

ANALISI DEI PARAMETRI SIGNIFICATIVI PER LA VALUTAZIONE DEL RILASCIO DI SOSTANZE TOSSICHE TRASPORTABILI IN CONDOTTA

**Gagliardi, R.V., Citro L. e Manigrasso M.
DIPIA, ISPESL, Via Urbana 167, Roma, 00184, Italia**

SOMMARIO

Per valutare l'impatto sull'uomo e sull'ambiente degli incidenti rilevanti associati al trasporto in condotta di sostanze tossiche è necessario stimare le conseguenze di un potenziale rilascio in termini di area di danno, definita come l'area in cui la concentrazione di sostanza tossica rilasciata supera un predeterminato valore di soglia ed induce effetti nocivi sulla popolazione e sull'ambiente. L'estensione dell'area di danno dipende da una molteplicità di fattori, relativi alle caratteristiche chimico-fisiche delle sostanze rilasciate, alle condizioni di esercizio, alle modalità del rilascio ed alle condizioni esterne in cui la sostanza si disperde. Il lavoro presenta dunque le prime risultanze di uno studio dedicato alla determinazione dei parametri più significativi per la valutazione delle conseguenze associate al rilascio di sostanze tossiche da condotte e propone alcune valutazioni qualitative in merito all'utilizzo dei diversi valori di soglia utilizzati per i calcoli. I risultati ottenuti possono fornire elementi di valutazione a supporto di una più efficace gestione della sicurezza associata al trasporto in condotta di sostanze pericolose e della individuazione di soluzioni non penalizzanti per questa tipologia di trasporto fondamentale per molte attività produttive.

1. INTRODUZIONE

La presenza sul territorio di condotte adibite al trasporto di sostanze pericolose (infiammabili, esplosive e/o tossiche) può determinare l'insorgenza del rischio di incidente rilevante, così come definito nella Direttiva Europea 96/82/CE "Seveso II"[1]. Infatti, benché il trasporto in condotta di sostanze pericolose possa essere considerato una delle modalità di trasporto più sicure ed economicamente convenienti per movimentare ingenti quantitativi di prodotti anche a grandi distanze, esso risulta potenzialmente in grado di determinare incidenti rilevanti di gravità comparabile a quelli associati agli impianti fissi, come dimostra l'analisi storica degli incidenti verificatisi nel settore [2]. Tale analisi evidenzia, tra l'altro, la duplicità dell'interazione tra condotte adibite al trasporto di sostanze pericolose ed il territorio attraversato: da una parte, infatti, un evento incidentale associato alle condotte può interessare il territorio circostante con conseguenze anche gravi per l'uomo e per l'ambiente, dall'altra, è la stessa presenza umana a determinare l'interferenza esterna, che rappresenta, insieme alla corrosione, la causa di incidente più frequente per le condotte.

In analogia alle procedure ed alle metodologie per la gestione del rischio applicate agli impianti soggetti alla Direttiva Seveso II, un'accurata analisi del rischio di incidente rilevante associato a questa tipologia di trasporto può contribuire alla individuazione di misure preventive e/o mitigative del rischio e, nello stesso tempo, può fornire indicazioni efficaci nel supportare la pianificazione dell'emergenza e lo sviluppo di strategie di pianificazione territoriale finalizzate alla riduzione dell'impatto sul territorio di un eventuale incidente. Come noto, tale analisi richiede, oltre alla individuazione dei possibili scenari incidentali ed alla stima delle frequenze di accadimento, la valutazione quantitativa delle conseguenze associate al rilascio di una sostanza pericolosa, espressa in termini di aree di danno, e cioè di aree nelle quali l'effetto fisico prodotto dall'evento incidentale supera un valore di soglia prefissato, cui è associato un danno per le persone, l'ambiente e le strutture.

Nel caso in cui il rilascio coinvolga sostanze tossiche, la conseguente dispersione può interessare aree territoriali anche molto vaste; poche informazioni risultano tuttavia disponibili in merito a valutazioni quantitative sugli effetti del rilascio di sostanze tossiche trasportabili in condotta. Sulla base di tali considerazioni è stato intrapreso uno studio finalizzato alla valutazione delle conseguenze di un potenziale rilascio di sostanze tossiche da condotta, espresse in termini di area di danno, e cioè dell'area in cui la concentrazione di sostanza tossica supera un determinato valore di soglia e induce effetti negativi sull'uomo e sull'ambiente. La determinazione di tale area dipende da una molteplicità

di parametri, relativi alle caratteristiche chimico-fisiche delle sostanze rilasciate, alle condizioni di esercizio della condotta, alle modalità del rilascio ed alle condizioni esterne che caratterizzano l'ambiente in cui la sostanza si disperde, la cui incidenza sul risultato finale delle valutazioni può essere valutata tramite uno studio di sensitività [3].

Il presente lavoro propone dunque le prime risultanze di uno studio dedicato alla determinazione dei parametri più significativi per la modellazione delle conseguenze associate al rilascio di sostanze tossiche da condotta, ed alla valutazione dell'influenza che ciascuno di essi ha sull'esito delle analisi svolte; esso propone altresì alcune considerazioni in merito all'utilizzo dei diversi valori di soglia utilizzati per i calcoli, la cui scelta incide significativamente sugli esiti delle analisi, e, di conseguenza, sui processi decisionali alla base del potenziale sviluppo di strategie per la pianificazione dell'emergenza e per la pianificazione territoriale, e per i quali si è fatto riferimento ai valori più diffusi in ambito internazionale. Nel lavoro vengono descritte le diverse fasi dell'approccio metodologico adottato, che combina valutazioni qualitative e tecniche quantitative di analisi del rischio, le prime formulate sulla base dell'analisi di documentazione tecnico-scientifica, le altre mutuata da metodologie già standardizzate. In via preliminare è stata effettuata una analisi delle sostanze tossiche trasportabili in condotta prendendo in considerazione tre differenti stati fisici della sostanza trasportata, e cioè gassoso, liquido e gas liquefatto. Successivamente, tramite un'analisi approfondita di diverse fonti informative, è stata effettuata una valutazione dei principali parametri necessari per la modellazione del rilascio e della dispersione di sostanza tossica, e, per ciascuno di essi, è stato individuato un intervallo di valori ritenuti più affidabili e rappresentativi di situazioni reali, da utilizzare nelle simulazioni. Per la valutazione quantitativa dell'area di danno si è resa necessaria una serie di analisi e calcoli che sono stati svolti mediante modelli di simulazione supportati da un pacchetto software disponibile in commercio. Infine, è stata condotta una analisi critica dei risultati ottenuti al fine di evidenziare l'incidenza dei parametri di input, utilizzati nei modelli di simulazione, sulla stima dell'estensione dell'area di danno associata al rilascio di una sostanza tossica. Al riguardo, occorre precisare che l'obiettivo del presente studio consiste proprio nella valutazione dell'incidenza di ciascun parametro di input sul risultato finale, piuttosto che nell'esatta determinazione delle aree di danno. Questa, infatti, è affetta da un elevato grado di incertezza che riduce la precisione e l'affidabilità dei risultati numerici, cui contribuisce l'incertezza nei parametri di input, l'incertezza nei modelli adottati per la simulazione del rilascio e della dispersione della sostanza tossica, la difficoltà nel modellare la complessità dei fenomeni chimico-fisici coinvolti nell'evento incidentale. I risultati ottenuti, tuttavia, pur tenendo debitamente conto del non facilmente stimabile grado di incertezza di cui sono affetti, possono fornire elementi di valutazione a supporto di una più efficace gestione della sicurezza associata al trasporto in condotta di sostanze pericolose e della individuazione di soluzioni non penalizzanti per questa tipologia di trasporto, che rappresenta una soluzione tecnologica ottimale per vari settori industriali ed energetici.

2.0 ASSUNZIONI PRELIMINARI

2.1 Sostanze tossiche

La fase preliminare alla valutazione delle aree di danno associate ad un potenziale rilascio di sostanze tossiche da condotta è consistita nella selezione delle sostanze da considerare come riferimento per i casi-studio. A tal fine, sono stati presi in considerazione due criteri: il primo consiste nella classificazione di tossicità descritta nell'allegato I della Direttiva "Seveso II"[1] che introduce due diversi livelli rispetto al loro rischio potenziale per l'uomo e per l'ambiente, e cioè il livello tossico e quello molto tossico; il secondo fa riferimento alla rappresentatività del diverso stato fisico della sostanza trasportata in condotta, e cioè lo stato gassoso, liquido e gas liquefatto. Inoltre, per rendere il lavoro più rispondente ai casi reali, le sostanze sono state selezionate anche tenendo conto di quanto noto essere oggetto di trasporto in condotta nell'ambito delle attività produttive presenti a livello nazionale ed internazionale [4]. Le sei sostanze selezionate per i casi-studio sono descritte nella Tabella 1.

Nel presente lavoro vengono illustrati i risultati delle valutazioni effettuate relativamente al trasporto in condotta di sostanze allo stato gassoso, e cioè monossido di carbonio e fluoro (i risultati che

coinvolgono lo stato liquido e gas liquefatto sono in fase di completamento e verranno discussi successivamente).

Tabella 1. Sostanze selezionate per lo studio.

Categoria	Sostanze selezionate		
	Gas	Liquidi	Gas liquefatti
Tossico	Monossido di carbonio	Benzene	Ammoniaca, Cloro
molto tossico	Fluoro	Acroleina	Fosgene

2.2 Valori di soglia

La stima degli effetti che si verificano a seguito dell'esposizione a sostanze tossiche è utilizzata nell'analisi di rischio per valutare le conseguenze di un particolare scenario, e, più in generale, per supportare il processo decisionale in merito all'applicazione delle misure preventive, mitigative e/o di emergenza ritenute più appropriate. Studi recenti [5] sui valori di soglia comunemente utilizzati in ambito europeo per l'applicazione della Direttiva Seveso II evidenziano alcune disomogeneità nell'approccio metodologico adottato per la loro determinazione, diverse inconsistenze sulle modalità con cui vengono definiti gli effetti sulla salute ed i periodi di esposizione, nonché alcune lacune circa i valori di riferimento di particolari sostanze; ciò comporta la necessità di studi ulteriori per ottenere un più ampio intervallo di valori di riferimento, che consideri diversi effetti sulla salute e diversi tempi di esposizione per ogni sostanza. Per tener conto di tale complessità, nel presente lavoro si fa riferimento a vari valori di soglia tra cui: AEGLs (Acute Exposure Guideline Levels, U.S. EPA) [6], ERPGs (Emergency Response Planning Guidelines, AIHA) [7], IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health, NIOSH) [8] e LC_n (Lethal Concentration Limits) [9]. Per alcune delle sostanze selezionate nello studio, verranno altresì considerati gli AETLs (Acute Exposure Threshold Levels) sviluppati nell'ambito del progetto Europeo ACUTEX (ACUTE EXposure threshold levels) finalizzato allo sviluppo di una metodologia per la determinazione dei livelli di soglia per esposizioni acute da utilizzare per l'applicazione della Direttiva Seveso II [10].

Il valore di soglia disponibile per il maggior numero di sostanze è quello relativo alla concentrazione letale per una data percentuale di soggetti esposti, LC_n; il valore LC₅₀ corrisponde alla concentrazione della sostanza dispersa in aria, letale per inalazione per il 50% di individui esposti per 30 minuti. **IDLH** fa parte della categoria di parametri utilizzati per quantificare la pericolosità di una sostanza nei confronti di un particolare insieme di persone; esso rappresenta la massima concentrazione di una sostanza tossica per la quale l'individuo sano, in seguito ad un'esposizione di 30 minuti, non subisce per inalazioni danni irreversibili alla salute e sintomi tali da impedire l'esecuzione delle appropriate misure protettive. I valori IDLH, derivati dalla medicina occupazionale, non risultano sufficientemente protettivi per la popolazione in generale. Pertanto, altri parametri sono stati introdotti nel tempo per tener conto della diversa sensibilità dei componenti di una popolazione esposta rispetto ad una data sostanza tossica, da utilizzare principalmente nella pianificazione e nella gestione delle emergenze. Tra questi figurano gli AEGLs, gli ERPGs, e gli AETLs; per ciascuno di essi sono previsti tre diversi livelli a seconda della gravità degli effetti tossici considerati. Gli **AEGLs** rappresentano valori di soglia per periodi di esposizioni pari rispettivamente a 10, 30, 60, 240 e 480 minuti. Gli **ERPGs** si riferiscono ad un periodo di esposizione pari a 60 minuti e rappresentano stime delle concentrazioni al di sotto delle quali non sono previsti effetti indesiderati sulla salute degli individui esposti. Gli **AETLs**, definiti in termini di concentrazioni aero-disperse e di durata dell'esposizione, rappresentano valori in grado di produrre una serie di effetti, che vanno da modesti effetti reversibili sulla salute alla letalità, e sono applicabili per periodi di esposizione pari rispettivamente a 10, 30, 60, 120, 240 e 480 min.

Sulla base dei riferimenti bibliografici citati, i valori di soglia considerati nello studio per il monossido di carbonio ed il fluoro, sono riportati in Tabella 2.

Tabella 2. Valori soglia per il monossido di carbonio e del fluoro.

Livello di soglia/durata esposizione	Monossido di carbonio (ppm)	Fluoro (ppm)
IDLH/30 min	1200	25
LC₅₀/30 min	1900 ^a	224 ^a
AEGL-1/30 min (interim)	-	1.7
AEGL-2/30 min (interim)	150	11
AEGL-3/30 min (interim)	600	19
ERPG-1/60 min	200	0.5
ERPG-2/60 min	350	5
ERPG-3/60 min	500	20

^a Valori estrapolati dai valori di soglia SLOD-DTL “Significant Likelihood of Death” dell’Health and Safety Executive, HSE.

3. SCENARI STUDIATI

Per la caratterizzazione dello scenario relativo al rilascio ed alla dispersione in atmosfera della sostanza considerata occorre individuare un possibile intervallo di variabilità per ciascuno dei parametri di input necessari allo svolgimento delle simulazioni, in riferimento alle caratteristiche costruttive ed operative della condotta, alla tipologia di danno ed alle condizioni esterne in cui la sostanza si disperde; per la loro determinazione è stata condotta un’analisi approfondita di diverse fonti informative, tra cui, banche dati incidentali [11], [12] e [13], documentazione tecnica e linee guida [14], disposizioni legislative vigenti [15], [16]. Particolarmente interessante è risultata la consultazione delle analisi svolte sui dati relativi ad incidenti connessi al trasporto in condotta di sostanze pericolose. Tali analisi, sia pur riferibili principalmente al rilascio di prodotti petroliferi, consentono tuttavia di ottenere indicazioni significative in merito ad una stima della frequenza degli incidenti associati al trasporto in tubazioni, alle principali cause di danneggiamento, alle principali caratteristiche delle tubazioni in uso (diametro, pressione e materiale di costruzione) ed alla incidenza di tali parametri sull’entità del danneggiamento. Lo scenario considerato prevede il rilascio di monossido di carbonio e di fluoro che si verifica a seguito della rottura a ghigliottina o della perforazione di una condotta orizzontale, non interrata, di lunghezza pari ad 1 Km, esterna ai confini di un impianto industriale. Sulla base delle analisi svolte sui dati disponibili, per il diametro della condotta sono stati presi in considerazione tre valori, pari rispettivamente a 40, 50 e 60 cm mentre per le dimensioni del foro, situato nella parte superiore della condotta, sono stati selezionati i valori di 6, 25 e 50 mm, corrispondenti a fori piccoli rispetto alle dimensioni della condotta. Le condizioni di esercizio considerate fanno riferimento a sostanze trasportate a temperatura ambiente ed a pressioni di esercizio pari rispettivamente a 15, 40 e 65 bar. Inoltre, volendo assumere le ipotesi più conservative, si ipotizza che, in assenza di sistemi protettivi e di isolamento, la durata del rilascio coincida con il completo svuotamento della tubazione. La conformazione del terreno attraversato dalla condotta viene caratterizzato da un parametro, denominato “scabrezza” che assume un valore mediamente pari a 1/10 della massima dimensione degli oggetti presenti nella zona di interesse. Nelle simulazioni effettuate, avendo considerato una condotta che attraversa un territorio prevalentemente pianeggiante con ostacoli isolati, si è assunto un valore di scabrezza pari a 0.03 m. Per la scelta delle condizioni meteorologiche si è fatto riferimento a quanto indicato nelle normative nazionali sulla pianificazione del territorio e sulla pianificazione dell’emergenza esterna di stabilimenti industriali a rischio di incidente rilevante, che prevedono l’uso della classe D5, (classe di stabilità neutra, periodo diurno e velocità del vento 5 m/sec) e della classe F2 (classe di stabilità molto stabile, periodo notturno e velocità del vento 2 m/sec). Per la temperatura e l’umidità esterne alla condotta sono stati considerati valori costanti e rappresentativi di situazioni medie.

La Tabella 3 riassume i parametri di input necessari per le simulazioni del rilascio delle sostanze tossiche e della conseguente dispersione in atmosfera.

Tabella 3. Parametri di input adottati nelle simulazioni.

	Parametro	Valore
Dimensioni condotta	Lunghezza sezione	1000 (m)
	Diametro condotta	0.40, 0.50, 0.60 (m)
Condizioni operative	Temperatura	288.15 (K)
	Pressione	15, 40, 65 (bar)
Tipologia di danno	Rottura a ghigliottina	0.40, 0.50, 0.60 (m)
	Diametro del foro	50, 25, 6 (mm)
Condizioni esterne	Classe meteorologica	D (neutrale); 5 m/s; F(molto stabile); 2 m/s
	Umidità esterna	50%
	Temperatura esterna	15°C
	Scabrezza terreno	0.03 (m)

4. MODELLAZIONE DEL RILASCIO

La modellazione del rilascio di una sostanza tossica da condotta, e quindi la valutazione dell'estensione dell'area di danno, prevede due fasi, che sono, rispettivamente la valutazione della portata di efflusso (modello sorgente) e la conseguente valutazione della dispersione in atmosfera, entrambe effettuate mediante il software EFFECTS 7.5 elaborato dal TNO [17].

In base alle condizioni strutturali ed operative assunte per il calcolo, per stimare la portata di efflusso dalla condotta il software utilizza due diversi modelli [18], uno applicabile al caso della rottura a ghigliottina, in relazione al quale si assumono per il rilascio condizioni non-stazionarie, e l'altro applicabile al caso di piccoli fori nella tubazione, per il quale il software assume un rilascio quasi-stazionario. Gli output di questa prima fase di simulazione costituiscono gli input dei modelli utilizzati nella fase successiva di valutazione della dispersione atmosferica della nube tossica; tali modelli vengono generalmente classificati in due tipologie fondamentali a seconda della densità del gas rilasciato rispetto alla densità dell'aria, e che sono, rispettivamente, i modelli per gas neutri e quelli per gas densi [18]. Per le valutazioni effettuate nel prosieguo del lavoro sono stati utilizzati i seguenti modelli: il Gaussian Plume Model per la dispersione in atmosfera del CO, che a temperatura ambiente e pressione atmosferica presenta densità pari a quella dell'aria, e lo SLAB model per la dispersione del F₂, che presenta, invece, una densità superiore a quella dell'aria.

La geometria dello scenario ipotizzato, per entrambe le sostanze, prevede che l'origine del sistema di riferimento utilizzato per schematizzare il rilascio coincida con il punto in cui la condotta risulta danneggiata e da cui si origina la nube tossica; l'asse x indica pertanto la distanza sottovento, cioè quella percorsa dalla nube in direzione del vento, l'asse y l'ampiezza della nube in direzione trasversale al vento. Le concentrazioni della sostanza tossica vengono valutate ad una quota di 1,5 m, che è l'altezza corrispondente all'esposizione diretta per inalazione.

5. RISULTATI E DISCUSSIONE

La modellazione del rilascio è stata realizzata sia nel caso di rottura a ghigliottina che nel caso di fori nella condotta, per entrambe le classi meteorologiche D5 ed F2 e per tutti i valori di soglia indicati nel paragrafo 2. Come già indicato, ciascuna simulazione è stata effettuata selezionando un intervallo di valori per ciascun parametro di input; ciascuno di essi viene mantenuto costante quando si analizza

l'effetto di un altro parametro sull'esito della simulazione. I principali risultati ottenuti riguardano le massime distanze di danno sia sottovento che in direzione trasversale al vento.

5.1 Monossido di carbonio

Nel caso di rottura a ghigliottina, i risultati ottenuti per il monossido di carbonio evidenziano la forte influenza del diametro della condotta e della pressione di esercizio sulle portate rilasciate; un aumento di questi parametri comporta un aumento nella portata di rilascio, che si riflette in un incremento delle distanze in direzione sottovento e trasversale al vento e quindi dell'estensione delle aree di danno, per tutti i valori soglia considerati, come mostrato in Fig. 1 e 2.

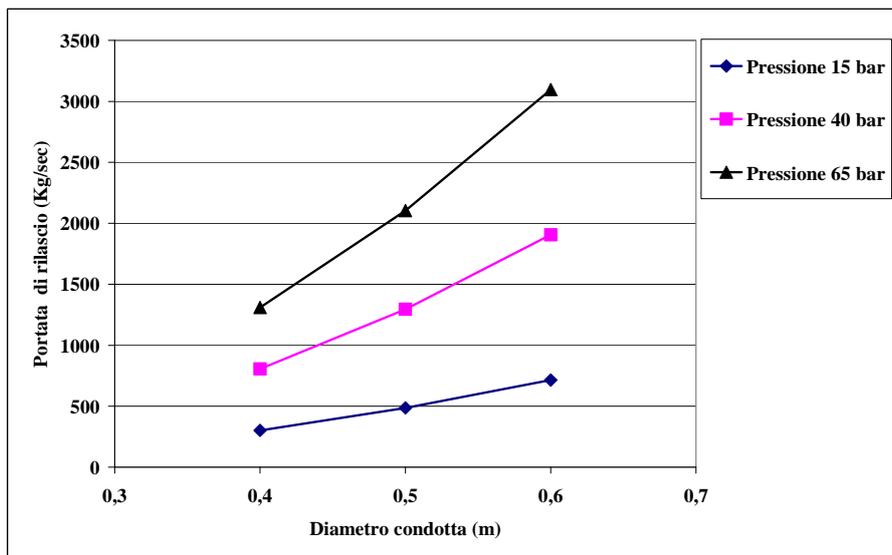


Figura 1. Portata di rilascio in funzione del diametro della condotta nel caso di rottura a ghigliottina.

Gli andamenti delle distanze raggiunte dalla nube, mostrati nei grafici della Fig. 2, evidenziano come l'estensione dell'area di danno, risulti altresì fortemente influenzata dalle condizioni esterne, e cioè dalla velocità del vento e dalla classe di stabilità atmosferica; in particolare, la classe di stabilità D comporta aree di danno minori rispetto a quelle associate alla classe di stabilità F, in riferimento a tutti i valori di soglia considerati, come peraltro atteso. Ciò è dovuto al fatto che le condizioni di stabilità neutra associate alla classe D, che non aumentano né inibiscono la turbolenza meccanica, implicano una maggiore diluizione della nube tossica e, di conseguenza, minori distanze sottovento; l'effetto viene altresì supportato dalla velocità del vento che facilita la dispersione di gas. Per contro, la maggiore stabilità atmosferica associata alla classe F, in virtù di una minore diluizione della nube tossica che comporta una maggiore distanza sottovento, si riflette in aree di danno maggiori; a ciò contribuisce anche la ridotta velocità del vento rispetto alla classe D che determina una maggiore estensione della nube anche nella direzione trasversale. Infine, occorre tener conto dell'influenza dei diversi valori di soglia utilizzati nei calcoli sui risultati ottenuti. Valori di soglia generalmente applicabili nella prevenzione e nella gestione delle situazioni di emergenza connesse con il rilascio accidentale, come, ad esempio i livelli AEGL-2 e ERPG-1 implicano aree di danno più estese di quelle determinate da valori soglia più protettivi per la salute umana, come IDLH, LC50, AEGL-3 e ERPG-3, come illustrato in Fig. 2. Una corretta valutazione dei risultati ottenuti deve tener conto tuttavia anche dell'influenza dei diversi tempi di esposizione associati a ciascun valore di riferimento.

Nel caso in cui il danno alla condotta sia rappresentato da un foro nella tubazione, possono essere considerate valide le stesse considerazioni fatte nel caso di rottura a ghigliottina circa l'influenza delle dimensioni del foro, della pressione di esercizio, dei valori soglia e delle condizioni meteorologiche sull'estensione delle aree di danno. A titolo di esempio in Fig. 3 viene mostrato l'andamento della distanza sottovento raggiunta dalla nube tossica in funzione dei parametri prima citati.

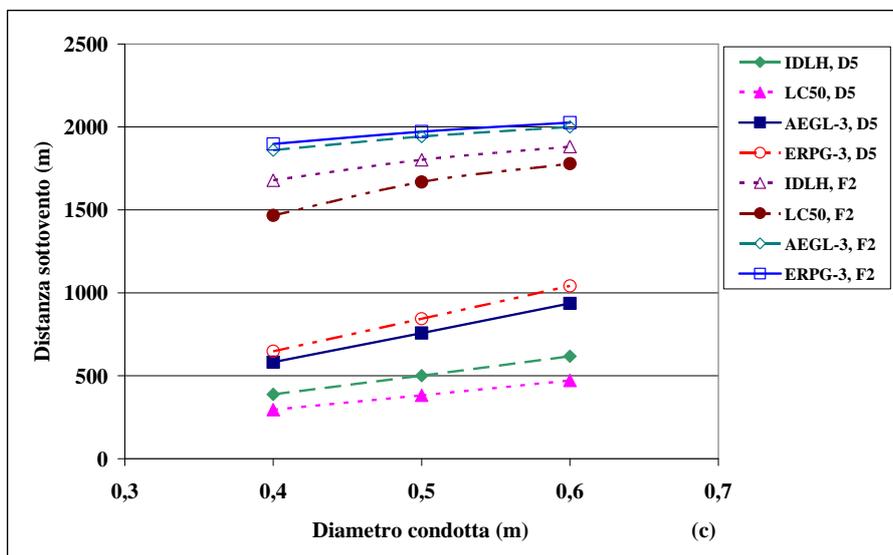
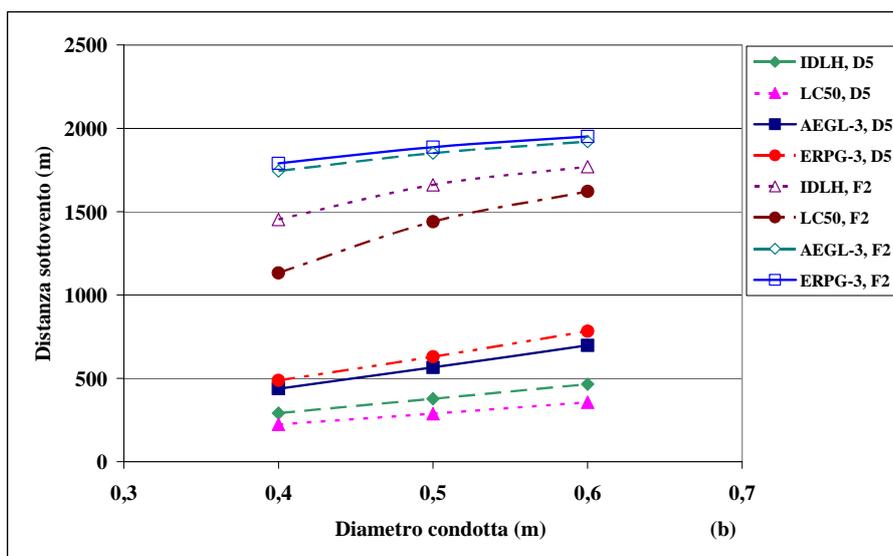
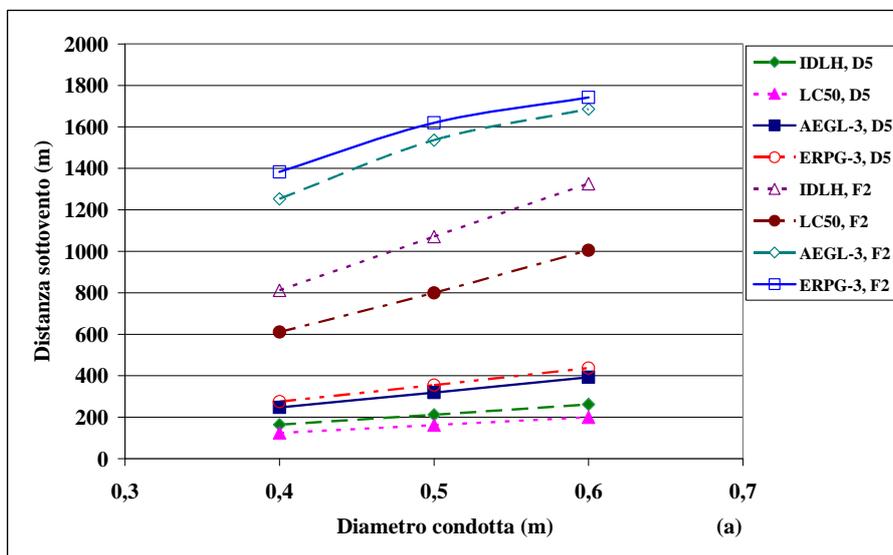


Figura 2. Andamenti delle distanze sottovento raggiunte dal CO nel caso di rottura a ghiottina, per pressioni di a) 15 bar, b) 40 bar, e c) 65 bar.

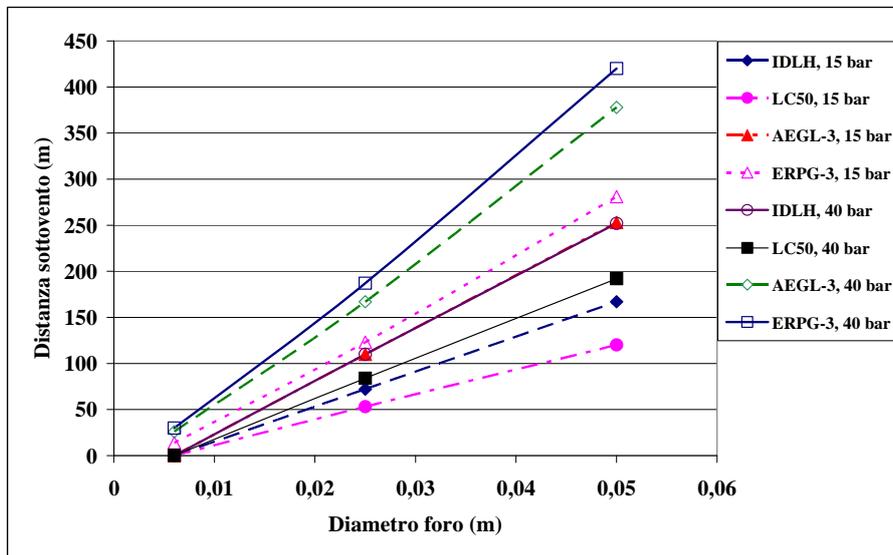


Figura 3. Andamenti delle distanze sottovento raggiunte dal CO rilasciato da fori in una condotta di 0,40 m di diametro e per la classe di stabilità atmosferica D5.

Si è infine determinato l'andamento della concentrazione di CO dopo 1800 sec dall'inizio del rilascio dalla tubazione, variando la distanza di un potenziale recettore dalla sorgente, posto rispettivamente pari a 350, 500 e 700 m. Gli andamenti mostrati nelle Fig. 4 e 5, possono essere utilizzati per evidenziare l'eventuale superamento del valore di soglia preso come riferimento in ogni punto considerato, e, quindi, per supportare le decisioni in merito alle misure preventive e mitigative da adottare per la salvaguardia della popolazione. Val la pena evidenziare, ad esempio, il fatto che, nel caso del rilascio di CO da fori nella condotta, in corrispondenza della classe di stabilità atmosferica D5, le concentrazioni relative ai valori di soglia IDLH e LC₅₀, non vengono mai raggiunti in nessuna delle tre posizioni assunte per il recettore. Per la classe di stabilità atmosferica F2, invece, il valore IDLH viene superato in corrispondenza di un foro di 25 mm e di una pressione di esercizio di 65 bar mentre il valore LC₅₀ è superato solo in corrispondenza di un foro di 50mm e per pressioni di esercizio di 40 e 65 bar.

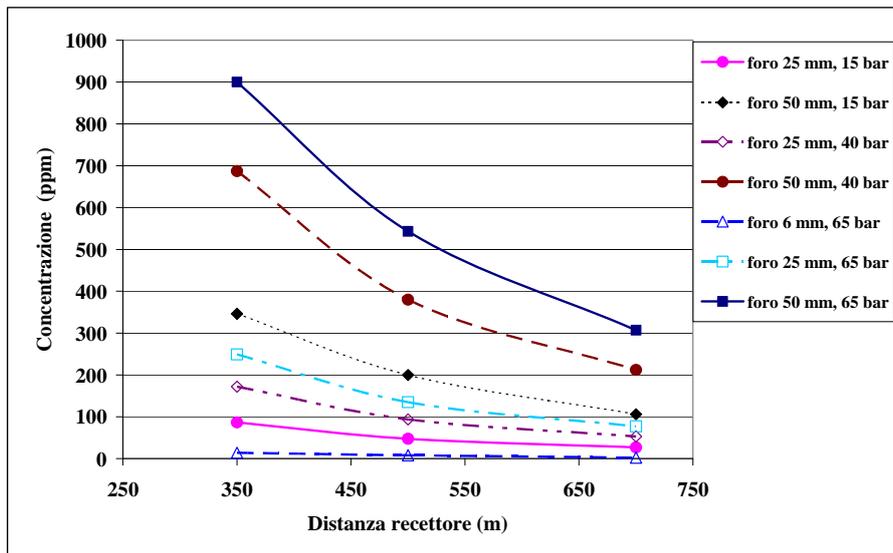


Figura 4. Concentrazioni di CO ottenute in funzione della distanza del recettore nel caso di una condotta di diametro 0,40m, fori 6, 25 e 50 mm e classe di stabilità atmosferica D5.

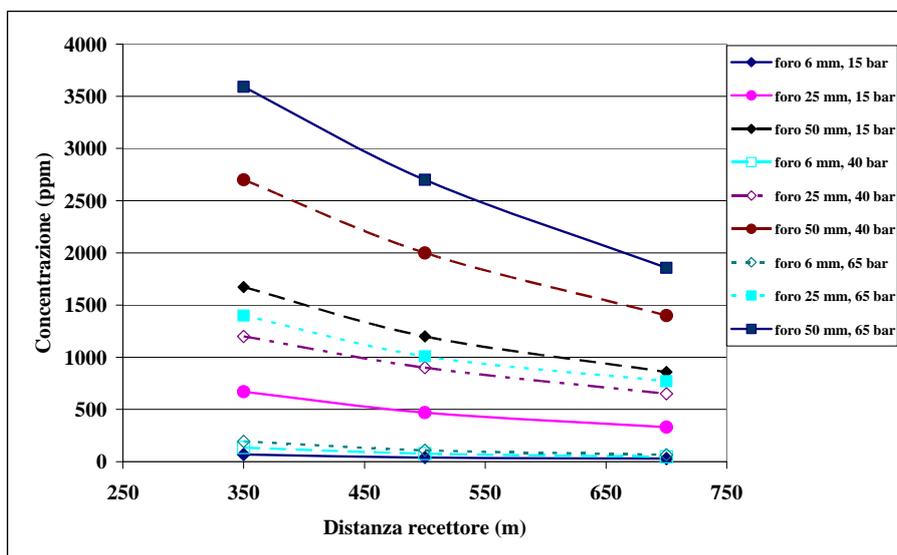


Figura 5. Concentrazioni di CO ottenute in funzione della distanza del recettore nel caso di una condotta di diametro 0,40 m, fori 6, 25 e 50 mm e classe di stabilità atmosferica F2.

5.2 Fluoro

L'analisi dei risultati ottenuti per il fluoro consente di formulare considerazioni analoghe a quelle espresse per il monossido di carbonio circa l'influenza della pressione di esercizio, della dimensione dei fori, delle classi di stabilità atmosferiche e dei valori soglia di riferimento sull'estensione delle aree di danno, sia in riferimento alla rottura a ghigliottina che in riferimento al rilascio da fori. I risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate, assumendo le stesse condizioni iniziali valide per il CO, sono mostrate rispettivamente in Fig. 6 e 7.

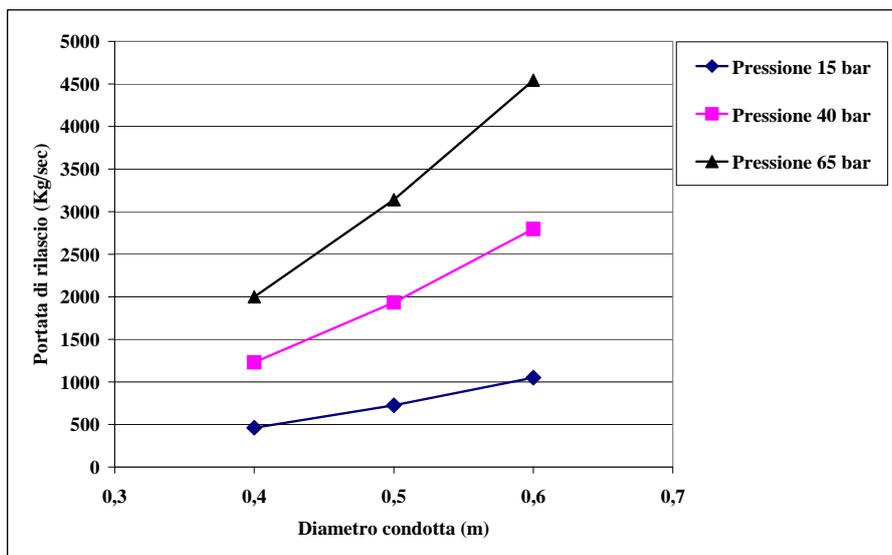


Figura 6. Portata di rilascio del fluoro in funzione del diametro della condotta nel caso di rottura a ghigliottina.

Le distanze di danno risultano generalmente maggiori di quelle associate al monossido di carbonio; infatti la più elevata densità del gas comporta una portata maggiore a parità di pressione, temperatura e diametro della condotta, ed una più lenta diluizione della nube tossica con l'aria; inoltre, trattandosi di un gas molto tossico, i valori di soglia risultano inferiori a quelli del monossido di carbonio, e quindi coinvolgono aree di danno maggiori, come illustrato in Fig. 7. Anche per il fluoro, sono stati determinati i valori medi di concentrazione dopo 1800 sec dall'inizio del rilascio, variando la distanza di un potenziale recettore dalla sorgente, per entrambe le classi di stabilità atmosferica. I risultati ottenuti, illustrati in Fig. 8 e 9, consentono di estendere al fluoro le considerazioni già formulate per il CO, circa l'influenza dei parametri di input sui risultati ottenuti.

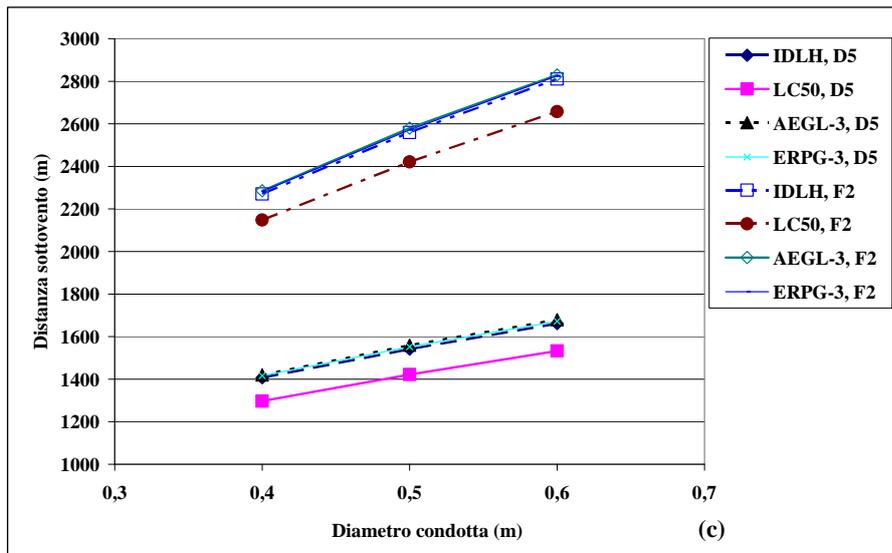
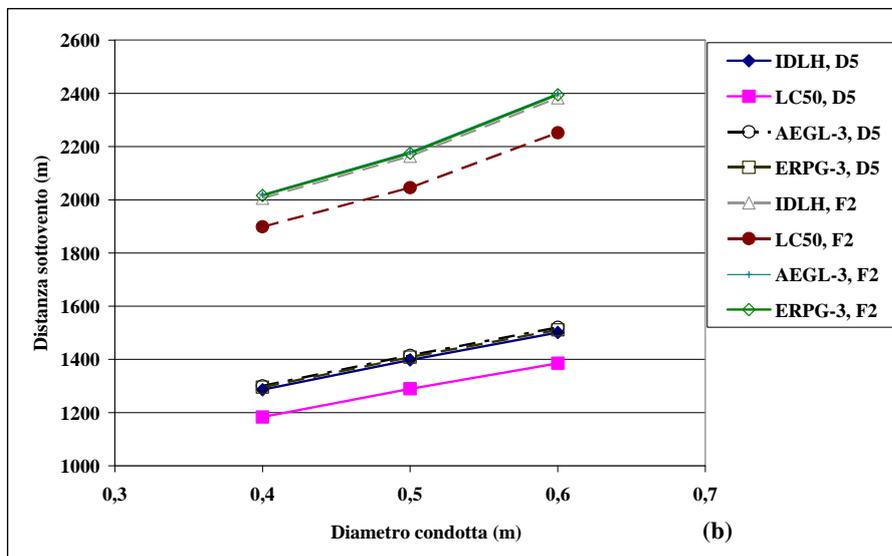
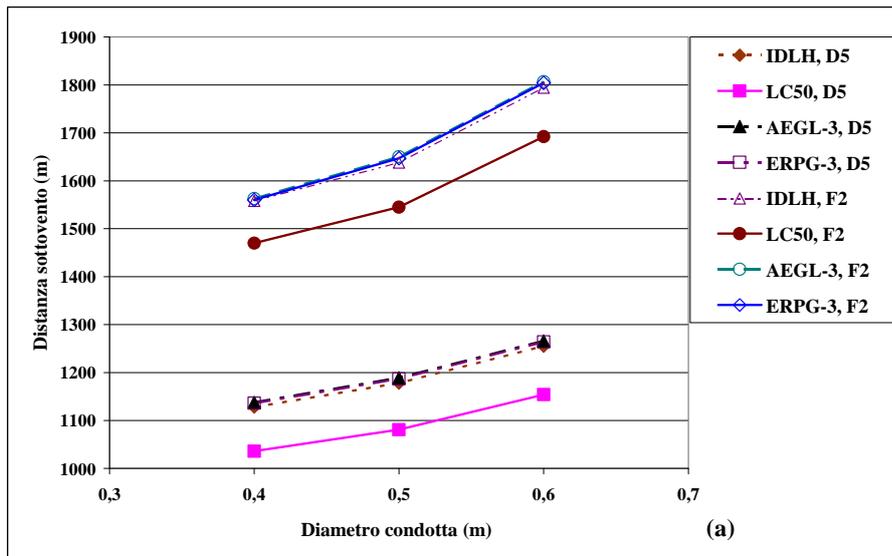


Figura 7. Andamenti delle distanze sottovento raggiunte da F₂ nel caso di rottura a ghiottina, per pressioni di a) 15 bar, b) 40 bar e c) 65 bar.

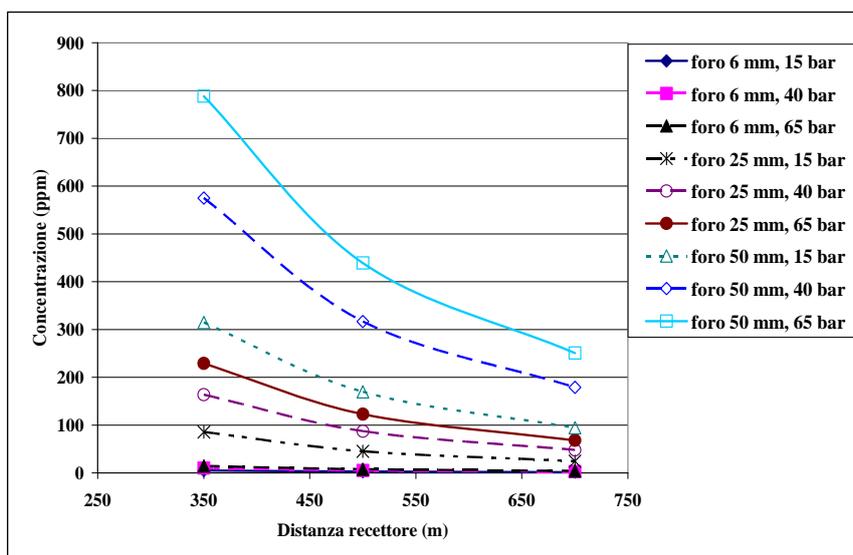


Figura 8. Concentrazioni di F_2 ottenute in funzione della distanza del recettore nel caso di una condotta di diametro 0,40m, fori 6, 25 e 50 mm e classe di stabilità atmosferica D5.

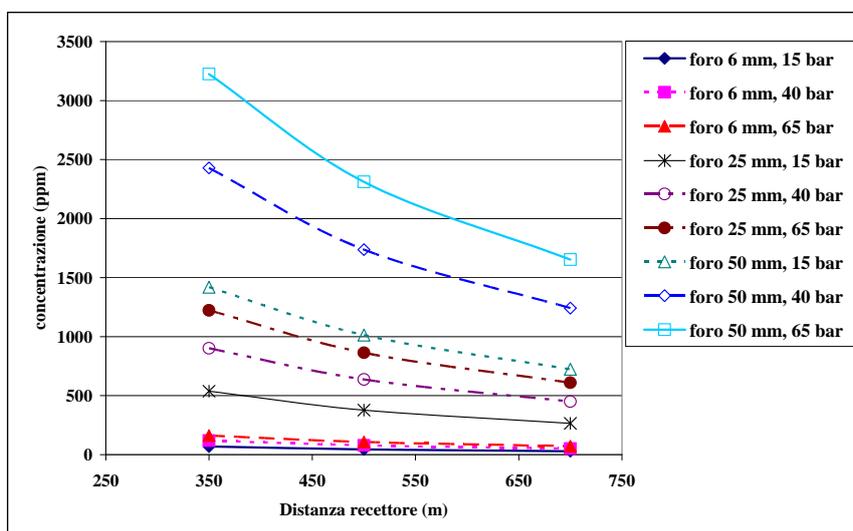


Figura 9. Concentrazioni di F_2 ottenute in funzione della distanza del recettore nel caso di una condotta di diametro 0,40 m, per fori di 6, 25 e 50 mm e classe di stabilità atmosferica F2.

6. CONCLUSIONI

La valutazione delle conseguenze del rilascio di sostanze tossiche da condotta è stata effettuata in termini di aree di danno in cui gli effetti tossici della sostanza rilasciata superano un livello di soglia critica considerato pericoloso per la salute umana e per l'ambiente. Il lavoro presenta i risultati ottenuti relativamente al trasporto di sostanze tossiche allo stato gassoso. E' attualmente in corso l'analisi computazionale relativa al trasporto di sostanze liquide e di gas liquefatti, nonché il completamento delle analisi di sensitività, al fine di ottenere una più esaustiva valutazione della influenza dei diversi parametri di input sulla estensione delle aree di danno. Ulteriori implementazioni del lavoro potranno scaturire dall'ampliamento del numero di parametri e dell'intervallo di variabilità considerati. Nonostante l'elevato grado di incertezza associato alle stime effettuate, le risultanze del presente lavoro possono rappresentare un utile punto di riferimento per lo sviluppo di misure atte ad incrementare il livello di sicurezza associato al trasporto in condotta di sostanze pericolose, garantendo al contempo la scelta di soluzioni non penalizzanti per questo tipo di trasporto altamente affidabile ed economicamente conveniente.

RIFERIMENTI

- [1] Direttiva del Consiglio 96/82/EC del 9 dicembre 1996 sul controllo dei pericoli di incidenti rilevati connessi con determinate sostanze pericolose, Gazzetta Ufficiale Europea, L 10/13, 14 gennaio 1997.
- [2] Papadakis G. A., Major hazard pipelines: a comparative study of onshore transmission accidents, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 12 (1), 1999, pp. 91-107.
- [3] Progetto finalizzato ISPESL-DIPIA, Rilascio in atmosfera di sostanze tossiche: previsione, prevenzione e protezione della salute umana, finanziato dal Ministero della Salute, 2001.
- [4] Gagliardi R.V., Torretta V., Bello G., An integrated software system supporting land-use planning strategies for hazardous pipelines, 12th International symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, 2007, Edinburgh.
- [5] Wood, M., Pichard, A., Gundert-Remy, U., Rooij, C., Tissot, S., The AETL methodology as a potential solution to current challenges associated with the development and use of acute exposure levels in Seveso II applications, A133, *Journal of Hazardous Materials*, 2006, pp. 8-15.
- [6] <http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/results50.htm>.
- [7] Emergency Response Planning Guidelines, Current AIHA ERPGs, 2007, AIHA.
- [8] <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html>.
- [9] HSE: Indicative human vulnerability to the Hazardous Agents present offshore for application in risk assessment of major accidents risk. HSE, 2006, SPC/Tech/ OSD/30.
- [10] Contribution to the Methodology for the Development of Acute Exposure Threshold Levels in Case of accidental Chemical release, ECETOC, European centre for ecotoxicology and toxicology of chemicals, Report N°100, 2006.
- [11] Davis T.M., Dubois J., Olcese A., Uhlig F., Larivè J-F., Martin D.E., Performance of European cross-country oil pipelines. CONCAWE, 2007, No. 4/07, Brussels.
- [12] 6th Report of the European Gas pipeline incident Data Group. EGIG, 2005, Report 05.R.0002.
- [13] Arunakumar G., 5th Report of the UKOPA Fault Database Management Group. UKOPA, 2007, Report 6957.
- [14] CCPS, Center for Chemical Process Safety, Guidelines for Chemicals Process Quantitative Risk Analysis, 2000, 2nd edition, AIChE, New York.
- [15] Decreto Ministeriale 20 ottobre 1998: Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi ai depositi di liquidi facilmente infiammabili e/o tossici, 1998, Gazzetta Ufficiale N°262 del 9 novembre 1998.
- [16] D.P.C.M. Pianificazione dell'emergenza esterna degli stabilimenti industriali a rischio d'incidente rilevante, 25 Febbraio 2005, G.U. N° 62.
- [17] Prins Maurits Research Laboratory, EFFECTS: A software for Hazard Assessment. TNO, 1991, Netherlands.
- [18] Committee for the Prevention of Disasters, Yellow Book: Methods for the calculation of physical effects due to release of hazardous materials (liquids and gases), TNO, 1997.