

# IMPIANTI INDUSTRIALI INTERESSATI DA INCIDENTI CONNESSI AL TRASPORTO DI SOSTANZE PERICOLOSE: PROPOSTA DI METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO BASATA SUL DANNO ECONOMICO

Mariano Ciucci<sup>1</sup>, Giambattista Guidi<sup>1</sup>, Ugo Poli<sup>1</sup>, Barbara Mazzarotta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ISPESL – Dipartimento Insediamenti Produttivi ed Interazione con l’Ambiente, Via Urbana, 167 – 00184 Roma

<sup>2</sup>Dipartimento di Ingegneria Chimica, Università di Roma “La Sapienza”, Via Eudossiana, 18 – 00184 Roma

Il lavoro propone un approccio metodologico finalizzato alla quantificazione del rischio subito dagli stabilimenti in cui si svolgono attività industriali in conseguenza al trasporto di merci infiammabili, sia in transito che dirette o provenienti dagli stabilimenti stessi. In particolare si è messa a punto una metodologia per la valutazione del danno economico subito dagli stabilimenti, che, accoppiata con le metodiche che portano alla determinazione di frequenze di accadimento ed aree di impatto dei possibili incidenti, consente di determinare delle curve cumulative di rischio economico “societario”, analoghe alle curve F-N utilizzate per la valutazione del rischio sociale. La metodologia proposta è stata applicata ad un caso di trasporto stradale di GPL tra uno stabilimento di origine ed alcuni grossi depositi che provvedono alla sua distribuzione sul territorio.

## 1. INTRODUZIONE

I metodi per l’analisi di rischio, sviluppati per gli impianti fissi, sono concettualmente applicabili anche al caso del trasporto di sostanze pericolose. In realtà, l’analisi del rischio in questo caso è decisamente più complessa a causa dell’estrema variabilità delle condizioni che influenzano sia la probabilità di accadimento di un evento incidentale che le sue conseguenze. Infatti, la valutazione del rischio nel trasporto di sostanze pericolose necessita di informazioni territoriali, principalmente legate al percorso seguito dal mezzo che effettua il trasporto, che può essere quindi considerato come una sorgente di rischio in movimento. In questo caso, quindi, l’ambiente circostante è soggetto a variazioni anche notevoli, mentre nel caso degli impianti fissi si conosce perfettamente ciò che lo circonda.

In termini generali, la quantificazione di un rischio richiede di stimare la probabilità che, in un dato intervallo di tempo, si verifichi un evento pericoloso e di valutare le conseguenze che un tale evento può avere su persone, ambiente o cose. Mentre l’individuazione degli eventi pericolosi finali deriva direttamente dalla tipologia del prodotto trasportato e dal suo stato fisico, la probabilità di accadimento dell’evento pericoloso dipende da un gran numero di fattori. Ad esempio, la probabilità di incidente dipende infatti dalla tipologia di trasporto (strada, ferrovia, ...), dalle caratteristiche del percorso, da quelle del mezzo e da altri fattori (condizioni meteorologiche, traffico, errore umano, ...). I valori di probabilità e di frequenza presi in esame derivano, generalmente, da dati storici. Tuttavia le informazioni disponibili sono spesso scarse o riferite a situazioni differenti da quelle in esame (es. incidentalità relativa a tutti i veicoli pesanti e non solo a quelli trasportanti sostanze pericolose). Ciò aggiunge incertezza all’analisi e non consente di tenere nella dovuta considerazione tutti i fattori coinvolti. Occorre pertanto individuare preliminarmente i parametri principali che influenzano i passi successivi che portano al verificarsi di un incidente e alla sua evoluzione verso l’evento pericoloso, per poi relazionare ciascuno di questi eventi con i fattori che maggiormente ne influenzano la probabilità di accadimento.

L’analisi delle conseguenze dell’evento pericoloso richiede la stima delle zone in cui esso causi l’instaurarsi di livelli di radiazione termica o sovrappressioni tali da causare un danno predeterminato. Nella maggior parte degli studi di analisi di rischio per impianti fissi e per il trasporto di sostanze pericolose, l’analisi delle conseguenze è riferita alle persone ed il “danno” considerato è la morte dell’individuo esposto. Nella valutazione del danno economico, invece, l’attenzione va focalizzata sulle soglie di radiazione termica e sovrappressione in grado di causare danni alle strutture ed agli impianti.

In entrambi i casi, i dati necessari per effettuare un’analisi delle conseguenze, dato uno scenario incidentale, sono le caratteristiche chimico-fisiche del prodotto, le condizioni meteorologiche e le caratteristiche del territorio circostante, che tra l’altro, influenzano la dispersione nell’ambiente. Si procede quindi alla simulazione delle varie sequenze di eventi che portano all’evento pericoloso finale (ad esempio: sversamento → pozza → evaporazione → nube di vapori → innesco → flash fire) utilizzando un codice di calcolo scelto tra quelli attualmente disponibili per calcolare i campi di radiazione termica e sovrappressione risultanti. Preliminarmente, occorre tuttavia intervenire selezionando scenari incidentali tipici e condizioni meteo di riferimento, per le quali eseguire un numero ragionevole di simulazioni.

La valutazione del rischio porta ad una sua misura finale che viene generalmente espressa, con riferimento alle persone, in termini di rischio individuale e/o di rischio sociale. Quest'ultimo rappresenta, sotto forma di una curva detta F-N, il legame tra la frequenza cumulativa F degli eventi, in grado di causare il danno di riferimento ad un numero di individui uguale o superiore ad N, ed N stesso.

Gli effetti degli eventi incidentali dovuti al trasporto di sostanze pericolose di cui all'allegato I parte I del D.Lgs. n. 334/99 [1], sono prioritariamente valutati con riferimento alla sicurezza e salute dei lavoratori e della popolazione, rimandando ad una valutazione successiva la determinazione delle conseguenze sulle strutture e sull'ambiente e dei danni indiretti e diretti sul patrimonio. Allo stato attuale, le analisi del rischio applicate a casi di trasporto si focalizzano essenzialmente sui potenziali danni alle persone, e mancano applicazioni che tengano conto anche dei rischi per l'ambiente e le strutture. Specie per l'ambiente l'elevato numero delle variabili in gioco e la difficoltà di definire i parametri di comparazione dei vari tipi di agente-recettore-danno non hanno, finora, consentito di pervenire alla definizione di metodologie di valutazione accettabili. Tuttavia, non vi è dubbio che il trasporto di prodotti chimici pericolosi debba, in ogni caso, garantire, agli operatori e alla collettività, le condizioni di massima sicurezza ragionevolmente attuabili, impedendo, per quanto è possibile, perdita di vite umane, danni alle persone, contaminazione dell'ambiente ed anche danni gravi di tipo tecnico-economico alle imprese interessate e all'esterno dello stabilimento.

Con il presente lavoro si intende integrare le metodologie di analisi di rischio relative al trasporto di sostanze pericolose, tradizionalmente riferite al rischio individuale e sociale sofferto dalle persone, con la valutazione dei danni subiti da impianti industriali, potenzialmente interessati, a causa della loro ubicazione, da eventi incidentali connessi a questo tipo di attività. In particolare, l'attenzione sarà focalizzata sulla valutazione quantitativa del rischio, espresso in termini economici, subito dagli impianti industriali a seguito di incendi ed esplosioni causati da incidenti verificatisi durante il trasporto di prodotti infiammabili e/o esplosivi. Non saranno invece considerati gli effetti del rilascio di sostanze tossiche, in quanto questi si ripercuotono solo indirettamente sugli impianti, attraverso i danni indotti da turbative al presidio dell'impianto. Scopo finale del lavoro è pervenire alla costruzione di curve di rischio "societario" F-D, dove D rappresenta il danno economico subito dall'impianto, analoghe alle curve F-N correntemente in uso per il rischio sociale.

## 2. DATI STORICI SUI DANNI ECONOMICI A SEGUITO DI INCIDENTI

Esistono numerose banche dati internazionali che riportano gli incidenti verificatisi durante il trasporto di merci pericolose. Le più note sono:

MHIDAS (*Major Hazard Incident Data Service*) – *Health & Safety Executive* – UK

FACTS (*Failure and Accidents Technical Information System*) – TNO – NL

MARS (*Major Accident Reporting System*) – Istituto per la Progettazione dei Sistemi e l'Informatica – Centro Comune di Ricerca della Commissione Europea – Ispra.

La maggior parte di esse alla voce danni riporta solo il numero di morti o di feriti, ed eventualmente il numero di intossicati o di evacuati (danni alla salute umana), mentre poche evidenziano, oltre ai danni alle persone, i danni all'ambiente (distruzione della flora, della fauna, inquinamento di falde acquifere, ecc.).

Per quanto concerne i danni economici, la banca dati MARS contiene alcune voci relative a:

- perdite materiali (sia interne che esterne allo stabilimento);
- risanamento ambientale.

Sono stati esaminati gli incidenti avvenuti in Italia nel periodo compreso tra il 1996 ed il 1999. Nel suddetto periodo si sono verificati 11 incidenti; in 7 casi viene riportato il valore relativo ai danni materiali, il cui valor medio ammonta a circa 3 miliardi di lire, mentre solo 2 casi riportano anche il dato relativo alla mancata produzione.

Va comunque tenuto presente che è difficile quantificare la percentuale dell'impianto che risulta danneggiata in seguito all'incidente in quanto, al verificarsi di un incidente, nei rapporti viene fornita un'indicazione del danno materiale subito senza entrare in dettaglio nella percentuale d'impianto danneggiata. Ad esempio, dall'analisi della banca dati MARS si nota che spesso è riportata la descrizione dettagliata degli effetti dell'incidente, consistente in un elenco dei componenti danneggiati dell'impianto: tuttavia, poiché manca una lista completa di tutti i componenti dell'impianto, è alquanto difficile ricavare la percentuale di danno subita dall'impianto.

Nella banca dati incidenti dell'OECD (*Organization for Economic Cooperation and Development*) i dati sono presentati sotto forma di schede, suddivise in campi tematici ove, tra l'altro, sono indicate le misure adottate o auspicate in merito ad ulteriori ricerche sulla sicurezza e sulla tutela ambientale, al potenziamento della sorveglianza ed al controllo dell'applicazione delle normative esistenti, nonché all'adozione di nuove misure di sicurezza.

Per quanto riguarda le conseguenze degli incidenti sugli impianti, nel settore chimico e petrolchimico accanto ad una probabilità di accadimento relativamente bassa, si evidenzia un'elevata dimensione potenziale dell'evento dannoso, tale da creare non lievi problemi al mercato assicurativo.

A tale riguardo, è convinzione diffusa a livello mondiale che i premi pagati dall'industria chimica e petrolchimica possano, in un futuro molto prossimo, essere rivisti in quanto, di norma, il cliente assicurato pretende di pagare un premio commisurato alla sua recente *loss history*, specialmente se la stessa risulta positiva, e non alla possibile entità del danno. Il principio della solidarietà mutualistica non riesce più a trovare concreta applicazione e l'assicurato non colpito da eventi negativi particolarmente rilevanti, non è disposto a dividere e sopportare il costo del rischio con chi invece è responsabile del negativo bilancio degli assicuratori. Questa mancanza di solidarietà comporta inevitabilmente un miglioramento sia del processo di identificazione dei rischi sia dei metodi di valutazione da parte delle compagnie assicuratrici. Esse devono concentrarsi sui rischi reali e basare il calcolo necessario per pervenire ad una corretta formulazione del premio tecnico, non solo sulla frequenza ma anche sull'effettiva potenzialità di danno catastrofico che caratterizza l'industria petrolchimica [2].

Infine, la J&H Marsh & Mc Lennan Italia elabora ogni anno un fascicolo il cui titolo è *Large Property Damage Losses in the Hydrocarbon-Chemical Industries* [3]. Tale pubblicazione evidenzia i 100 più importanti sinistri verificatesi negli ultimi 30 anni. Da una delle più recenti emerge che il valore medio del danno, nell'arco temporale che va dal 1964 al 1994, è pari a 67.500.000 di dollari USA. Inoltre è riportato anche che, nel settore petrolifero e petrolchimico, il rapporto tra danno indiretto e danno materiale è di 4 a 1.

### 3. VALUTAZIONE DEL DANNO ECONOMICO

Sulla base della classificazione degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante, è stato possibile procedere ad una stima del loro impatto economico, derivante dagli effetti incidentali: tale valutazione è stata effettuata in base al profilo dell'attivazione indotta dalle loro attività economiche sul sistema economico considerato nella sua globalità [4].

Per studiare gli effetti dello svolgimento di un'attività economica in un certo settore, si ricorre, di norma, al modello input-output, o delle dipendenze intersettoriali, formalizzato da W. Leontief negli anni 30.

In Italia l'ISTAT costruisce periodicamente tavole input-output dell'economia nazionale, tramite le quali è possibile analizzare l'impatto economico degli impianti a rischio di incidente rilevante. Dai flussi delle transazioni intermedie tra le branche, è possibile calcolare una serie di coefficienti che consentono di determinare, per ciascuna branca, la domanda diretta di beni e servizi necessari per il processo produttivo, la quota di valore aggiunto, l'attivazione globale (domanda diretta ed indiretta) di beni e servizi, cioè l'insieme dei beni e servizi direttamente ed indirettamente necessari alla realizzazione e alla gestione degli stessi.

Pertanto la valutazione dell'impatto economico delle attività produttive degli impianti a rischio richiede la valutazione delle attivazioni di valore aggiunto diretto ed indiretto per una misura del contributo di quelle attività alla crescita delle risorse economiche per il sistema produttivo nel suo complesso. Si può pervenire alla stima degli effetti diretti di attivazione del valore aggiunto conoscendo il numero di addetti in media per unità produttiva ed il valore aggiunto prodotto per addetto. Per la valutazione degli effetti indiretti di attivazione del valore aggiunto occorre far riferimento alle tavole delle interdipendenze settoriali.

Nella valutazione dei danni subiti dall'impianto gli eventi incidentali primari che possono essere presi in considerazione sono gli incendi, le esplosioni ed i rilasci di sostanze tossiche, per ciascuno dei quali si possono verificare effetti di diversa entità. Nell'analisi delle conseguenze occorre definire un "danno di riferimento": tra i parametri che possono essere presi in esame, molto spesso si considerano i numeri di persone morte, ferite ed evacuate a seguito dell'evento incidentale.

La valutazione economica degli effetti negativi degli eventi incidentali è alquanto difficoltosa. Infatti, un evento incidentale può comportare non solo danni diretti ed immediati, ma può anche produrre variazioni negative nei flussi di produzione, e quindi perdite di profitti nei settori direttamente o indirettamente colpiti dall'evento incidentale. Ulteriori perdite, solitamente trascurate, sono quelle indotte in settori collegati, da rapporti di domanda ed offerta, con quelli colpiti direttamente. Queste perdite "indotte" sono particolarmente evidenti quando non esiste la possibilità locale di sostituzione immediata dei prodotti persi nel settore colpito dall'evento. Dal punto di vista economico, un evento incidentale può generare le seguenti tipologie di danno:

- 1) danni diretti immediati, comprendenti: danni diretti alla vita umana, perdita di vite umane, danni alla salute, danni alle attività produttive, danni ai mezzi di produzione, perdite di scorte, danni all'ambiente, perdite o danni alle strutture, perdite o danni a beni ambientali e storico-culturali;
- 2) danni diretti differiti, comprendenti: mancati guadagni delle persone danneggiate fisicamente, mancata produzione di reddito durante il periodo di recupero e ritorno alla normalità nei settori direttamente colpiti della zona interessata e mancata erogazione di beni e servizi pubblici e privati;
- 3) danni indotti, comprendenti le perdite di produzione in settori collegati da domanda ed offerta con quelli direttamente colpiti.

Per quanto concerne i danni alle persone, essi sono generalmente riferiti alle unità di vite umane perse. Nell'impossibilità di determinare un valore specifico della vita umana, è prassi comune, nelle valutazioni economiche, stimare il valore della vita umana in relazione alla capacità di produzione di reddito degli individui rapportata alla vita media ed al periodo lavorativo interrotto dall'evento morte. Si è assunto un valore della vita umana pari a 1.500 milioni di lire che deriva dal considerare una capacità media di produzione di reddito pari a 50 milioni di lire l'anno ed un periodo produttivo pari a 30 anni.

La perdita di beni capitali misura i danni causati ai mezzi di produzione, localizzabili generalmente presso gli stessi impianti a rischio dove si verifica l'evento incidentale. Il danno di riferimento viene allora definito dal valore dei beni capitali persi a causa dell'evento incidentale. Il valore massimo del danno si esprime tramite la perdita totale del capitale investito negli impianti in cui si verificano gli incidenti. Alla stima del valore dei beni capitali da considerare installati presso gli impianti a rischio si può pervenire attraverso i parametri di investimento medio per addetto.

La perdita diretta di prodotto misura i danni causati agli stabilimenti produttivi direttamente coinvolti dagli eventi incidentali. Il valore del danno massimo si ricava moltiplicando il numero degli addetti per il valore aggiunto per addetto.

La perdita indiretta di prodotto misura gli effetti indotti sui settori produttivi collegati a quelli direttamente coinvolti negli eventi incidentali.

L'interesse per la valutazione degli aspetti economici associati ad eventi incidentali è piuttosto vivo nella comunità internazionale. Infatti recentemente l'OECD ha intrapreso uno studio sugli aspetti economici associati agli incidenti [5] che coinvolgono sostanze pericolose. La delegazione svizzera ha preparato un documento intitolato "*Guidance for performing case studies on costs of major accidents*", accolto favorevolmente da un certo numero di Paesi che hanno mostrato il loro interesse contribuendo con dei *case-studies*. Canada, Repubblica Ceca, Finlandia, Francia, Germania, Polonia, Svezia, Svizzera e Stati Uniti hanno inviato nove *case-studies*. Tre di questi riguardano incidenti relativi al trasporto di sostanze pericolose. Gli elementi presi in esame, ai fini della valutazione del costo complessivo dell'incidente, sono molteplici e comprendono i danni alla proprietà, la perdita di produzione, le spese legali, il numero di morti, il numero di feriti, il numero di persone rimaste senza tetto, i danni alla produzione agricola, i danni all'ambiente e la perdita di immagine per l'azienda.

Da tale rapporto si evince che l'interesse per l'argomento è notevole, tuttavia si nota che stimare i costi associati ad un evento incidentale non è un compito facile. Sono state evidenziate difficoltà nella valutazione dei costi perché le aziende e le autorità non sono prodighe di informazioni circa le conseguenze economiche degli eventi incidentali. I costi associati agli eventi incidentali riportati nei *case-studies* variano in un ampio range (da 100.000 \$ a più di 1 miliardo di dollari), in funzione del tipo di evento e delle circostanze. In ogni caso il costo complessivo associato all'evento non riflette necessariamente l'importanza dell'incidente. Si suggerisce di correlare i costi di un incidente con altri parametri quali il fatturato o gli utili annui.

#### 4. METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI DANNO ECONOMICO

Poiché non è semplice valutare il danno economico potenzialmente causato da un certo evento incidentale, occorre preliminarmente sviluppare una metodologia che consenta di correlare queste due variabili.

Una grandezza di riferimento utile per avere una stima del valore dell'impianto potrebbe essere la "dimensione" dell'azienda. Tuttavia, non esiste un concetto univoco di "dimensione d'impresa", poiché essa potrebbe essere fornita da numerosi parametri:

- volume della produzione in un dato tempo (capacità produttiva);
- entità dei capitali investiti (capitale lordo);
- entità del capitale proprio di cui l'azienda è dotata;
- valore del fatturato annuo;
- potenza installata negli impianti;
- numero degli addetti;
- valore aggiunto di impresa inteso come differenza tra il valore di una data produzione e il costo delle materie impiegate per ottenerla.

Nel caso di aziende appartenenti al medesimo settore, la capacità produttiva è un indice della dimensione aziendale solo se i processi produttivi hanno lo stesso svolgimento, cioè se si parte dalla stessa materia prima e si giunge allo stesso prodotto finito. Se i processi produttivi sono differenti, in quanto i materiali di partenza sono diversi, allora la dimensione aziendale si esprime tramite il valore aggiunto. Altri parametri utili allo scopo potrebbero essere l'entità dei capitali investiti o il numero dei dipendenti.

In particolare, per stimare il valore di un impianto industriale, un parametro molto interessante potrebbe essere il valore aggiunto per addetto: quindi, moltiplicando tale valore per il numero degli addetti di ciascuno stabilimento, sarebbe possibile ricavare il valore aggiunto associato all'impianto.

Per la quantificazione del rischio economico si potrebbero utilizzare curve analoghe quelle F-N, utilizzate per il rischio sociale, opportunamente adattate allo scopo. Infatti, le curve F-N riportano, su scala logaritmica, la frequenza cumulativa F di tutti i possibili incidenti in grado di originare un numero N di decessi. Poiché lo scopo del lavoro è quello di determinare il danno economico subito da impianti industriali occorre sostituire ad N un parametro D, valore del danno subito.

A tal fine, la frequenza dell'evento incidentale finale k, originato dal rilascio di tipologia i, si può valutare tramite la:

$$F_{i,k} = T * A_i * P_{i,k} \quad (1)$$

mentre il danno economico si può stimare, in termini di valore aggiunto ( $D_{VA}$ ) o di investimenti fissi ( $D_{IF}$ ), rispettivamente mediante le:

$$D_{VA\ i,k} = CA_{i,k} * VA_{s,i} \quad (2)$$

$$D_{IF\ i,k} = CA_{i,k} * I_{s,j} \quad (3)$$

dove:

T è il numero di viaggi all'anno;

A è il tasso di incidentalità relativo alla tipologia i-esima di strada;

$P_{i,k}$  è la probabilità che si verifichi l'evento incidentale finale k associato all'i-esimo scenario di rilascio;

$CA_{i,k}$  è l'ampiezza della superficie su cui si estendono le conseguenze dell'evento incidentale finale k;

$VA_{s,i}$  è il valore aggiunto per unità di superficie relativo alla tipologia i di impianto;

$I_{s,j}$  rappresenta gli investimenti fissi per unità di superficie relativo alla tipologia i di impianto.

Per quanto concerne il danno economico si può osservare che il valore aggiunto è indicativo della perdita diretta di prodotto, mentre gli investimenti fissi possono essere utilizzati per una stima del valore dei beni capitali installati presso l'impianto.

## 5. APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA

Per l'applicazione della metodologia a casi concreti è preliminarmente necessario il reperimento di alcune informazioni, relative agli stabilimenti di partenza, di destinazione, ed a quelli situati lungo il percorso seguito dai mezzi. In questo lavoro si è fatto riferimento al trasporto stradale, modalità utilizzata per circa l'85% della movimentazione delle merci pericolose via terra, e sono stati scelti alcuni percorsi stradali, individuando gli impianti presenti lungo di essi.

Gli impianti sono stati classificati in relazione a:

- numero di dipendenti;
- codice di attività;
- area ricoperta dall'impianto;
- misure assicurative.

In particolare, il dato relativo all'area ricoperta dall'impianto è stato utilizzato per determinare il valore aggiunto/m<sup>2</sup>: poiché l'ISTAT fornisce il dato "valore aggiunto per addetto"[6-7], conoscendo il numero di dipendenti e la superficie ricoperta dall'impianto, è possibile ricavare il valore aggiunto/m<sup>2</sup>.

Da alcune informazioni relative alla voce "misure assicurative", valore per il quale l'impianto è stato assicurato, si è desunto che il valore aggiunto corrisponde a circa il 50% del valore per il quale l'impianto è stato assicurato. In ogni caso si può affermare che esiste una relazione tra il valore aggiunto ed il valore effettivo dell'impianto, relazione che potrebbe essere meglio precisata nel caso in cui si disponga di un cospicuo numero di dati relativi al valore per il quale ciascun impianto viene assicurato.

La simulazione di lavoro è la seguente: sono stati selezionati alcuni impianti, rappresentativi della realtà industriale italiana nella produzione, deposito e trasporto di GPL, di cui è nota la capacità produttiva e tra i quali è possibile ipotizzare avvenga il trasporto di GPL, prodotto infiammabile pericoloso. Nel nostro lavoro la metodologia è stata applicata con riferimento a 6 stabilimenti, e precisamente ad un impianto chimico A, che produce numerosi prodotti, tra cui il GPL, e a 5 depositi di GPL.

La capacità produttiva, in termini di GPL, dell'impianto A e dei 5 depositi è la seguente:

- Impianto A	300.000 t/anno;
- Deposito 1	9.200 t/anno;
- Deposito 2	184.000 t/anno;
- Deposito 3	38.000 t/anno;
- Deposito 4	90.000 t/anno;
- Deposito 5	15.000 t/anno.

Si è quindi ipotizzato che l'impianto A rifornisca ad ognuno dei 5 depositi un quantitativo di GPL pari al 50% della loro rispettiva capacità produttiva e che tale quantitativo sia movimentato mediante autocisterne da 20 t. Su questa base è stato ricavato il numero di viaggi/anno dall'impianto A verso i depositi di GPL sopracitati:

- Deposito 1	230 viaggi/anno;
- Deposito 2	4600 viaggi/anno;
- Deposito 3	950 viaggi/anno;
- Deposito 4	2250 viaggi/anno;
- Deposito 5	375 viaggi/anno.

I percorsi seguiti dai mezzi che dall'impianto A raggiungono i vari depositi si svolgono prevalentemente su autostrade e strade statali, e solo in minima parte su strade provinciali e comunali. Si è quindi proceduto all'individuazione di eventuali stabilimenti posti lungo il percorso: va peraltro tenuto presente che i possibili incidenti nel corso del trasporto (e non durante le fasi di carico/scarico) possono comunque coinvolgere sia lo stabilimento di origine che i depositi di destinazione.

Nella valutazione del danno economico si può procedere sia utilizzando il parametro "valore aggiunto" che quello "investimenti fissi".

Per quanto concerne il valore aggiunto associato ai depositi di GPL e allo stabilimento in questione, sono stati assunti i seguenti valori:

- Impianto A	0,300 milioni/m <sup>2</sup>
- depositi di GPL	0,100 milioni/m <sup>2</sup> .

Il primo valore è stato ricavato dal valore aggiunto per addetto (dati ISTAT) relativo al codice di attività dell'impianto, moltiplicato per il numero degli addetti e diviso per la superficie occupata dall'impianto; il secondo è stato ottenuto con lo stesso procedimento, avendo calcolato in precedenza la media dei valori aggiunti relativi ai diversi depositi.

Date le dimensioni dell'autocisterna utilizzata per il trasporto, sono stati considerati 3 scenari incidentali di riferimento, con sversamento di prodotto liquido da fori di dimensioni pari a 25, 50 e 75 mm, per un tempo di rilascio massimo pari a 30 minuti.

Sono state considerate 2 condizioni meteorologiche di riferimento:

- T = 15 °C umidità 50% classe stabilità atmosferica D velocità del vento 5 m/s;
- T = 15 °C umidità 50% classe stabilità atmosferica F velocità del vento 2 m/s.

Assumendo in entrambi i casi come "rugosità" di riferimento del terreno la lunghezza di 1 m (zona industriale senza grossi ostacoli).

La valutazione dei campi di radiazione termica e sovrappressione è stata effettuata con il software di analisi delle conseguenze CHEMS-PLUS™ Versione 2.0, di Arthur D. Little, Inc. determinando le aree di impatto, basandosi sulle soglie di danno alle strutture desunte, quando indicate espressamente, dalla Tab. III/1 del DM Ambiente del 15/5/96 "Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi ai depositi di gas di petrolio liquefatto (GPL)" [8].

Per quanto riguarda la valutazione delle frequenze di accadimento degli eventi incidentali, si è fatto riferimento ai valori di incidentalità media per tipologia di strada ed alle probabilità di rilascio e di evoluzione del rilascio negli eventi incidentali finali riportati recentemente in letteratura [9].

## 6. RISULTATI E DISCUSSIONE

Utilizzando i dati sopra riportati si è quindi proceduto al calcolo del rischio "societario" mediante le curve F-D, con D riferito al valore aggiunto, precedentemente definite, che sono state ricavate per i percorsi tra l'impianto A ed i 5 depositi.

In Figura 1 vengono riportate le curve di rischio “societario”, espresso in termini di valore aggiunto, relative ai 5 percorsi esaminati: come atteso, gli andamenti qualitativi delle curve sono assai simili. Dal punto di vista quantitativo si nota come il maggior rischio economico sia associato ai percorsi che presentano un numero di viaggi/anno di un ordine di grandezza più elevato, e quindi valori della frequenza maggiori, anche dopo la combinazione con l’incidentalità. Infatti, le curve relative ai percorsi 2 e 4, riferite ad alcune migliaia di viaggi/anno si trovano più in alto, e presentano quindi rischi maggiori, rispetto alle curve relative ai percorsi 1 e 5, nonostante nel primo caso il punto di arrivo si trovi lungo una strada provinciale a bassa incidentalità e nel secondo su strade caratterizzate da incidentalità più elevata. La curva relativa al percorso 3 si pone in posizione intermedia, pur essendo anche essa relativa a strada a bassa incidentalità, proprio per il valore del numero di viaggi/anno, intermedio tra i precedenti.

Per quanto concerne il valore delle ascisse, ossia il danno, si è considerato come parametro economico il valore aggiunto legato alla perdita diretta di prodotto, ipotizzando che il valore dell’impianto sia pari al doppio del valore aggiunto (vedi Tabella 1), come desunto alla luce dei pochi dati rinvenuti e relativi alle misure assicurative intraprese dalle aziende. Per quanto concerne i depositi di GPL, si è assunto come valore massimo dell’impianto la cifra di 10 miliardi di lire, concordemente con i dati relativi alle misure assicurative adottate da alcuni depositi di GPL. Ne consegue che le frequenze da prendere in esame sono solo quelle corrispondenti a valori di  $D_{VA}$  inferiori a 10 miliardi di lire: dalla figura si osserva che tali frequenze sono comprese in un range compreso tra  $10^{-6}$  e  $10^{-4}$ .

**Tabella 1:** Valore aggiunto degli stabilimenti analizzati

<b>Tipologia di impianto</b>	<b>Valore aggiunto (milioni di lire)</b>
IMPIANTO A	30.946
DEPOSITO 1	2.706
DEPOSITO 2	773
DEPOSITO 3	1.933
DEPOSITO 4	1.160
DEPOSITO 5	2.834

Per quanto attiene all’impianto A, che è coinvolto in tutti i possibili incidenti relativi a tutti i percorsi considerati, è anche possibile stimare la curva totale di rischio economico derivante dall’attività di trasporto complessivamente effettuata lungo i 5 percorsi. Ciò può essere effettuato semplicemente sommando i valori delle frequenze dei singoli percorsi, ottenendo i risultati mostrati in Figura 2, sempre con riferimento alla quantificazione del danno in termini di valore aggiunto.

Le curve di rischio societario sono state quindi ricalcolate con riferimento al danno in termini di investimenti fissi: sia per l’impianto A che per i depositi di GPL è stato utilizzato lo stesso valore pari a 0,023 milioni/m<sup>2</sup>. Anche in questo caso il valore per l’impianto A è stato ricavato dagli investimenti fissi per addetto (dati ISTAT) relativi al codice di attività dell’impianto, moltiplicati per il numero degli addetti e diviso per la superficie occupata dall’impianto: i risultati ottenuti sono mostrati in Tabella 2.

**Tabella 2:** Investimenti fissi degli stabilimenti analizzati

<b>Tipologia di impianto</b>	<b>Investimenti fissi (milioni di lire)</b>
IMPIANTO A	4098,5
DEPOSITO 1	751,5
DEPOSITO 2	214,7
DEPOSITO 3	536,8
DEPOSITO 4	322,1
DEPOSITO 5	787,3

Procedendo come in precedenza, sono state quindi tracciate per i 5 percorsi in esame le curve di rischio “societario”, mostrate in Figura 3, riferendo il danno economico agli investimenti fissi: come atteso, il loro andamento qualitativo rispecchia quello delle curve di Figura 1, in cui si era utilizzato il danno economico riferito al valore aggiunto. I valori delle frequenze non variano rispetto al caso precedente, ma il danno

economico in termini di investimenti fissi risulta decisamente inferiore a quello in termini di valore aggiunto e tutte le curve terminano a valori decisamente al di sotto del limite di 10 miliardi, considerato in precedenza.

La curva del rischio economico complessivo per l'impianto A derivante dalla somma del rischio dei singoli percorsi, è mostrata in Figura 2, in modo da consentire un confronto immediato del danno in termini di valore aggiunto e di investimenti fissi. Anche in questo caso si nota come il danno economico, espresso come investimenti fissi, risulti ben inferiore a quello espresso come valore aggiunto.

Le curve di rischio economico "societario", così calcolate, andrebbero confrontate con curve di riferimento, che stabiliscano l'accettabilità del rischio. In analogia con le curve relative al rischio sociale, si dovrebbero individuare le zone di rischio accettabile e intollerabile, separate da una fascia intermedia di ampiezza pari a 2 ordini di grandezza [10]. La posizione delle curve che delimitano queste zone, rappresentate come rette sul diagramma logaritmico, andrebbe stabilita con criteri legati all'accettabilità del danno, magari espressa in termini di percentuale di danno subito, e la loro pendenza andrebbe fissata tenendo conto di una minore o maggiore "avversione" al rischio.

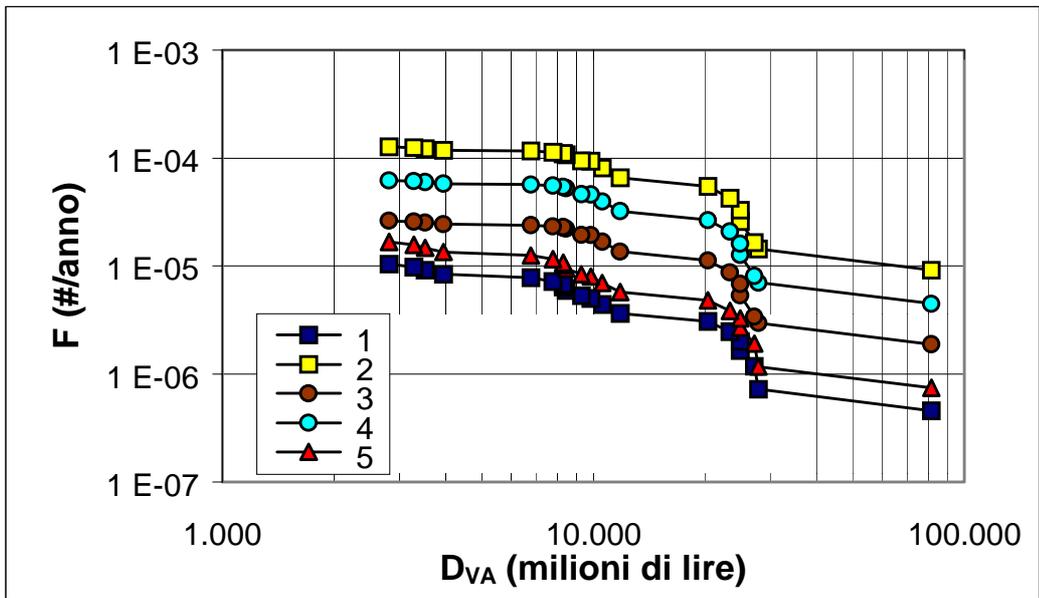
A solo titolo di esempio, si potrebbe pensare di considerare accettabile un valore di danno economico – frequenza del tipo: 1 milione di lire ogni anno. A questo punto, procedendo in analogia con quanto viene fatto per il rischio sociale (danni alle persone) si potrebbe fissare una pendenza della retta limite di accettabilità pari a -1 (sulla scala logaritmica), ossia considerare accettabile un danno di 10 milioni ogni 10 anni, 100 milioni ogni 100 anni, ecc., ponendo quindi la curva limite di inaccettabilità, parallela alla precedente e due ordini di grandezza più in alto rispetto alla precedente. La Figura 4 confronta le curve F-D relative all'impianto A di origine del trasporto con curve limite di rischio accettabile e intollerabile, valutate secondo il criterio sopra descritto: quella relativa al danno calcolato in base agli investimenti fissi ricadrebbe completamente nella zona di accettabilità, mentre quella relativa al danno calcolato in base al valore aggiunto si situerebbe nella zona di attenzione. Quanto mostrato ha tuttavia semplicemente lo scopo di esemplificare la metodologia attraverso cui possono essere fissate delle soglie di rischio, poiché la valutazione della loro localizzazione ottimale eccede certamente gli scopi di questo lavoro.

## 6. CONCLUSIONI

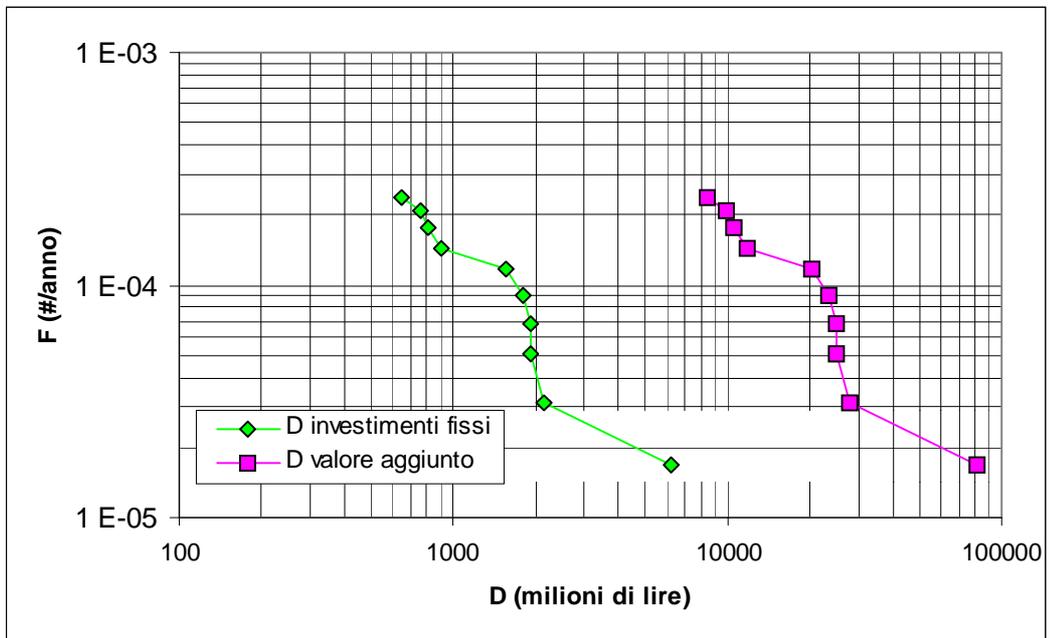
La metodologia proposta consente una valutazione del rischio economico "societario" espresso in funzione sia del valore aggiunto, indicativo della perdita diretta di prodotto in caso di evento incidentale, che degli investimenti fissi, indicativi del valore dei beni capitali installati presso l'impianto che subiscono un danno in caso di incidente. Poiché i valori numerici di queste grandezze sono sensibilmente diversi e, in particolare, quello relativo agli impianti fissi è circa 5 volte inferiore a quello espresso in termini di valore aggiunto, occorreranno ulteriori indagini e riscontri per verificare quale delle due grandezze sia più opportuno utilizzare, anche se il valore aggiunto sembra al momento l'indicatore più adatto per stimare il valore economico di un impianto industriale. Una volta stabiliti i valori delle soglie di rischio, la metodologia qui proposta consentirà di valutare in modo abbastanza semplice e rapido il danno economico a cui sono esposti gli impianti per effetto di attività di trasporto di prodotti infiammabili svolte nelle loro immediate vicinanze.

## BIBLIOGRAFIA

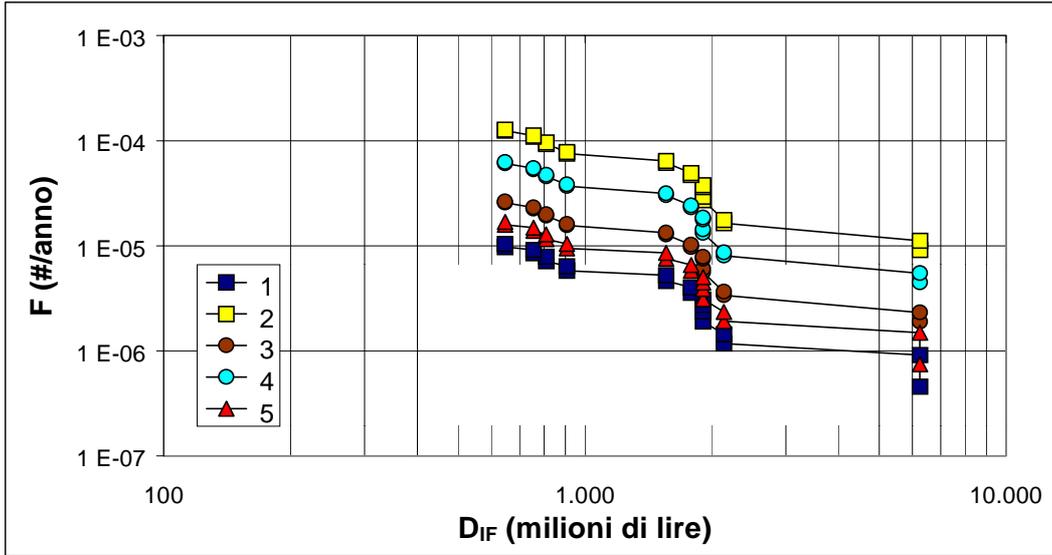
- [1] Decreto Legislativo 17 agosto 1999, n. 334 *Attuazione della direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose*.
- [2] Marsh & McLennan Italia & Co. SpA, *Il problema della sicurezza visto dagli assicuratori e dai brokers*, Atti del convegno "Gestione della sicurezza nell'industria chimica, petrolchimica e della raffinazione", Roma 1995.
- [3] M & M Protection Consultants, *One hundred largest losses: a thirty-year review of property damage losses in the hydrocarbon-chemical industries*, Ninth Edition.
- [4] Istituto ECOTER, *La valutazione dell'impatto economico delle misure di prevenzione negli impianti a rischio di incidenti rilevanti ai sensi del DPR 175/88*, Prevenzione Oggi, n. 1 pp. 55 – 114 (1998).
- [5] Expert Group on Chemical Accidents, *Economic aspects of major accidents*, OECD (1997).
- [6] ISTAT, *Conti economici delle imprese con addetti da 1 a 19* (1994).
- [7] ISTAT, *Conti economici delle imprese con 20 addetti ed oltre* (1994).
- [8] Ministero dell'Ambiente – Decreto Ministeriale 15 maggio 1996 *Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi ai depositi di gas di petrolio liquefatto (G.P.L.)*
- [9] R.Bubbico, C.Ferrari, B.Mazzarotta, *Risk analysis of LPG transport by road and rail*, J. Loss Prev. Proc. Ind., **13**, 27-31 (2000).
- [10] Health & Safety Commission "Major Hazard Aspects of the Transport of Dangerous Substances", HMSO, London, 1991.



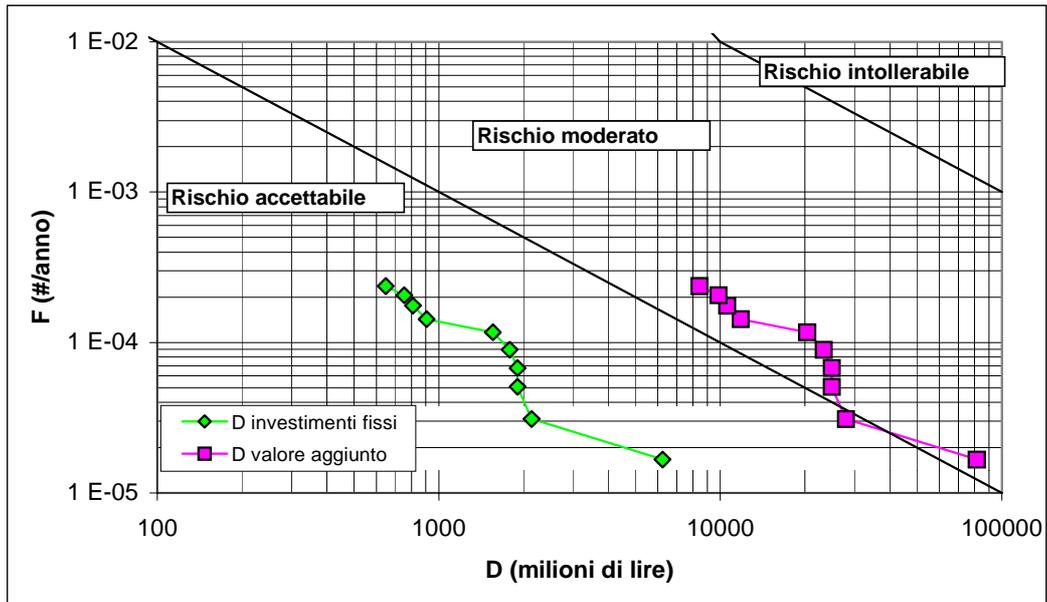
**Figura 1:** Curve F- $D_{VA}$  relative ai 5 percorsi



**Figura 2:** Curve F-D relative all'impianto A



**Figura 3:** Curve F-D<sub>IF</sub> relative ai 5 percorsi



**Figura 4:** Confronto delle curve F-D relative all'impianto A con curve limite di accettabilità del rischio.