impiegare l'impianto schiuma, in quanto non è attesa la formazione di una pozza liquida di dimensioni rilevanti).
- Sensori di fughe di ammoniaca con allarme rimandato a sala controllo permanentemente presidiata.
- Installazione di valvole di intercettazione remotizzate con pulsanti di chiusura valvole posizionati in più punti.

Uno studio simile è stato condotto anche per la zona di scarico ferrocisterne, ed ha portato ad una riduzione delle aree di impatto in caso di evento incidentale con efficacia simile a quanto appena descritto per il caso del serbatoio di stoccaggio.

7. CONCLUSIONI

Si ritiene che il sistema di abbattimento di vapori tossici tramite l'utilizzo di lame d'acqua, se combinato con soluzioni di tamponamento e di ricopertura con schiuma della pozza liquida evaporante, possa costituire la soluzione ottimale, in un bilancio costi-benefici, per aree di stoccaggio e scarico di ammoniaca anidra, consentendo di ridurre di almeno un fattore 3 le aree di impatto corrispondenti alle zone di pianificazione delle emergenze in caso di rilascio in fase liquida dal serbatoio o dalle tubazioni di trasferimento, ma soprattutto il tempo di permanenza della nube in concentrazioni pericolose nel suo spostamento ed evoluzione dinamica e quindi la probabilità di danno alle persone esposte.

Tale soluzione può risultare utile ed applicabile in altre tipologie di rilascio, ed in particolare nel caso di sostanze tossiche la cui solubilità in acqua risulti decisamente marcata (come ammoniaca, cloro, acido fluoridrico, anidride solforosa, etc.), così da rendere sufficientemente rilevante non solo l'"entrainment" d'aria, ma anche l'assorbimento dei vapori della sostanza tossica in acqua per affinità chimica.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia cordialmente il Direttore di Stabilimento di Bemberg S.p.A. di Gozzano (NO) Dr. Cesare Cassio, per aver consentito la pubblicazione del presente studio e per la disponibilità sempre dimostrata durante lo studio con la costruttiva partecipazione dello staff tecnico aziendale nella fase di definizione e progettazione finale.

ELENCO DEI SIMBOLI

A	Coefficiente empirico
A_1	Coefficiente empirico
A_2	Coefficiente empirico
c	Concentrazione in peso del gas nella nube
d_g	Densità del gas inquinante
M_g	Portata massica del gas inquinante
M_l	Portata specifica di acqua
r	Efficienza di assorbimento della cortina
V_a	Portata dell'entrainment d'aria nella nube dovuto alla dispersione dell'inquinante
V_{ca}	Entrainment d'aria addizionale dovuto dalla cortina d'acqua
V_g	Portata volumica del gas inquinante (M_g/d_g)
V_s	Portata volumica della nube
Y	Efficacia di diluizione della lama d'acqua
y_g	Concentrazione molare del gas

BIBLIOGRAFIA

- [1] SAFER System LLC – TRACE Ver. 8.2 – 1998
- [2] G. Drogaris – “WATCUR Programme for Estimating Water Curtain Efficiency in Mitigating Heavy Gas Releases” – Institute for Systems Engineering and Informing – JRC Ispra (VA) – CDCIR Ref. No.: 11-EAS-II.3
- [3] K. Moodie – “An Experimental Assessment of Water Spray Barriers for Dispersing Clouds of Heavy Gases” – Institution of Chemical Engineers. Memoria presentata al simposio “Heavy Gas Releases – Dispersion and Control” – Utrecht, maggio 1994
- [4] P.A.C. Moore, W.D. Rees – “Forced Dispersion of Gases by Water and Steam” – North Western Branch Papers n. 5, 1981
- [5] J. McQuaid – “The Design of Water-Spray Barriers for Chemical Plants” – atti da: 2nd International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Heidelberg, settembre 1997
- [6] J.M. Buchlin – “Aerodynamic behaviour of liquid spray – design method of liquid spray curtains – part III” – VKI – Test Report, febbraio 1980
- [7] V.M. Fthenakis – “The feasibility of controlling unconfined releases of toxic gases by liquid spraying” – Chem. Eng. Commun., 83 1989
- [8] S. Hartwig, G. Klumpe – “Ausbreitung schwerer Gase in dicht bebauten Industriegelände” – Staub-Reinhaltung der Luft, 51 1991
- [9] Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile – “Pianificazione di Emergenza Esterna per Impianti Industriali a Rischio di Incidente Rilevante” – Linee Guida – Gennaio 1994