

VALUTAZIONE E GESTIONE DEI RISCHI D'AREA

C. Ferrari, G. Marsili, M.E. Soggiu
Istituto Superiore di Sanità Viale Regina Elena, 299 - 00161 Roma.

SOMMARIO

Con il recepimento della Direttiva 96/82/CE, la valutazione dei rischi d'area si avvia a divenire uno dei capisaldi della strategia di gestione dei rischi di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose. In questo contesto problematiche quali l'integrazione dei risultati di più rapporti di sicurezza, la valutazione dei rischi connessi al trasporto delle sostanze pericolose e la percezione del rischio della popolazione, assumono una nuova dimensione all'interno del processo decisionale inerente l'accettabilità del rischio. Questo lavoro riporta i risultati di un'analisi di rischio d'area ed evidenzia la necessità per le autorità pubbliche, di dotarsi di regole di selezione finalizzate all'integrazione di più Rapporti di Sicurezza (RdS) e di tenere nella debita considerazione i rischi connessi al trasporto di sostanze pericolose.

1. INTRODUZIONE

Tra le novità di rilievo introdotte dalla Direttiva 96/82/CE (*Seveso bis*) nel panorama normativo di controllo dei rischi di incidente rilevante, la valutazione del rischio d'area assume un ruolo fondamentale. La pianificazione territoriale alla quale detta valutazione è finalizzata, così come la gestione aziendale della sicurezza affidata all'introduzione dei Safety Management Systems (SMS), la pianificazione dell'emergenza e la comunicazione del rischio alla popolazione esposta, costituiscono infatti i cardini dell'approccio comunitario alla gestione dei rischi connessi con alcune sostanze pericolose.

Nella pratica, l'approccio proposto da disposizioni sovranazionali non sempre può essere uniformemente ritrovato nei singoli paesi. In ognuno di questi sono, infatti, presenti specificità di valutazione, eterogeneità di distribuzione delle competenze, conflittualità con le popolazioni residenti, carenze ed inadempienze caratteristiche della storia di quel paese, che spesso influenzano le modalità di recepimento e possono rendere particolare l'applicazione del dispositivo. Riferendosi più specificamente alla situazione italiana, ad esempio, è facile osservare che il recepimento della direttiva 96/82/CE (D. Lgs. 334/99), benché attuato ormai da circa un anno, è ancora ben lungi dal trovare una sua dimensione applicativa. Emergono infatti le incertezze del legislatore che, a tutt'oggi, ancora:

- rimanda a disposizioni future quasi tutte le innovazioni introdotte nella Seveso I;
- mantiene in piedi un sistema di comunicazione del rischio che, alla verifica pratica ha mostrato tutta la sua inefficacia [1];
- non identifica con certezza le autorità pubbliche competenti per la valutazione dei rapporti di sicurezza.

Un secondo elemento di interferenza, nel recepimento della normativa di gestione dei rischi industriali, è costituito dall'esistenza di un consistente numero di disposizioni inerenti la protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori e dei cittadini, la pianificazione territoriale e dell'emergenza, la valutazione di impatto ambientale, l'adozione di politiche di sviluppo sostenibili, ecc.. Tali disposizioni fanno capo ad autorità diverse da quelle cui è usualmente affidata la gestione dei rischi industriali (Sindaco, Prefetto, Amministrazione Provinciale, ecc.); da ciò deriva la necessità di un raccordo tra tutte le figure coinvolte ma anche la difficoltà di accordare esigenze spesso molto diverse. Un esempio pratico di tale condizione sono le autorità comunali, cui è affidato il compito della tutela della salute della popolazione e della pianificazione territoriale, ma che non dispongono di una rappresentanza nei Comitati tecnici che effettuano la valutazione del rischio, dei quali si limitano quindi ad apprendere le decisioni. Analogamente, Prefettura ed ASL sono rispettivamente incaricate di predisporre il piano d'emergenza e di tutelare i rischi sul lavoro, ma non partecipano alla valutazione tecnica degli studi di sicurezza.

In questo contesto le numerose valutazioni di rischio d'area, che sono state condotte in Italia nell'ultimo decennio, costituiscono sicuramente una base razionale per lo sviluppo di linee guida applicative ma la valutazione dei loro risultati risulta particolarmente complessa a causa della disomogeneità degli approcci e degli obiettivi perseguiti. In questa nota viene presentata una di queste esperienze, realizzata per supportare l'attività decisionale delle autorità comunali in un'area industriale dove:

- sono presenti numerosi impianti a rischio e molteplici sostanze pericolose;
- è attivo un conflitto sociale alimentato dalla mancanza di decisioni che ha caratterizzato l'iter applicativo del DPR 175/88;
- sono stati segnalati decessi per patologie che potrebbero essere correlate con emissioni industriali presenti nell'area.

2. LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO NELL'AREA INDUSTRIALE DI MANTOVA

Sul piano teorico un'analisi di rischio trova significato pratico quando supporta un processo decisionale e consente di arrivare ad una decisione operativa. Ne consegue che l'intero processo risulti influenzato dalla specificità del decisore, dalla tipologia del processo decisionale che lo stesso intende adottare, dal contesto in cui la decisione deve essere assunta.

Nel caso specifico della valutazione discussa in questo lavoro, i decisori di riferimento sono le autorità comunali le quali agiscono secondo un modello decisionale di tipo partecipativo e si muovono in un contesto caratterizzato sia da una significativa conflittualità sociale inerente i rischi industriali, sia da una accettazione degli insediamenti industriali vincolata al mantenimento di un processo continuo di risanamento ambientale.

In tale situazione, il progetto dello studio è stato basato sui risultati di un'indagine sulla percezione dei rischi industriali, i quali evidenziano:

- che le priorità di rischio stabilite dalle autorità pubbliche nel contesto normativo non coincidono con quelle espresse dalla popolazione;
- un bisogno della popolazione di avere sul territorio interlocutori competenti e credibili cui affidare consapevolmente la propria sicurezza;
- i limiti di un modello informativo tradizionale basato sulla trasmissione di nozioni tecniche dalla fonte al target senza prevedere alcuna verifica che gli obiettivi di consapevolezza del rischio vengano conseguiti [2].

Gli stessi risultati mostrano l'inadeguatezza della separazione tra rischi accidentali e rischi connessi ad emissioni di inquinanti routinarie e suggeriscono di non trascurare, nella valutazione del rischio d'area, la qualità dei principali comparti ambientali. Infatti lo studio ha:

- valutato l'entità dell'inquinamento atmosferico stimando il contributo attribuibile ad ognuna delle numerose sorgenti di emissione presenti nell'area. Tale problematica è fonte di preoccupazione nella popolazione residente, particolarmente laddove esso si somma a quello di origine tipicamente urbana. In particolare il peso delle diverse sorgenti di emissione industriale all'interno dell'area cittadina è stato stimato utilizzando come tracciante il biossido di zolfo. Il contributo di origine urbana è stato invece stimato valutando le concentrazioni del benzene in alcuni siti cittadini ad elevata intensità di traffico. I risultati mostrano che in prossimità dell'area industriale, la prevalenza di specifiche condizioni meteorologiche determina un impatto rilevante delle emissioni industriali sull'ambiente cittadino a più alta densità abitativa; in questo senso essi costituiscono un'utile base conoscitiva per la pianificazione del territorio. In analogia a ciò le concentrazioni del benzene, rilevate all'esterno ed all'interno di alcune abitazioni, confermano che l'inquinamento atmosferico da sorgenti urbane non può essere trascurato in un contesto operativo mirato alla protezione della salute pubblica [3,4];
- rilevato le problematiche tipiche di un territorio compreso in un complesso ad ampio reticolo idrografico, composto da corsi d'acqua naturali, seminaturali e artificiali, su cui gravitano un'attività agricola intensiva, un patrimonio zootecnico di rilievo e una significativa attività industriale. Quest'ultima è maggiormente concentrata nella zona situata sulla sinistra orografica dei laghi che il Fiume Mincio forma all'altezza della città di Mantova. I reflui di dette attività, spesso non sufficientemente trattati, recapitano nei corpi recettori influenzandone la qualità e rendendo le acque inutilizzabili agli scopi primari. I dati relativi alla qualità chimica e microbiologica evidenziano un diffuso inquinamento dovuto a reflui fognari, sia di origine animale che umana, caratterizzato dalla presenza di coliformi e streptococchi fecali, che non consente l'uso delle acque come risorsa idropotabile. La qualità delle acque superficiali è influenzata, inoltre, dagli ingenti apporti di sostanze inquinanti derivanti essenzialmente dalle numerose attività industriali concentrate nell'area limitrofa alla città i cui reflui contengono sostanze persistenti nell'ambiente, difficilmente biodegradabili attraverso i processi biologici naturali e potenzialmente bioaccumulabili nelle catene trofiche [5];
- identificato 35 impianti a rischio di incidente rilevante localizzati nella zona industriale di Mantova, che dista oltre 1 km dal centro storico ed occupa una superficie di circa 7 km² che include altri insediamenti produttivi e ampie zone residenziali. Detti impianti, la cui attività è stata notificata alle autorità competenti in quanto compresi nel campo di applicazione degli articoli 4 o 6 del DPR 175/88, appartengono in larga parte ad un insediamento petrolchimico (15), ad una raffineria (18) e a due depositi commerciali di GPL.

In altre parole una vasta gamma di sostanze infiammabili e/o tossiche e/o cancerogene sono stoccate e manipolate nell'area e costituiscono una significativa sorgente di rischio per le persone ivi residenti.

Naturalmente l'area è anche interessata da una consistente attività di trasporto delle sostanze pericolose afferenti a tali attività industriali (Tabella 1). Insiste inoltre nell'area una stazione ferroviaria che associa al movimento passeggeri quello delle sostanze pericolose afferenti al petrolchimico ed alla raffineria.

Considerata l'entità del fenomeno si è proceduto ad una valutazione dei rischi connessi con il rilascio accidentale di composti pericolosi durante il trasporto al fine di valutare se effettivamente essi fossero

trascurabili quando comparati a quelli connessi con la presenza di impianti fissi [6].

Tabella 1. Quantità (tonnellate) trasportate per i diversi vettori

<i>Sostanze</i>	<i>Strada</i>	<i>Ferrovia</i>	<i>Pipeline</i>	<i>Bettolina</i>
Acetone	99422	5177		42968
Acrilonitrile		17000		
Alchilfenoli Mix	6055			
Alfametilstirolo	6886			
Alluminio Solfato	6000			
Benzene		4000	347000	
Benzina	527112	22656		
Bitume	222293			
Cicloesanone	53587	60		84341
Cumene			371000	
Edistir	247467			
Etilbenzene			60000	
Etilene			125000	
Extir	29435			
Fenolo Puro	62637	11456		537
Gas Naturale			214000	
Gasolio	1308226	135105		
GPL	87500			
Greggio			2405000	
Nonene	12000			
Nonilfenolo	19153			
Olio Combustibile	53345		274424	293590
Olone	46851			
Pentano	2000			
Perossido Idrogeno	3840			
Petrolio	14047			
Solvente	1713			
Stirolo Monomero	182801	93188		16421
Toluolo	12249			
Virgin Naphta	70622	4116		
Xilolo	1416			
Zolfo Liquido	10865			

3. MATERIALI E METODI

Nel condurre un'analisi di rischio d'area, avvalendosi delle usuali tecniche probabilistiche, non si può prescindere dalla qualità e dal livello di incertezza (soggettività) che contraddistingue le informazioni disponibili. Nel caso specifico di un'area industriale di tipologia analoga a quella prevista dall'art. 13 del D. Lgs. 334/99, alcune ipotesi inerenti i parametri decisionali devono pertanto essere formulate. In questo studio si è assunto che:

- la comparazione dei rischi, individuali e sociali, derivanti dalle diverse misure mitigative considerate sia l'unico parametro decisionale. Ciò ha evitato il sempre discutibile ricorso a criteri di accettabilità quali l'ALARA (*As Low As Reasonably Acceptable*) o l'ALARP (*As Low As Reasonably Possible*), e ha contribuito a perseguire l'obiettivo del processo decisionale di diminuzione della probabilità e/o della magnitudo delle conseguenze attese;
- gli eventi accidentali iniziatori e le loro probabilità di occorrenza siano uguali a quelli riportati nei RdS notificati alle autorità competenti dai gestori degli impianti che rientrano nel campo di applicazione degli artt. 4 e 6 del DPR 175/88;
- gli effetti avversi attesi per detti eventi siano stimati solo per la popolazione che vive in vicinanza delle sorgenti di rischio e riferiti alla salute umana. I possibili danni ai lavoratori delle attività industriali che comprendono gli impianti a rischio, agli edifici e all'ambiente sono stati trascurati. Nello specifico detti

effetti sono stati quantificati come decessi attesi usando il metodo *probit* suggerito per l'esposizione a radiazione termica, a sovrappressione e ad inalazione di sostanze chimiche di un individuo, di peso pari a 70 kg, in buone condizioni di salute, che non indossa indumenti protettivi, che rimanga fermo in un determinato luogo per tutto il tempo dell'esposizione [7,8].

Come noto, i RdS includono una completa analisi del rischio che identifica gli eventi incidentali possibili, la loro probabilità di accadimento e l'entità delle conseguenze ad essi attribuibili. Nonostante ciò la soggettività intrinseca all'analisi del rischio, riconducibile alla specificità di ogni impianto, alle scelte e all'esperienza personale dell'estensore dello studio, all'incertezza dei modelli di simulazione di fenomeni naturali, ecc., rende eterogenee le valutazioni ed incomparabili i risultati dei diversi RdS. Ne consegue la necessità di un processo di omogeneizzazione del dato disponibile con lo scopo di rendere comparabili le stime, e soprattutto di pervenire ad un rischio integrato d'area invece che ad una sommatoria dei rischi attribuibili ai singoli impianti [9]. Per questi motivi sono state adottate regole di selezione e modifica degli scenari incidentali proposti, le quali hanno coinvolto: la tipologia e la verosimiglianza degli eventi iniziatori, le caratteristiche fisiche e/o le dimensioni delle sorgenti di rilascio, la durata del rilascio, le condizioni atmosferiche in cui la dispersione viene simulata, ecc.. In termini operativi, ad esempio, focalizzando l'attenzione sulla rottura di una tubazione in cui fluisce una sostanza pericolosa, gli scenari incidentali attesi possono essere identificati modellizzando l'evento attraverso le caratteristiche geometriche del foro d'efflusso, la durata del rilascio, l'affidabilità dei dispositivi di sicurezza, ecc. (Figura 1). Nel caso descritto tale schema è stato assunto per omogeneizzare le proposte dei singoli analisti intervenendo affinché tutti gli scenari fossero rappresentati sotto l'ipotesi comune di:

- considerare possibili solo due fori d'efflusso circolari con diametri pari al 25% (piccolo) ed al 100% (grande) di quello della tubazione;
- valutare i tempi di reazione di un dispositivo di sicurezza in funzione delle sue caratteristiche specifiche, quando queste ultime sono indicate, e di imporre in ogni caso un tempo massimo di rilascio di 30 minuti, assumendo che esso sia sufficiente agli operatori per prendere coscienza del rilascio e per provvedere al blocco manuale dello stesso.

L'omogeneità nella stima della verosimiglianza dei singoli scenari è stata ricercata assumendo le valutazioni proposte dal RdS e, solo in caso di indisponibilità ricorrendo a valori standard. Con questo approccio, ad esempio, la rottura di una manichetta flessibile di diametro pari a 50 mm, dotata a monte di una valvola pneumatica di intercettazione, che fosse stata descritta nel RdS esclusivamente attraverso il rilascio di sostanze pericolose, con probabilità $2 \cdot 10^{-2}$ eventi/anno (e/a), da un foro di diametro nominale pari a 13 mm, per un tempo di 60 secondi, originerebbe nel presente studio i seguenti scenari incidentali:

- due rilasci da un foro di diametro 13 mm di durata e probabilità rispettivamente uguali a 60 s e 1800 s ed a $2 \cdot 10^{-2}$ e/a e $2 \cdot 10^{-4}$ e/a;
- due rilasci da un foro di diametro 50 mm di durata e probabilità rispettivamente uguali a 60 s e 1800 s ed a $2 \cdot 10^{-4}$ e/a e $2 \cdot 10^{-6}$ e/a.

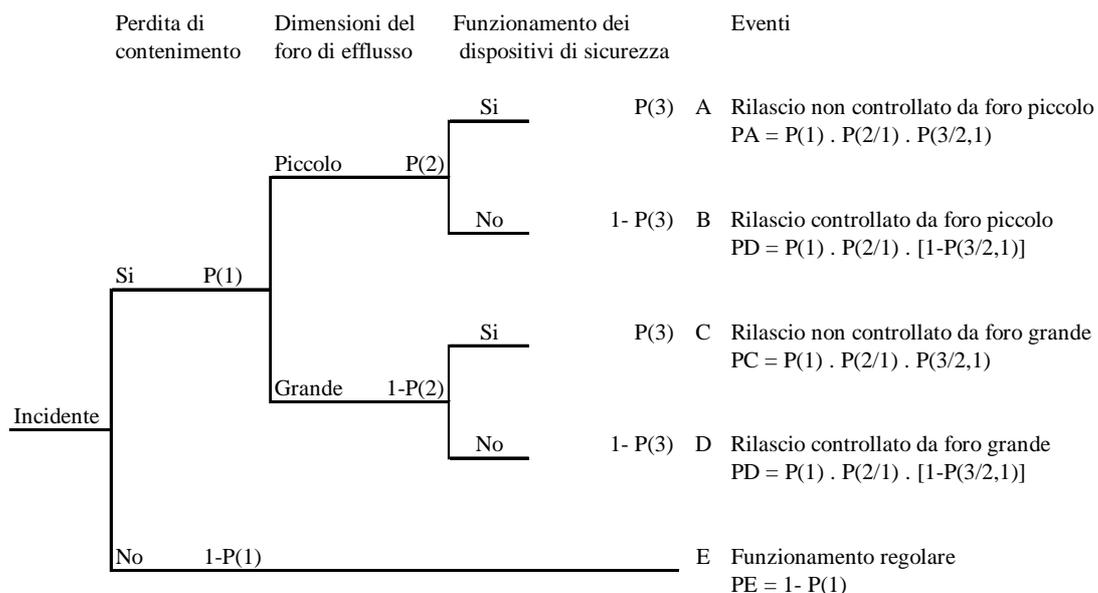


Figura 1. Identificazione del set minimo degli scenari incidentali che possono essere originati dalla rottura di una tubazione.

Gli stessi motivi di omogeneizzazione dei risultati hanno suggerito di ricorrere ad assunzioni nella modellizzazione di fenomeni fisici la cui evoluzione non sia completamente chiarita. In accordo con la legislazione italiana vigente, ad esempio, il BLEVE e il *fireball* di un serbatoio di stoccaggio GPL sono stati considerati eventi impossibili nel caso di serbatoi isolati o tumulati. Al contrario di quanto stabilisce la normativa italiana, l'esplosione di una nube non confinata di vapori infiammabili (UVCE), contenente meno di una tonnellata di sostanza nel suo intervallo di infiammabilità, è stata invece ritenuta possibile [10].

4. IDENTIFICAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEGLI SCENARI INCIDENTALI

Questo approccio ha consentito di identificare 208 eventi incidentali che rappresentano a nostro avviso le potenzialità dell'area di sperimentare un incidente rilevante.

In figura 2 è riportata la distribuzione degli scenari incidentali identificati, in funzione delle sostanze rilasciate (infiammabile F; tossico T) e della distanza a cui possono essere sperimentati (esterno sì o no allo stabilimento). Tale figura mostra che circa la metà di essi sono riconducibili ad impianti localizzati nel sito dell'Enichem e circa un quarto sono riconducibili ad impianti localizzati nella raffineria. Concentrando l'attenzione sul 20% degli scenari che in condizioni di stabilità atmosferica (classe F di Pasquill) e con una velocità del vento di 2 m/s potrebbero causare effetti avversi all'esterno delle installazioni industriali, si osserva che la metà dei casi sono riconducibili ai depositi commerciali di GPL ed alla stazione ferroviaria di Frassine, anche se gli eventi iniziatori associabili a tali siti sono meno di un terzo.

Comparati per tipologia, circa il 90% degli eventi incidentali considerati porta al rilascio di sostanze infiammabili, ma solo il 15% circa evolve in incendi ed esplosioni per i quali posso essere attesi decessi all'esterno delle installazioni industriali. Al contrario, gli eventi che portano al rilascio di sostanze tossiche, pur essendo in numero estremamente più esiguo, originano scenari che, nel 50% dei casi, sono in grado di provocare effetti avversi alla salute della popolazione residente all'esterno degli stabilimenti. Tale osservazione deve essere considerata con molta attenzione in quanto la stessa emerge nonostante siano stati trascurati in questo studio gli effetti connessi alla tossicità cronica e sub-cronica delle sostanze, ivi compresa la loro mutagenicità e/o cancerogenicità. E' noto infatti che sul piano pratico non è possibile escludere un'attività cancerogena per esposizioni singole a sostanze così classificate [11].

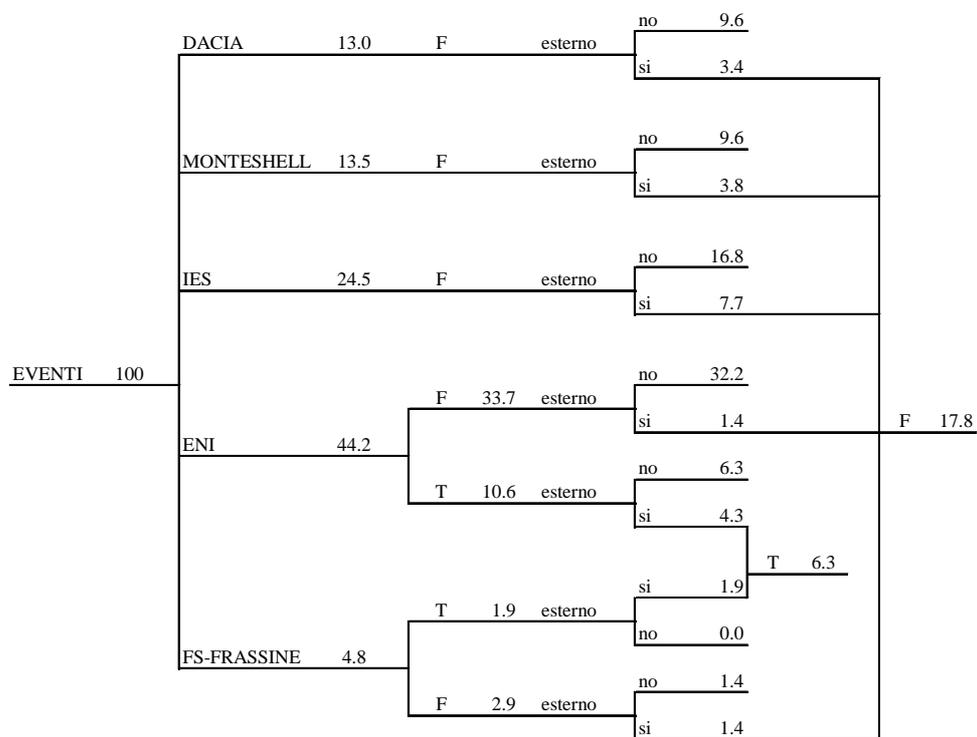


Figura 2. Distribuzione percentuale per tipologia ed effetti degli eventi incidentali individuati nello studio d'area.

Per quanto riguarda la loro origine, gli eventi incidentali selezionati appaiono più frequentemente attribuibili alla rottura di tubazioni, anche se quelli che portano al rilascio di sostanze tossiche sembrano con

maggior frequenza originare da guasti meccanici o errori umani che interessano la gestione dei serbatoi di stoccaggio. Gli eventi che interessano sostanze infiammabili mostrano frequenze non trascurabili di rilascio dai dispositivi di carico e scarico.

Per quanto riguarda la verosimiglianza, gli eventi considerati sono attesi (Figura 3) in oltre la metà dei casi con una probabilità maggiore di 10^{-4} e/a e solo nel 15% dei casi circa la loro probabilità di accadimento è inferiore a 10^{-5} e/a.

Con riguardo alle sostanze, i rilasci accidentali simulati in questo studio hanno come oggetto prevalente il GPL (48%), conservativamente considerato come propano, la benzina (11%), il benzene (11%), lo stirene (8%), l'acrilonitrile (5%), il fenolo (4%), il metano (4%), l'acetone (4%), l'etilene (3%), il n-pentano (2%) ed altri. Dette sostanze sono spesso classificate tossiche ed infiammabili ed in questa doppia veste contribuiscono alla stima del rischio. Lo stirene, l'acrilonitrile ed il benzene sono anche dei noti cancerogeni ma, come detto in precedenza, questa proprietà è stata trascurata nel presente studio.

La tipologia degli impianti presenti nell'area è tale che il rilascio di sostanze tossiche da fori d'efflusso di diametro maggiore di 100 mm non è mai stato ipotizzato. Più in particolare, il 30% circa dei rilasci simulati origina da orifizi la cui superficie è minore di 3 cm^2 e possono pertanto essere considerate punture; circa la metà dei rilasci origina da fori d'efflusso con superficie compresa tra 5 e 20 cm^2 e soltanto il 10% circa origina da aperture con superficie maggiore di 80 cm^2 . In questo quadro, fanno naturalmente eccezione gli eventi (2%) che simulano la rottura catastrofica di serbatoi fissi o mobili non coibentati né tumulati o interrati.

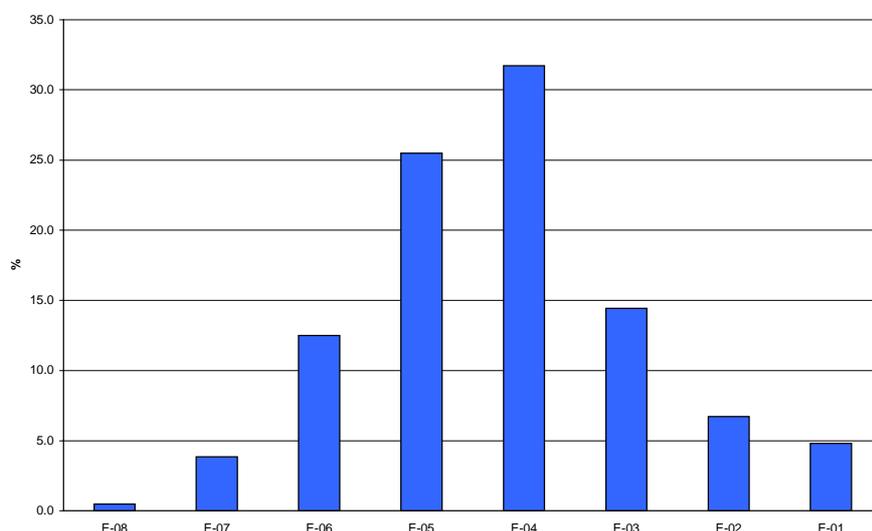


Figura 3. Distribuzione delle probabilità degli eventi incidentali considerati

5. LA STIMA DELLE CONSEGUENZE

La quantificazione delle conseguenze attese da rilasci accidentali di sostanze pericolose necessita che degli scenari di esposizione umana siano identificati e descritti in termini sia della loro probabilità di realizzarsi che dell'estensione delle aree che essi possono coinvolgere. In questo contesto deve inoltre essere identificata la vulnerabilità dell'area impattata, la quale può essere e rappresentata come una distribuzione spaziale della popolazione, degli edifici pubblici e di altri posti potenzialmente affollati (chiese, centri ricreativi, ecc.) che in essa sono ubicati.

Sebbene, nel caso di rilascio di sostanze tossiche, l'identificazione degli scenari di esposizione della popolazione dipenda dalle proprietà chimico-fisiche della sostanza rilasciata, questo studio ha preso in considerazione soltanto l'esposizione della popolazione per via inalatoria. Si è infatti assunto, nel caso del rilascio di un liquido in aree industriali, che la probabilità di una esposizione per ingestione o per contatto dermico sia talmente bassa o ritardata da essere trascurabile. La stima delle conseguenze per il rilascio di sostanze tossiche ed infiammabili richiede anche che il luogo del rilascio sia caratterizzato in funzione delle condizioni meteorologiche prevalenti, della distribuzione spaziale della popolazione ivi residente, delle potenziali sorgenti d'innesco presenti, e comunque di tutte quelle variabili che possono influenzare la dispersione o l'evoluzione del rilascio accidentale [12].

Nel caso specifico, quattro condizioni atmosferiche, caratterizzate dalla loro probabilità di verificarsi, sono state selezionate per rappresentare le locali condizioni meteorologiche. Due di esse prevedono una

classe di stabilità atmosferica *neutra* (classe D di Pasquill) e una velocità del vento di 3 m/s ($p=0.36$) e 5 m/s ($p=0.32$) rispettivamente. Le altre due prevedono una classe di stabilità atmosferica *stabile* (classe F di Pasquill) e una velocità del vento di 2 m/s ($p=0.30$) e 0.5 m/s ($p=0.02$) rispettivamente. Quest'ultima condizione ha effetti alquanto drastici nell'ostacolare la dispersione di gas densi [13] ma produce effetti estremamente contenuti nella stima del rischio in quanto significativamente meno probabile delle altre. In ogni caso essa dà conto di condizioni climatiche estreme dell'area la quale è capace di sperimentare con una certa frequenza calme di vento e fenomeni di inversione termica.

La distribuzione di frequenza della direzione dei venti prevalenti è risultata essere la seguente: Ovest (25.3%), Est (24.7%), Sud-Ovest (18.7%) e Nord-Ovest (11.5%).

La popolazione residente nell'area potenzialmente interessata alle conseguenze attese è stata rilevata dai dati dell'ultimo censimento. In ogni area identificata, un'analisi spaziale è stata poi condotta per determinare la popolazione ogni volta che questa non coincideva con un'unità censuaria o qualora la sua distribuzione risultasse spazialmente eterogenea. La disomogeneità nella densità di popolazione in funzione dell'ora del giorno e la esclusiva presenza all'interno delle zone industriali sono state trascurate. Ne consegue che i rischi stimati risultino esclusivamente riferiti alla popolazione residente, la quale è eterogeneamente distribuita sul territorio in studio con densità comprese tra 1470 e 16400 abitanti/km².

In relazione agli scenari incidentali che prevedono la dispersione di nubi infiammabili, l'area circostante gli impianti è stata classificata in funzione della probabilità che una nuvola di vapori infiammabili che la attraversa trovi una sorgente di innesco. In particolare, tutte le potenziali sorgenti di ignizione presenti sono state caratterizzate mediante due parametri probabilistici denominati *probabilità di ignizione* (PI) e *probabilità di operatività* (PO). Con *probabilità di ignizione* è stata empiricamente quantificata l'efficacia della sorgente nell'innescare una nube infiammabile. Con la *probabilità di operatività* è stata invece quantificata la probabilità che la sorgente sia operativa nel momento del passaggio nell'area dell'eventuale nube infiammabile. Nello specifico di questo studio, i valori assunti dei suddetti parametri hanno consentito di differenziare significativamente il territorio in funzione della sua capacità di innescare una nube vagante, in quanto:

- alle *zone industriali* sono stati assegnati PI uguali a:
 - 0.9 nelle attività produttive in cui sono presenti superfici calde o fiamme libere;
 - 0.3 nei depositi di sostanze infiammabili nei quali vigono specifici divieti finalizzati ad evitare la presenza di inneschi;
- alle *zone urbane* è stata assegnata una PI pari a 0.6;
- alle *linee elettriche* è stata assegnata una PI di 0.1;
- alle *linee ferroviarie* è stata assegnata una PI di 0.9;
- alle *strade* una PI di 0.7.

Per quanto riguarda la PO il valore 1 è stato assegnato a tutte quelle attività che sono in funzione 24 ore al giorno mentre 0.5 è stato assegnato alle aree urbane per tenere conto della limitata attività della popolazione nelle ore notturne. Alle vie di trasporto, è stata invece attribuita una PO proporzionale alla frequenza dei mezzi ivi circolanti. In particolare, sulla base dei dati forniti dalla Polizia Municipale, le strade dell'area sono state suddivise in quattro gruppi così definiti:

- ad alto traffico (1200 veicoli/ora);
- a medio traffico (450 veicoli/ora);
- a basso traffico (114 veicoli/ora);
- secondarie (60 veicoli/ora).

La frequenza di passaggi sulla locale linea ferroviaria è stata stimata in 2 treni/ora.

La stima della dispersione è stata condotta usando il modello PHAST prodotto dalla DNV Technica, molto noto e utilizzato in ambito internazionale. I rischi individuali di decesso e quelli sociali sono invece stati stimati con il Safeti, *package* sviluppato dalla medesima società.

6. LA STIMA DEL RISCHIO

L'evoluzione degli eventi incidentali in scenari capaci di provocare effetti avversi sulle popolazioni ha originato 1274 scenari classificabili in: *pool fire* (9.4%), *jet fire* (23.1%), *flash fire* (23.6%), BLEVE – *fireball* (0.5%), *dispersione* di sostanze tossiche e/o infiammabili senza innesco (23.6%), UVCE con innesco immediato (4.2%) o ritardato nel tempo (15.6%).

L'integrazione di detti scenari ha quindi consentito di stimare la distribuzione spaziale del rischio individuale di decesso per persone non protette (Figura 4).



Figura 4. Rischio individuale di decesso per persone non protette. Le aree grigie rappresentano le zone industriali; le aree, gradualmente colorate dal giallo al verde, rappresentano le zone residenziali a densità di popolazione crescente.

Detta distribuzione evidenzia un livello di rischio molto alto (10^{-2} e/a) in una zona circoscritta all'interno della raffineria che non interessa le aree residenziali limitrofe. Un livello di rischio da considerare ancora elevato (10^{-3} e/a) è invece atteso, oltre che all'interno dello stabilimento petrolchimico, anche nelle aree residenziali prospicienti gli impianti di stoccaggio del GPL della raffineria e di un deposito commerciale, e nell'area del deposito nazionale combustibili della stessa raffineria. Procedendo a ritroso verso valori di rischio 10 e 100 volte inferiori (10^{-4} e 10^{-5} e/a), che non possono ancora essere considerati accettabili in zone residenziali, si osserva praticamente l'inclusione nelle aree a rischio di tutte le zone prospicienti i tre depositi di GPL presenti nell'area.

Si può quindi concludere che la situazione dell'area industriale di Mantova appare particolarmente delicata e che la presenza degli stoccaggi GPL è certamente uno dei maggiori determinanti di questa criticità. In particolare, si evidenzia un'area urbana interessata dai rischi connessi a rilasci di sostanze sia tossiche che infiammabili attribuibili ad impianti della raffineria, di un deposito GPL, del petrolchimico e della stazione ferroviaria.

Gli stessi risultati, rappresentati in termini di rischio sociale, confermano l'esistenza di una situazione molto delicata nella quale scenari catastrofici possono essere attesi con frequenze non trascurabili (curva *a* in Figura 5). Con riferimento agli incidenti industriali si deduce infatti che nell'area considerata:

- la probabilità di osservare almeno un decesso tra la popolazione residente è stimata in $3 \cdot 10^{-2}$ e/a;
- il più alto numero di decessi attesi è stimabile in circa 300 persone;
- un numero di decessi maggiore di 100 individui può essere atteso con una probabilità di $4 \cdot 10^{-4}$ e/a;
- un numero di decessi maggiore di 10 individui può essere atteso nell'area con una probabilità di $2 \cdot 10^{-3}$ e/a.

Questi livelli di rischio risulterebbero inaccettabili in qualsiasi paese la cui normativa affidasse alla comparazione con uno standard un eventuale giudizio di accettabilità. Come detto in precedenza, questo studio non considera il rischio in termini assoluti [14] ed i risultati descritti costituiscono esclusivamente la base su cui valutare l'efficacia di eventuali misure di mitigazione, per identificare le quali si è proceduto ad una più dettagliata analisi degli scenari incidentali. Per questi motivi, gli scenari che impattano all'esterno delle installazioni industriali sono stati suddivisi per tipologia del danno (esposizione a sostanze tossiche, esposizioni a radiazioni termiche e/o bariche) e per probabilità di accadimento, ed il loro inviluppo per soglie di danno atteso per la popolazione generale è stato riportato su una mappa. Ciò ha consentito di costruire una lista di priorità dei problemi da affrontare e confermato, relativamente al rischio di incendio ed esplosione, che determinanti primari sono la collocazione degli stoccaggi GPL e la deficitaria tecnologia degli impianti.

Questa considerazione non deve però far dimenticare né i rischi connessi con la presenza di sostanze tossiche le quali sono in grado di provocare, seppur con probabilità medio-basse, effetti avversi in aree residenziali, né quelli connessi con le attività di movimentazione e stoccaggio di sostanze pericolose in recipienti mobili.

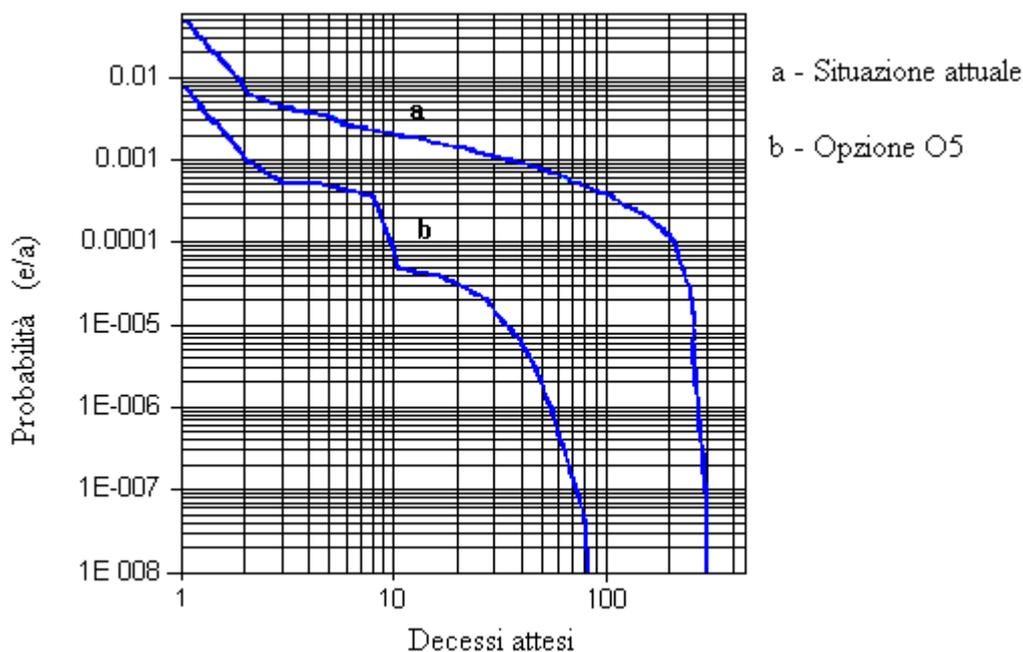


Figura 5. Curve di rischio sociale relative alla situazione attuale (curva a) e all'opzione O5 (curva b).

7. CONCLUSIONI

Al di là dello specifico processo decisionale entro cui l'analisi presentata è stata svolta, i risultati ottenuti evidenziano alcuni aspetti metodologici che andrebbero considerati con attenzione in questa fase iniziale di applicazione del D. Lgs. 334/99.

Il primo di essi è la conferma che pur sfuggendo a logiche eccessivamente semplificative, quali quelle proposte dai metodi ALARA o ALARP, l'analisi quantitativa di rischio può efficacemente supportare il processo decisionale delle autorità pubbliche, identificando provvedimenti operativi capaci di minimizzare il rischio senza distruggere il tessuto produttivo dell'area. Esaminati nello specifico, i risultati ottenuti hanno infatti consentito:

- di identificare negli stoccaggi e nella movimentazione del GPL le principali sorgenti di rischio di incidente rilevante, e conseguentemente di concentrare l'attenzione su queste attività;
- di ipotizzare differenti iniziative di mitigazione del rischio che tengano conto sia della minimizzazione dei rischi, sociali e individuali, sia della loro tollerabilità economica.

In sintesi, le opzioni di intervento suggerite non appaiono penalizzanti per le aziende coinvolte poiché, se si escludono i costi degli interventi per la messa in sicurezza degli impianti, una significativa riduzione dei rischi può essere ottenuta con le opzioni d'intervento suggerite senza bisogno di ridurre drasticamente le capacità di stoccaggio del GPL nell'area. Paradossalmente la migliore di queste opzioni appare compatibile con un incremento della capacità complessiva di stoccaggio GPL nell'area (Tabella 2).

Tabella 2. Indicatori di rischio per le opzioni proposte.

Codice opzione	Massimo numero di decessi attesi (*)	Probabilità di avere 10 o più decessi attesi (P_{10}) (*)	Probabilità di avere 50 o più decessi attesi (P_{50}) (*)	Quantità GPL totale stoccata nell'area (m^3 geometrici)
O1	100	100	100	4200
O2	53.3	20	4.29	4000
O3	53.3	25	5.7	6000
O4	30.0	17.5	0.43	5050
O5	26.7	2	0.21	7050
O6	30.0	15	0.29	3050

*situazione attuale = 100

Un secondo aspetto di rilievo è connesso alle modalità attraverso cui un'analisi di area può essere affrontata. Come noto l'individuazione di aree ad elevata concentrazione di stabilimenti con impianti a rischio e la predisposizione di uno studio di sicurezza d'area sono tra i cardini del D.Lgs. 334/99 (art. 13) ai quali le autorità competenti sono chiamate a fornire criteri di riferimento attraverso uno o più provvedimenti normativi. I risultati ottenuti in questo studio evidenziano le significative differenze esistenti tra i rapporti di sicurezza presentati dai fabbricanti e la necessità di definire regole di selezione e modifiche per integrare i loro risultati in una valutazione complessiva d'area. L'incertezza associata alla semplice sommatoria dei risultati di studi di sicurezza di singoli impianti potrebbe infatti essere così ampia da rendere difficoltosa anche la semplice identificazione e perimetrazione delle aree a rischio.

Un terzo elemento che in qualche modo pone in discussione lo stesso approccio di gestione dei rischi connessi con alcune sostanze pericolose è l'esplicita esclusione delle attività di trasporto dalla valutazione del rischio. I risultati di questo studio mostrano senza alcun dubbio che i rischi connessi a tale attività non solo sono comparabili a quelli delle attività fisse ma, in funzione della vulnerabilità delle aree attraversate dai vettori adibiti al trasporto, gli stessi possono risultare estremamente più alti sia in termini di verosimiglianza che di entità delle conseguenze attese. Indipendentemente dalle disposizioni normative, questo elemento non potrà certo essere trascurato nella pianificazione dell'emergenza esterna, soprattutto ora che le normative prevedono la partecipazione della popolazione al processo decisionale.

Ringraziamenti: la realizzazione di questo lavoro è stata possibile grazie al contributo finanziario del Comune di Mantova e del CNR - Contratto di ricerca n. 98.00568.PF37.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] C. Vollono, R. Latella and A. Bastone, Risk communication: a still open question, Foresight and Precaution, M.P. Cottam, D.W. Harvey, R.P. Pape and J. Tait Eds, Baklema, Rotterdam, I, pp. 43-47 (2000).
- [2] C. Vollono, A. Bastone, E. Mossini, R. Zamboni e M. Beruffi, *La valutazione del rischio d'area. Il caso dell'area industriale di Mantova*, G. Marsili (a cura di), Franco Angeli Ed, Milano, pp. 263-299 (2000).
- [3] M.E. Soggiu, G. Marsili, C. Sellitri e G. Siliprandi, *La valutazione del rischio d'area. Il caso dell'area industriale di Mantova*, G. Marsili (a cura di), Franco Angeli Ed, Milano, pp. 97-133 (2000).
- [4] M.E. Soggiu, G. Marsili, A. Soriero, S. Paduano, S. Fuselli, G. Siliprandi e F. Fiore, *La valutazione del rischio d'area. Il caso dell'area industriale di Mantova*, G. Marsili (a cura di), Franco Angeli Ed, Milano, pp. 135-153 (2000).
- [5] C. Ferrari, L. Mancini, C. Sellitri e T. Magnani, *La valutazione del rischio d'area. Il caso dell'area industriale di Mantova*, G. Marsili (a cura di), Franco Angeli Ed, Milano, pp. 59-96 (2000).
- [6] G. Marsili, C. Ferrari, C. Sellitri, M.E. Soggiu e I. Sarzi Sartori, *La valutazione del rischio d'area. Il caso dell'area industriale di Mantova*, G. Marsili (a cura di), Franco Angeli Ed, Milano, pp. 211-261 (2000).
- [7] R.M. Whithers, F.P. Lees, *The assessment of major hazards: the toxicity of chlorine*, Parti I e II, Journal of Hazardous Materials, 12, pp. 231-302 (1985).
- [8] N.A. Eisemberg, C.J. Lisemberg and R.J. Breeding, *Vulnerability model – A simulation system for assessing damage resulting from marine spills*, US-Coast Guard, rapporto n. CG-D-136-75, Springfield, VA, USA, (1975).
- [9] A. Amendola, S. Contini and I. Ziomas, Uncertainties in chemical risk assessment: results of an European benchmark exercise., *Journal of Hazardous Materials*, **29**, pp. 347-363 (1992).
- [10] I.Chem.E., *Risk assessment in the process industries*. R. Pitblado, R. Turney Eds, Rugby, UK, Institution of Chemical Engineers, 138 p. (1996).
- [11] E.J. Calabrese, R.B. Blain, The single exposure carcinogen database: assessing the circumstances under which a single exposure to a carcinogen can cause cancer, *Toxicological Sciences*, 50, pp. 169-185 (1999).

- [12] G. Marsili, Stima delle conseguenze per l'uomo e l'ambiente, *Analisi del rischio di incidente rilevante, Vol. II (4)*, Milano, IPSOA Editore, 100 p. (1996).
- [13] CCPS, *Guidelines for use of vapour cloud dispersion models*, New York, American Institute of Chemical Engineers, 117 p. (1987).
- [14] S. Kaplan, B.J. Garrick, On the quantitative definition of risk, *Risk Analysis*, **1**(1), pp. 11-27 (1981).