

RISCHIO DI INCIDENTE RILEVANTE NEL TRASPORTO MULTIMODALE DI SOSTANZE PERICOLOSE, CON RIFERIMENTO AI PUNTI DI INTERFACCIAMENTO TRA I MODI

Anna Mengolini ^a, Michalis Christou ^a, Sergio Contini ^a, Giancarlo Ludovisi ^b

^a Commissione Europea, Centro Comune di Ricerca, Istituto dei Sistemi, dell'Informatica e della Sicurezza, I-21020 Ispra (VA)

^b ISPESL – Via Urbana 167, I-00185 Roma

SOMMARIO

L'analisi del rischio nel trasporto di sostanze pericolose è meno avanzata rispetto all'analisi condotta sulle installazioni fisse, anche se recenti studi su aree a forte concentrazione di impianti a rischio di incidente rilevante hanno messo in evidenza il significativo contributo al rischio dovuto al trasporto di sostanze pericolose. L'obiettivo di questo lavoro è di affrontare il problema del trasporto multimodale e dell'interfacciamento fra i modi nel trasporto di sostanze pericolose su strada, ferrovia, acqua e condotta e di presentare una metodologia di screening. Tale metodologia consente di esaminare la situazione complessiva dal punto di vista del rischio per una certa area o per un certo percorso con l'obiettivo di dare una priorità alle azioni/interventi da intraprendere, di identificare i percorsi e le parti di percorso più critici e di sviluppare un Indice di Rischio che consideri sia la frequenza sia la severità delle conseguenze di un potenziale incidente.

1. INTRODUZIONE

La presente memoria riporta i risultati di una ricerca finanziata dall'Istituto Superiore Prevenzione e Sicurezza Lavoro (ISPESL) in fase di sviluppo al Centro Comune di Ricerca di Ispra (*“Definizione di un metodo per la valutazione del rischio di incidente rilevante nel trasporto multimodale di sostanze pericolose con riferimento ai punti di interfacciamento tra i modi”*)

L'obiettivo del progetto è quello di sviluppare un metodo semplificato per la valutazione del rischio di incidente rilevante nel trasporto multimodale di sostanze pericolose con riferimento ai punti di interfacciamento fra i modi.

Il progetto si propone i seguenti **obiettivi**:

1. affrontare il problema del trasporto intermodale e delle sue interfacce nel trasporto di sostanze pericolose,
2. proporre un metodo per la valutazione del rischio che faccia riferimento alle particolarità del problema,
3. verificare ed applicare il metodo,
4. analizzare la possibilità di includere il metodo in uno strumento generale di valutazione del rischio, utilizzando anche strumenti già esistenti.

Il progetto è articolato in quattro fasi.

La **prima fase** prevede la presentazione dei mezzi di trasporto considerati nel progetto (strada ferrovia, condotta, via mare, canali interni e via aerea), il problema posto dall'interfaccia di trasporto e la presentazione dello stato dell'arte per quanto riguarda la normativa, gli studi esistenti, software disponibili e metodologia.

La **seconda fase** prevede la presentazione di una rassegna degli incidenti da trasporto verificatisi in passato, dalla quale trarre informazioni per una corretta politica di prevenzione degli incidenti.

La **terza fase** prevede l'elaborazione di una metodologia specifica per l'analisi del rischio nel trasporto di sostanze pericolose, che tenga in considerazione anche il problema posto dalle interfacce di trasporto.

Infine, la **quarta fase** prevede la presentazione di un esempio applicativo della metodologia sviluppata.

Attualmente sono state completate le prime due fasi e la terza fase è in sviluppo.

2. IL TRASPORTO DI SOSTANZE PERICOLOSE

2.1 Mezzi di trasporto

Le sostanze pericolose possono essere trasportate nei modi seguenti:

- Strada
- Ferrovia
- Condotta

- Vie d'acqua interne o marittime
- Via aerea

Per **trasporto di sostanze pericolose (TSP)**, si intendono tutte quelle attività che si svolgono dopo il riempimento di un "contenitore" con un prodotto (sostanza pericolosa sfusa, in recipienti o in fusti) e prima che questo venga scaricato. Tali attività si svolgono in generale esternamente allo stabilimento.

Il **trasporto su strada** avviene per mezzo di autocisterne, rimorchi trasportanti containers o camion trasportanti sostanze pericolose in imballaggi. Ai fini dell'analisi dei rischi per il trasporto, si considera lo spostamento del mezzo carico da "cancello a cancello". Può essere interessante prendere in considerazione anche le zone di sosta temporanea dei mezzi trasportanti sostanze pericolose.

Il **trasporto per ferrovia** avviene per mezzo di ferrocisterne che si spostano dal fornitore all'acquirente. Il trasporto ferroviario può richiedere delle fermate intermedie (scali ferroviari) dove il treno può essere scomposto e in seguito ricomposto.

Il **trasporto in condotta** può essere definito come avente inizio da un serbatoio di stoccaggio, da un sistema di compressione o caricamento, o dalla zona periferica di uno stabilimento industriale. Nell'analisi dei rischi vengono solitamente incluse tutte le valvole e le stazioni di pompaggio fra il punto iniziale e il punto finale. Vengono prese in considerazione solo le condotte di trasmissione ad alta pressione, tralasciando le condotte della rete di distribuzione a bassa pressione.

Il **trasporto per vie di acqua interne** avviene per mezzo di chiatte o battelli che possono essere autonomi o rimorchiati anche assieme ad altri. Si possono verificare degli ormeggi notturni di cui si dovrebbe tenere conto nell'analisi dei rischi.

Il **trasporto marittimo** avviene attraverso navi cisterne, navi trasportanti container o, in generale, navi cargo. Solitamente nell'analisi del rischio sono considerate le zone costiere e portuali per la loro prossimità a centri popolati. Anche temporanei stoccaggi in porto sono da tenere in considerazione.

Il **trasporto per via aerea** avviene attraverso aerei cargo o aerei passeggeri. La quantità di sostanze che possono essere trasportate è maggiore per gli aerei cargo. Gli accordi internazionali per il trasporto aereo di sostanze pericolose forniscono una lista di sostanze che richiedono imballaggi speciali per il trasporto aereo.

2.2 Rischio di incidente rilevante nel trasporto di sostanze pericolose

E' generalmente accettato ed e' stato provato statisticamente che il trasporto di sostanze pericolose e' associato con un livello significativo di rischio di incidente [1], [2], [3], paragonabile a quello presentato dagli impianti fissi.

Il rischio nel trasporto di sostanze pericolose può essere causato da **eventi iniziatori di incidenti** che possono essere **incidentali**, cioè causati da un incidente nel trasporto, o **non-incidentali**, cioè non causati da un incidente nel trasporto, ma da una causa interna o esterna al mezzo di trasporto [4].

In Tabella 1 sono riassunti i pericoli connessi con il trasporto di sostanze pericolose, i potenziali eventi iniziatori, le loro cause e le conseguenze. L'enfasi è sul danno acuto alle persone derivante dal rilascio di sostanze pericolose, anche se le conseguenze ambientali e danni alle strutture non devono essere trascurati.

Sarebbe possibile seguire un diverso tipo di categorizzazione degli eventi iniziatori, distinguendo gli eventi in **esterni** al mezzo di trasporto e **interni**. D'altronde, da un punto di vista metodologico, questa classificazione, che è molto utile per l'analisi di incidenti rilevanti nelle installazioni fisse, è di valore limitato per la valutazione del rischio nel trasporto. Consideriamo, per dare un esempio, un evento iniziatore incidentale nel trasporto, ad esempio il deragliamento di una ferrocisterna: questo incidente può essere causato dalla velocità eccessiva (causa interna) o da un ostacolo sui binari (causa esterna). Dal punto di vista metodologico, è necessario calcolare la frequenza di questo incidente. Non ci sono, tuttavia, dati statistici che forniscano il numero di deragliamenti causati dalla velocità eccessiva e il numero di quelli causati da un ostacolo (o, anche se disponibili, questi dati sono molto rari). Sono invece disponibili dati statistici dei deragliamenti per km * anno, che forniscono la probabilità di un deragliamento. Questa probabilità, moltiplicata per la frequenza di un incidente rilevante dopo un deragliamento, consente di calcolare la probabilità complessiva dell'incidente. Questa è la ragione per cui si preferisce una categorizzazione di eventi iniziatori in incidentali e non incidentali nel caso del trasporto di sostanze pericolose.

Tabella 1. Eventi iniziatori e conseguenze potenziali nel trasporto di sostanze pericolose

Pericoli	Eventi iniziatori		Conseguenze
	Incidentali	Non-incidentali	
<u>Rilascio di sostanza pericolosa da:</u> Autocisterna Ferrocisterna Condotta Nave Chiatta Container Bombole Fusti	Collisione Ribaltamento Deragliamento Incendio ed esplosione Arenamento Speronamento Capovolgimento Allontanamento Inondazioni Scavi Affondamento	Corrosione Collasso metallico Sovrapressione Difetti di costruzione Errore operatore Malfunz. valvole Sovrariempimento Malfunz. disco rottura Surriscaldamento Congelamento Montaggio sbagliato Perdita di refrigerante Caduta container	<u>Per la popolazione:</u> Effetto tossico Effetto termico Effetti di sovrappressione (VCE) Proiezioni di frammenti BLEVE <u>Ambientali</u> <u>Danno a strutture</u> <u>Danno a apparecchiature</u>

2.3 Motivazioni per condurre un'analisi dei rischi nel trasporto di sostanze pericolose

Le motivazioni per condurre un'analisi dei rischi nel trasporto di sostanze pericolose sono molteplici. Tale analisi può essere di aiuto nel processo decisionale nel caso si debba:

- definire e valutare il livello del rischio per la popolazione e identificare delle misure di riduzione del rischio nel caso in cui questo sia troppo elevato;
- scegliere il luogo dove costruire un'attività, prendendo in considerazione il rischio nel trasporto oltre che il rischio dell'installazione stessa;
- scegliere delle alternative appropriate di diminuzione del rischio, dimostrando l'efficacia delle varie alternative;
- scegliere fra percorsi diversi, fornendo il rischio associato ad ogni percorso;
- scegliere un mezzo di trasporto nel caso in cui più di uno sia possibile;
- scegliere il mezzo di contenimento più appropriato o l'opportunità di valutare misure protettive addizionali;
- sviluppare piani di emergenza appropriati;
- capire l'influenza dello stato del materiale (in soluzione, puro, liquido) sul rischio (es. trasportare l'acido cloridrico anidro o in soluzione)
- esaminare il compromesso fra "trasporti poco frequenti di quantitativi elevati e trasporti più frequenti di piccoli quantitativi";
- controllare i rischi nel trasporto;
- giudicare la tollerabilità di esistenti o crescenti livelli di trasporti;
- soddisfare esigenze di regolamentazioni per la determinazione del percorso preferenziale.

2.4 Trasporto di sostanze pericolose e installazioni fisse: differenze e similarità

Esistono differenze e similarità nella valutazione del rischio per il trasporto di sostanze pericolose e per le installazioni fisse.

Il processo generale di un'analisi quantitativa per il TSP comporta:

- definizione dello scopo dell'analisi,
- descrizione del sistema o del tipo di trasporto,
- identificazione dei pericoli o degli eventi iniziatori,
- elenco dei possibili incidenti,
- selezione degli incidenti, degli scenari incidentali,
- stima delle conseguenze,
- stima delle probabilità,
- valutazione del rischio,
- valutazione delle misure di riduzione del rischio.

Questi passi sono gli stessi che costituiscono anche l'analisi dei rischi per installazioni fisse. L'analisi dei rischi nei due casi può essere qualitativa, semi-qualitativa o quantitativa. I modelli per il calcolo delle conseguenze dipendono dalla causa del rilascio e possono essere quindi trasferiti dall'analisi per le installazioni fisse al trasporto. Anche le misure del rischio sono comuni ai due tipi di analisi, sia per quanto riguarda il rischio sociale che quello individuale. L'unica differenza riguarda il dettaglio di come il rischio viene calcolato e l'unità scelta. Per esempio, nel trasporto può essere interessante il calcolo del rischio per viaggio o per anno, mentre per le installazioni fisse il rischio è generalmente calcolato su base annua.

La differenza fondamentale nei due tipi di analisi è nel tipo di sorgente del rischio. Nell'analisi dei rischi nel trasporto la sorgente è lineare a differenza di una sorgente discreta puntuale per le installazioni fisse. Questa sorgente lineare può essere statica come nel caso delle condotte o in movimento come per altri mezzi di trasporto. Nel trasporto di sostanze pericolose, un rilascio può avvenire ovunque lungo il percorso fra il punto di origine e la destinazione. L'imprevedibilità della localizzazione esatta del rilascio richiede spesso l'utilizzo di **approcci generalizzati** per limitare i dati richiesti e il numero di scenari incidentali possibili. Un approccio generalizzato può basarsi su:

- identificazione e scelta degli eventi iniziatori: si può fare ricorso a un numero limitato di eventi anziché ricorrere ad una lista esaustiva di modi di guasto;
- selezione degli incidenti e delle relative conseguenze: in particolare dimensione e portata del rilascio, orientazione, temperatura e pressione al momento del rilascio;
- condizioni meteorologiche da utilizzare nella modellizzazione: le classi di stabilità variano da luogo a luogo così come variano temperatura ambiente e umidità;
- probabilità di innesco: il numero, tipo e prossimità delle sorgenti di innesco variano lungo il percorso e può risultare difficile ottenere dati specifici;
- distribuzione della popolazione: la distanza di "sicurezza" fra una strada e la popolazione è di solito quasi nulla e in più la distribuzione della popolazione cambia costantemente lungo il percorso.

Degli approcci generalizzati consentono di affrontare queste variabilità in maniera conservativa e coerente. Molti degli studi che affrontano il problema del rischio nel trasporto di sostanze pericolose fanno ricorso a delle semplificazioni per snellire le procedure di calcolo molto onerose.

La capacità di eliminare o prevenire il rischio di incidente è molto maggiore nel caso delle installazioni fisse. Nel caso del trasporto **l'incidenza dell'errore umano** sembra essere molto più rilevante che nel caso di installazioni fisse e variabile per i diversi mezzi di trasporto. I dati disponibili per il calcolo del rischio nel trasporto sono espressi in funzione della distanza percorsa o espressi per viaggio, transito o visita. Cause incidentali esterne sono spesso incluse nei dati, come ad esempio condizioni climatiche avverse per il trasporto marittimo o danni dovuti a scavi per le condotte. Un'altra differenza fra trasporto e installazioni fisse riguarda la natura delle alternative disponibili per ridurre o mitigare il rischio, che sono molto più limitate nel caso del trasporto. Ciò è dovuto all'impossibilità di localizzare il rilascio e di conseguenza di potere mettere in atto delle effettive misure di mitigazione degli effetti.

2.5 Il fattore umano nel trasporto di sostanze pericolose

Studi sull'analisi storica degli incidenti in installazioni chimiche e nel trasporto di sostanze pericolose (analisi operata su un totale di 5325 incidenti provenienti dal database MHIDAS che coprono un arco di tempo dall'inizio del secolo fino al 1992) hanno mostrato come gli incidenti dovuti al trasporto di sostanze pericolose costituiscano la percentuale maggiore (39%) e che tale percentuale, sommato a quella relativa alle operazioni di carico e scarico (8%) porti ad una percentuale prossima al 50 % [2].

Da tale osservazione appare chiara l'importanza del trasporto e delle operazioni di scarico e carico (interfaccia di trasporto) nella valutazione del rischio.

Un altro aspetto importante messo in evidenza dallo studio sopra citato e' l'alta frequenza del **fattore umano** fra le cause possibili di incidente. Fra le possibili cause di incidente considerate nello studio il **fattore umano** contribuisce per circa 24%. Le cause incidentali vengono poi analizzate in dettaglio ed e' interessante notare come fra i motivi che maggiormente contribuiscono alla causa **fattore umano** ci sia l'errore nelle procedure.

Lo studio di Vichez et al. [2] mette di evidenziare alcuni punti importanti ai fini della nostra analisi:

- l'elevato numero di incidenti nel trasporto di sostanze pericolose;
- contributo dell'operazione di "carico e scarico" (8%) (sembra che nonostante queste operazioni siano già classificate come delicate e pericolose, uno sforzo supplementare sia necessario per migliorare la sicurezza di queste procedure);
- rilevanza del "fattore umano" come causa incidentale;
- importanza dell'aspetto procedurale nel fattore umano.

Il contributo del fattore umano all'analisi di sicurezza (sia per le installazioni fisse che per il trasporto), e' diventato di primaria importanza e l'errore umano appare nella maggior parte degli incidenti. Esiste una stretta correlazione tra errore umano e fattori ambientali e organizzativi in cui l'errore si manifesta: l'errore umano può essere considerato non già come *causa*, bensì come *conseguenza* di altri fattori che risiedono a livello organizzativo. Questi fattori rappresentano gli elementi "patogeni" o "latenti" del sistema socio - tecnico e possono essere "teoricamente" prevenuti con buoni sistemi di gestione [5].

Per poter identificare gli errori possibili durante lo svolgimento di un compito, e' necessario definire come questo "compito" viene svolto. "Task analysis" rappresenta il processo di descrizione delle azioni che l'operatore deve svolgere per poter realizzare un certo "obbiettivo". Questa analisi può includere una descrizione dei processi cognitivi in aggiunta alle azioni osservabili. L'analisi dei compiti rappresenta la base per l'analisi qualitativa dell'Errore Umano. La tecnica di decomposizione dei compiti (decompositional task analysis) identifica i potenziali errori umani ad ogni livello del processo, le possibili conseguenze di ogni errore e qualsiasi fattore che possa influenzare lo svolgimento di tale operazione (PIF-Performance Influencing Factor), come training, esperienza e "time pressure" [6]. La tecnica fornisce anche considerazioni riguardo potenziali meccanismi di recupero e misure di riduzione del rischio. Nello sviluppo della metodologia si terra' in considerazione il termine fattore umano, spesso trascurato nella valutazione del rischio.

2.6 Interfaccia di trasporto

Per "**interfaccia di trasporto**" si intendono le aree di scarico e carico dove le sostanze pericolose sono trasferite da un mezzo di trasporto ad un altro, da un veicolo (apparecchiatura) ad un altro all'interno dello stesso mezzo di trasporto o le aree di temporaneo stoccaggio durante la fase di trasporto.

Il trasferimento di sostanze pericolose può avvenire fra "*contenitori*" di dimensioni diverse - come ad esempio da una nave cisterna ad una chiatta - o fra diversi mezzi di trasporto. In alcuni casi i container stessi possono essere trasferiti da un mezzo di trasporto ad un altro. Un punto particolarmente interessante è rappresentato dal trasferimento marittimo di sostanza fra due navi cisterne di dimensione diversa. Spesso si deve ricorrere a tali trasferimenti nel caso in cui le navi cisterna non possano entrare in porto. Questi trasferimenti avvengono comunque non lontano dalla costa per evitare le condizioni spesso sfavorevoli del mare aperto e, nel caso di incidente, gli effetti possono essere risentiti sulla costa.

Queste operazioni di carico e scarico (ad eccezione del trasferimento marittimo) sono in generale simili alle operazioni di carico e scarico che avvengono nelle installazioni fisse e possono essere di solito trattate con le tecniche di analisi quantitativa del rischio utilizzate per le installazioni fisse.

Tuttavia esistono delle considerazioni aggiuntive che non devono essere trascurate nel caso dell'analisi del rischio nel trasporto. Alcune di queste sono:

- possibilità di impatto con un'altra nave nel caso di trasferimento in mare; nel trasferimento ferroviario, l'eventualità per un vagone di essere urtato o trascinato via prima che il trasferimento sia stato completato; nel caso di condotte l'eventualità di danneggiamento dovuto ad operazioni di scavo;
- condizioni climatiche (come vento forte o mare mosso) che possono provocare l'allontanamento delle navi con rottura dei manicotti durante il trasferimento;
- perdite durante il trasferimento dovute a collegamenti incompatibili o male adattati;
- eventualità che le gru o gli elevatori a forca facciano cadere il container o che i denti dei forchettoni perforino il container;

- l'eventualità che sia trasferito un carico sbagliato;
- l'eventualità che sia caricata sostanza in una cisterna non completamente vuota;
- la distanza di "sicurezza" dalle zone abitate aumenta , specialmente nel caso di trasferimento marittimo (trans – shipments);
- presenza di carichi diversi che possono generare una escalation dell'evento incidentale (es. l'innesco di una piccola perdita da un container può colpire un container vicino);
- le operazioni di carico e scarico nel caso del trasporto, sono di solito effettuate da persone senza conoscenze specifiche (mancanza di training e di consapevolezza dei pericoli legati alle sostanze manipolate).

Molti di questi casi possono essere trattati aggiungendo degli eventi all'albero dei guasti e utilizzando poi dati sull'affidabilità umana e dati meteorologici per quantificare l'albero dei guasti. L'approccio generale è quello di utilizzare le tecniche di analisi quantitativa dei rischi per installazioni fisse insieme alle tecniche specifiche per il trasporto. In generale, nel caso di scarico e scarico, si dovrebbero condurre due analisi dei rischi per i due diversi tipi di container e/o mezzi di trasporto e poi considerare le operazioni di trasferimento di sostanza. Il rischio complessivo dovrebbe essere in generale additivo per la maggior parte delle misure del rischio. Sono state prese in considerazione le possibili interfacce di trasporto nel caso dello stesso mezzo di trasporto (aree di stoccaggio temporaneo) e le possibili interfacce di trasporto fra i vari mezzi di trasporto.

In alcune interfacce viene trasferito solo il "container", mentre in alcune situazioni viene trasferita anche la sostanza (bulk). I rischi a cui si va incontro sono diversi. Nel caso di trasferimento di container i rischi sono legati ad incidenti durante la movimentazione del contenitore (contenitore che cade e lascia fuoriuscire il contenuto, perforazioni dovute ai denti degli elevatori a forza). Nel caso di trasferimento della sostanza i rischi sono legati alla fuoriuscita del liquido dovuta a malfunzionamenti nel sistema di trasferimento (manicotti, valvole, ...).

3. LE MERCI PERICOLOSE NEL TRASPORTO: LA NORMATIVA INTERNAZIONALE

UN Recommendation (Orange Book)

Scopo del "libro arancio" (United Nations Recommendations on the Transport of Dangerous Goods) e' quello di facilitare la libera circolazione delle merci garantendo contemporaneamente la maggior sicurezza possibile mediante un processo di qualificazione che si concretizza con delle raccomandazioni da osservare nell'esercizio dell'attività'. Tali raccomandazioni si calano quindi nei vari regolamenti internazionali (ADR, RID, IMO, ICAO/IATA) che presiedono rispettivamente il trasporto su strada, per ferrovia, marittimo e aereo e sono modulate in funzione delle specificità' del sistema di trasporto considerato. Il rispetto degli adempimenti che regolano il trasporto delle merci pericolose richiede in prima analisi, in relazione ai rischi che presentano, l'individuazione della loro classe di appartenenza da cui derivano disposizioni particolari relative a idoneità dei veicoli, etichettatura e marcatura dei mezzi, documentazione di viaggio, divieti di carico in comune, ecc.

Tuttavia la classificazione della pericolosità' presentata nel "libro arancio" non collima con quella sui rischi di incidenti rilevanti (Seveso II). In Tabella 4 sono confrontate le due classificazioni per le sostanze pericolose nel trasporto (Orange Book) e per le installazioni fisse (Seveso II)

Esistono delle differenze nelle due classificazioni di cui è necessario tenere conto quando si affronta il problema del trasporto di sostanze pericolose. La classificazione secondo la Direttiva Seveso include le sostanze pericolose per l'ambiente e le sostanze che rilasciano gas tossici a contatto con l'acqua che non vengono specificate nell'Orange Book dove sono invece presenti le sostanze radioattive che non rientrano negli scopi della direttiva Seveso. Va rilevata anche una differenza nei limiti che si trovano nelle due classificazioni e nei diversi metodi di calcolo utilizzati per il calcolo del riferimento. Questa diversità rappresenta un problema che non può essere trascurato in uno studio che tratta del trasporto di sostanze pericolose, in quanto ci si ritrova ad essere confrontati con due classificazioni diverse, una per la sostanza all'interno dello stabilimento e un'altra per la sostanza durante la fase del trasporto. Un primo passo verso l'omogeneizzazione dei criteri e' stato fatto con il Decreto Ministeriale 05/11/1997 "Modalità' di presentazione e di valutazione dei rapporti di sicurezza degli scali merci terminali di ferrovia", in cui e' riportata una tabella di corrispondenza tra le diverse classificazioni. E' evidente quindi la necessità' di porsi come obiettivo l'uniformazione di tali informazioni, soprattutto in vista della redazione di analisi dei rischi d'area.

Tabella 4. Classificazione delle sostanze pericolose: Orange Book – Direttiva Seveso

Raccomandazioni delle Nazioni Unite – Orange Book	Direttiva Seveso II
Classe 1 Materie ed oggetti esplosivi	1) sostanze specificate (Allegato I, parte 1)
Classe 2 Gas compressi, liquefatti o disciolti sotto pressione	2) molto tossiche
Classe 3 Materie liquide infiammabili	3) tossiche
Classe 4.1 Materie solide infiammabili	4) comburenti
Classe 4.2 Materie soggette ad accensione spontanea	5) esplosive (R2)
Classe 4.3 Materie che a contatto con acqua sviluppano gas infiammabili	6) estremamente esplosive (R3)
Classe 5.1 Materie comburenti	7) infiammabili
Classe 5.2 Perossidi organici	8) facilmente infiammabili
Classe 6.1 Materie tossiche	9) estremamente infiammabili
Classe 6.2 Materie infettanti	10) sostanze pericolose per l'ambiente (R 50, R51, R 53)
Classe 7 Materie radioattive	11) altre categorie non rientranti in quelle sopra citate (R14, R14/15, R29)
Classe 8 Materie corrosive	
Classe 9 Materie pericolose diverse	

La situazione legislativa italiana nel trasporto di sostanze pericolose, e' legata alle regolamentazioni internazionali sopra citate e, per quanto riguarda le interfacce di trasporto, all'emanazione del DLgs 334/1999 (Seveso II). Gli scali merci ferroviari e i porti industriali e petroliferi rientrano nella disciplina di tale decreto (art.4). Inoltre e' di recente emanazione il DLgs 40/2000 di attuazione della direttiva 96/35/CE che impone alle imprese che effettuano trasporto di sostanze pericolose di designare un consulente per la sicurezza dei trasporti su strada, per ferrovia o per via navigabile di merci pericolose.

4. RASSEGNA DI METODOLOGIE NELL'ANALISI DEI RISCHI PER TSP

4.1 Metodi qualitativi di screening

I metodi qualitativi possono variare da semplici checklist a metodi basati sul rischio che prendono in considerazione sia la frequenza sia le conseguenze e forniscono un risultato numerico. Tecniche di screening basate sulle conseguenze e che fanno ricorso ad algoritmi semplificati sono frequenti. Le tecniche di screening sono utilizzate per giustificare l'applicazione di metodi di analisi quantitativa del rischio alle sole aree relativamente più critiche.

Metodo Dow Chemical

Dow Chemical ha sviluppato un metodo che consente di individuare quelle sostanze che presentano il rischio potenziale più elevato nel trasporto. Il metodo si basa sull'identificazione dell'indice di rischio (Distribution Ranking Index – DRI) della sostanza. Generalmente il DRI indica pericolo acuto per l'uomo e/o l'ambiente potenzialmente coinvolti nel rilascio di una sostanza nella fase di trasporto. Per ogni sostanza sono definiti sette specifici indici: Incendio e esplosione, Esposizione chimica, Inalazione tossica, Tossicità acquatica, Tossicità per assorbimento cutaneo, Corrosività. Le sostanze che presentano DRI=4 (più alto) sono successivamente valutate tramite TRAS (Transportation Risk Assessment Screen) per identificare quelle sostanze che richiedono un'analisi più approfondita (quantitativa).

Sempre Dow Chemical ha sviluppato un sistema indicizzato per le condotte. Il metodo, chiamato RISP (Relative Index of Pipeline Safety), consente di calcolare il rischio relativo di una condotta, basandosi su quattro indici che prendono in considerazione le caratteristiche delle condotte per quanto riguarda: 1) danno dovuto a terzi, 2) corrosione, 3) progetto e 4) operazioni incorrette. Ogni indice riceve un punteggio fra 0 e 100 e la somma totale e' aggiustata mediante un fattore correttivo, che tiene in considerazione la prossimità a zone abitate e i pericoli della sostanza.

Metodo speditivo

Il metodo Speditivo, proposto dal Dipartimento italiano per la Protezione Civile [7], si basa sul calcolo delle aree di danno. Il metodo è stato derivato dal metodo IAEA con lo scopo di ottenere uno strumento di rapida

applicazione per la stima delle conseguenze di incidenti da utilizzarsi per la predisposizione dei piani provvisori di emergenza esterna.

Il calcolo delle aree di danno viene eseguito in base alla sostanza, alla quantità (presumibilmente coinvolta nell'incidente) e alle modalità di stoccaggio.

Per ciascuna tipologia di incidente (incendio, esplosione e rilascio tossico) il metodo fornisce due zone:

- *Zona di sicuro impatto*, nella quale tutte le persone esposte subiscono danni irreversibili;
- *Zona di danno*, nella quale tutte le persone esposte subiscono danni reversibili.

La forma dell'area di danno dipende dal tipo di incidente e viene ricavata automaticamente dal metodo in funzione delle caratteristiche della sostanza.

Il metodo tiene in considerazione anche il trasporto delle sostanze pericolose nella valutazione dei piani di emergenza di aree industriali.

Metodo IAEA

Questo metodo consente di individuare rapidamente i livelli di rischio delle diverse sorgenti (impianti fissi e trasporti) localizzate in aree residenziali, per stabilire le necessarie priorità nell'analisi di rischio d'area [8]. In base ai risultati viene definita, per ciascuna sorgente, la procedura da applicare per la successiva quantificazione del rischio. Questo metodo, come sottolineato dalla IAEA non è utilizzabile per prendere decisioni circa l'accettabilità del rischio e per la definizione dei piani di emergenza (essendo le valutazioni pessimistiche) poiché considera volutamente le condizioni in cui si sviluppa l'incidente più grave.

Il metodo è applicabile sia a impianti fissi sia ai trasporti di sostanze pericolose e consente di calcolare rapidamente il rischio attraverso il calcolo delle frequenze *F* di accadimento degli incidenti e dell'entità delle conseguenze *C* espresse in termini di numero di vittime. I risultati *F* e *C* vengono rappresentati sul piano *F-C*.

Il metodo tiene in considerazione il trasporto di sostanze pericolose come attività a rischio. Il trasporto è considerato nella fase di calcolo della frequenza, mentre per quanto riguarda le conseguenze il metodo non differenzia fra installazioni fisse e trasporto in quanto in entrambi i casi le conseguenze sono riconducibili alla stessa casistica.

4.2 Metodi quantitativi

L'analisi quantitativa del rischio per il trasporto di sostanze pericolose come proposta da CCPS – Guidelines for Chemical Transportation Risk Analysis [4] si svolge attraverso i seguenti passaggi:

- definizione dello scopo dell'analisi del rischio;
- descrizione del tipo di movimento: mezzo, contenitore, materiale, condizioni del tempo, strada di origine e destinazione, dati sulla popolazione, numero di viaggi, volumi trasportati;
- identificazione dei pericoli e dell'evento iniziatore: si distingue in eventi iniziatori incidentali (dati storici) e eventi iniziatori non incidentali (che possono essere determinati attraverso le tecniche di identificazione dei pericoli);
- enumerazione degli incidenti: identificazione e tabulazione di tutti gli incidenti, senza considerarne l'importanza o l'evento iniziatore;
- scelta di uno o più incidenti significativi rappresentativi di tutti gli incidenti individuati e identificazione delle conseguenze dell'incidente;
- stima delle conseguenze per determinare il potenziale di danno da specifici incidenti;
- stima della probabilità;
- stima del rischio;
- utilizzo della stima del rischio ai fini del processo decisionale.

Può essere appropriato fermare l'analisi ad uno dei punti sopra elencati, nel caso in cui si siano già ottenute le informazioni necessarie. Lo scopo di uno studio può essere quello, ad esempio, di identificare i pericoli senza dover arrivare al calcolo del rischio. Nella definizione di una metodologia per l'analisi dei rischi è molto importante avere chiaro lo scopo dell'analisi, cioè quale obiettivo si pone lo studio del rischio associato ad un determinato mezzo di trasporto. L'obiettivo dello studio consente di determinare il grado di dettaglio dell'analisi e il tipo di analisi (qualitativa o quantitativa). Ad esempio, in un'analisi qualitativa o di screening, alcuni dei passaggi sopra non vengono presi esplicitamente in esame.

I tre fattori che guidano lo scopo generale di un'analisi del rischio sono:

- l'obiettivo dell'analisi (se ci si limita alle conseguenze o al calcolo del rischio),
- la natura e complessità dello studio (se qualitativo, semi-quantitativo o quantitativo) e

- il numero di scenari incidentali che si vogliono prendere in esame.

Questi fattori determinano lo scopo e il grado di dettaglio di uno studio del rischio. Le possibili alternative possono variare da semplici studi qualitativi a dettagliate analisi quantitative. Lo scopo iniziale dell'analisi non deve mai essere perso di vista durante l'analisi per poter controllarne i progressi ed evitare di prendere delle direzioni sbagliate.

5. PROPOSTA PER UNA METODOLOGIA DI SCREENING

La metodologia di screening sviluppata per il progetto in esame si prefigge i seguenti obiettivi::

- Esaminare la situazione complessiva dal punto di vista del rischio per una certa area o per un certo percorso con l'obiettivo di dare una priorità' alle azioni/interventi da intraprendere;
- Identificare delle tratte di un percorso o un punto di interesse (incroci, scambi ferroviari, ecc.) che richiedono una valutazione più dettagliata;
- Sviluppare un Indice di Rischio che prenda in considerazione la frequenza di un potenziale incidente e la severità' delle sue conseguenze.

La metodologia proposta consente di determinare:

- Un **Indice di Rischio**. Questo indice di rischio permette di caratterizzare il livello di rischio in un modo approssimato, ma rappresentativo, cioè' proporzionale al livello di rischio. Pertanto, tale indice e' utile nell'identificazione delle aree che richiedono un'analisi più' dettagliata e nel dare una priorità' alle azioni da intraprendere;
- Le **Zone di Danno** che descrivono le conseguenze degli eventi più' importanti (utile nella Pianificazione delle Emergenze e nella Pianificazione del Territorio). Il metodo utilizza a questo riguardo, la classificazione proposta dal Metodo Speditivo e dal metodo IAEA, dettagliandola maggiormente. Il metodo proposto prende, infatti, in considerazione tre zone (a differenza delle due zone proposte dal Metodo Speditivo):
 - i) zona ad "elevato impatto": corrispondente al rischio condizionale di fatalità pari a 50 % (es. LC50 per il rilascio di sostanze tossiche)
 - ii) zona a "effetto letale": corrispondente al rischio condizionale di fatalità pari a 1 % (es. LC1 per il rilascio di sostanze tossiche)
 - iii) zona a "effetto irreversibile": corrispondente a IDLH (Immediately Dangerous for Life and Health)
- La **Frequenza** dei principali scenari incidentali per ogni tratto di percorso o punto di interesse (incroci, scambi ferroviari, interfacce). Ciò' e' utile nell'identificazione di aree ad alta frequenza di incidentalità' e nel dare una priorità' alle azioni da intraprendere per la riduzione del rischio;
- Il **Rischio per i Passeggeri**. Viene preso in considerazione anche il rischio a cui sono soggette le persone che utilizzano il mezzo di trasporto in esame (automobilisti per il trasporto stradale, passeggeri nel trasporto ferroviario, ecc.);
- Eventuali **Effetto Domino**. Quando il percorso si trova in prossimità' di installazioni fisse che trattano o stoccano sostanze pericolose, viene presa in considerazione anche la possibilità' di avere un'escalation dell'evento incidentale e l'analista viene avvertito di questa possibilità';
- Il **Rischio associato all'Interfaccia** di trasporto. Il rischio totale dell'interfaccia di trasporto viene calcolato come somma del rischio dovuto all'ingresso del mezzo all'interfaccia (R – ingresso), del rischio dovuto alla movimentazione del mezzo e alle operazioni (R – operazioni), del rischio dovuto alla presenza del mezzo all'interfaccia (R- presenza) e del rischio dovuto all'uscita del mezzo dall'interfaccia (R – uscita). Il rischio dovuto alle operazioni/movimentazioni e' legato alle manovre (es. spostamento dei treni negli scali ferroviari), carico/scarico e alla manutenzione del mezzo. Il rischio legato alla "presenza" (R – presenza) del mezzo all'interfaccia e' legato ad esempio a corrosione, sovrappressione etc.
- **Mappatura del Rischio e delle Zone di Danno**: il metodo fornisce una mappatura del rischio su un supporto GIS.

La metodologia prende in considerazione anche il problema posto dalle gallerie e ne considera sia il calcolo delle conseguenze che quello delle probabilità'.

La metodologia si sviluppa attraverso i seguenti punti:

- censimento delle attività di trasporto e interfaccia di trasporto a rischio presenti nell'area di interesse;

- suddivisione del percorso scelto (su strada, ferrovia, acqua, condotta) in tratte di 1 km e all'interno di ogni tratta si identifica il punto più prossimo alle aree popolate;
- stima delle conseguenze esterne di un incidente (conseguenze espresse come numero di morti provocati da ognuno dei mezzi di trasporto/interfacce presi in esame)
- stima della probabilità di incidente rilevante;
- determinazione dell'indice di rischio associato ad ogni attività presa in esame;
- assegnazione di una priorità per un'analisi successiva per le diverse attività considerate.

L'analisi viene ripetuta per tutte le sostanze trasportate sullo stesso percorso o presenti alle interfacce e per tutti i mezzi di trasporto e le interfacce presenti nell'area in esame.

Valutazione delle conseguenze

Per la valutazione delle conseguenze dovute ad una certa sostanza sono presi in considerazione i seguenti fattori:

- zona di danno (ettari) – legata al tipo di sostanza e al quantitativo trasportato,
- densità della popolazione nella zona definita (persone/ha),
- fattore correttivo per l'area popolata (richiede la valutazione dell'angolo medio dell'area popolata all'interno dell'area circolare di interesse),
- stima della frazione della "lunghezza" o profondità dell'area popolata rapportata al raggio dell'area di interesse,
- fornisce una stima della frazione dell'area popolata all'interno dell'area di impatto,
- fattore correttivo che tiene in considerazione eventuali azioni mitiganti che possono essere prese dalle persone (evacuazione, riparo...), queste azioni dipendono molto dal tipo di incidente e dalla sostanza coinvolta.

Il risultato fornisce la stima del numero di morti in caso di incidente. Il calcolo va ripetuto per tutte le sostanze pericolose e per tutti i mezzi di trasporto e interfacce di trasporto presenti nell'area

Nel calcolo della densità della popolazione vengono presi in considerazione anche gli utilizzatori del mezzo di trasporto (automobilisti, passeggeri, ecc.)

Valutazione delle frequenze

Per il calcolo della frequenza vengono presi in considerazione fattori correttivi per:

- condizioni di sicurezza del mezzo trasporto,
- tipologia della strada (pendenza, curve/km, incroci/km, etc.)
- frequenza delle operazioni di carico e scarico,
- densità del trasporto stradale (numero di veicoli/anno),
- condizioni atmosferiche,
- termine "fattore umano".

La metodologia sviluppata si basa sulla valutazione delle conseguenze utilizzata nel Metodo Speditivo e sulla classificazione delle conseguenze e calcolo delle probabilità utilizzati nel metodo IAEA. Tuttavia, la metodologia proposta è meglio adattata a soddisfare le esigenze e problematiche imposte dalle interfacce di trasporto. Per questo motivo è stata apportata una serie di modifiche ai metodi sopra citati, modifiche che consentono di meglio approfondire il problema posto dalle interfacce di trasporto. Inoltre lo scopo della metodologia proposta è differente da quello che si prefigge il metodo IAEA. Lo scopo, infatti, del metodo IAEA è quello di dare una priorità alle azioni da intraprendere in un'area a rischio, dando maggiore risalto al rischio connesso alle installazioni fisse e trattando piuttosto grossolanamente il problema del trasporto. Il metodo proposto prende in considerazione solamente il trasporto e l'analisi relativa è quindi maggiormente dettagliata, senza pur tuttavia richiedere troppi dati.

La metodologia è nella sua fase finale di elaborazione. In seguito, sarà operata una verifica ed una sua applicazione ad un caso particolare.

6. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Il trasporto di sostanze pericolose contribuisce in maniera rilevante al rischio associato ad una certa area. L'analisi del rischio nel trasporto di sostanze pericolose risulta meno avanzata rispetto a quella per le installazioni fisse ed alcuni dei motivi sono, ad esempio, il cambiamento continuo degli scenari incidentali, la presenza di centri di vulnerabilità lungo il percorso, l'assenza di un servizio di pronto intervento specialistico sul luogo dell'incidente, ecc. Col presente lavoro si è voluta definire la problematica posta dal trasporto di sostanze

pericolose e dall'interfacciamento tra i modi. In particolare si e' proposta una metodologia che consente una rapida valutazione del rischio associato ad un'area prendendo in considerazione tutti i mezzi di trasporto e i possibili punti di interfacciamento fra modi. Tale metodologia, su supporto GIS, consente di fornire rapidamente una mappatura del rischio e delle zone di danno in una certa area e fornisce un ordine di priorit  per le azioni e gli interventi da intraprendere per la riduzione del rischio.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro e' sviluppato nell'ambito di un progetto di ricerca finanziato dall'Istituto Superiore di Prevenzione e Sicurezza Lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M.C. Christou, "*Analysis and control of major accidents form the intermediate temporary storage of dangerous substances in marshalling yards and port areas*" Journal of Loss Prevention, Vol. 12 (1999)
- [2] J.A. Vilchez, et al, *Historical analysis of accidents in chemical plants and in the transportation of hazardous materials*, J. of Loss Prev. Process Ind., Vol. 8, pp.87-96, 1995.
- [3] P. Haastrup and L. Brockoff, "*Severity of accidents with hazardous materials. A comparison between transportation and fixed installations*", Journal of Loss Prevention, , Vol.3 (1990)
- [4] Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Transportation Risk Analysis*, 1995.
- [5] P. C. Cacciabue, *Human Factors impact on risk analysis of complex systems*, J. of Hazardous Materials, Vol. 71 pp. 101-116, 2000
- [6] M. Anderson, *Human Factors analysis of tanker transfer operations*, paper presented at "Transporting Dangerous Goods", London 11-12 May 1999
- [7] Dipartimento della Protezione Civile, "*Metodo speditivo per la valutazione delle distanze nella pianificazione provvisoria*",
- [8] IAEA, "*Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries*", 1996