

IL PROGRAMMA ARIPAR PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI AREA: APPLICAZIONE ALL'AREA INDUSTRIALE DI LIVORNO

G. Uguccioni ^a, C. Bellocchi ^b, G. Spadoni ^c

^a Snamprogetti SpA, Servizio Salute, Sicurezza, Ambiente e Affidabilità Impianti (HSE), Viale De Gasperi 16, 20097 San Donato Milanese (MI), Italy

^b Snamprogetti SpA, Servizio Salute, Sicurezza, Ambiente e Affidabilità Impianti (HSE), - attualmente presso URS – Dames & Moore, via Caldera 21, 20153 Milano

^c GNDRICIE-CNR (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Rischi Chimici, Industriali ed Ecologici) — P.le V. Tecchio 80, 80125 Napoli, Italy

SOMMARIO

La Direttiva Europea 'Seveso 2' e il suo recepimento nella Normativa Italiana pongono esplicitamente l'accento sul Rischio dovuto non solo alla singola installazione ma al complesso di impianti che insistono su un'area industriale (Rischio d'Area). Una valutazione complessiva del rischio utile per lo sviluppo di Piani Territoriali infatti deve considerare non solo il singolo impianto ma le sue interazioni con gli altri impianti e di sistemi di trasporto presenti nell'area.

Questo concetto è stato applicato già negli anni 80 con gli studi sulle aree industriali dell'area di Canvey e di Rijnmond ed anche in Italia se ne ebbe una prima applicazione a fine anni '80 con lo studio dell'area industriale e portuale di Ravenna (ARIPAR) sponsorizzato dal Servizio della protezione Civile della regione Emilia-Romagna [1,2].

Il Gruppo Nazionale per la difesa dai Rischi Chimici, industriali e Ecologici (GNDRICIE) del CNR ha lanciato a fine 1997 un progetto per la Valutazione dei Rischi dell'Area Industriale di Livorno, utilizzando la metodologia messa a punto nel corso del progetto ARIPAR implementata in una versione aggiornata del programma di analisi [3] che utilizza i programmi di calcolo originali in un ambiente Windows integrato con un sistema informativo Territoriale (GIS) [4] per l'inserimento dei dati georeferenziati e la rappresentazione dei risultati.

Il paper presenta i principali risultati dello studio ed alcune considerazioni sulle problematiche principali da considerare nello sviluppo di uno studio di rischio d'area.

1. GENERALITA'

Lo studio è stato finalizzato alla valutazione del rischio alla popolazione dovuto a rilasci di sostanze pericolose nell'area Industriale di Livorno, di circa 6 km² di estensione, su una area abitata di circa 45 km². I limiti dello studio sono stati definiti come segue:

- Sono stati considerate come sorgenti di rischio gli impianti che ricadono sotto il DPR 175/88 (in vigore all'epoca dello studio), i trasporti di sostanze pericolose in condotta al di fuori degli stabilimenti, le sostanze pericolose movimentate nel porto, i trasporti stradali e ferroviari di sostanze pericolose entro i confini comunali.
- Il danno di riferimento è costituito dagli effetti acuti sulla popolazione; danni ambientali ed effetti cronici non sono stati considerati.
- Sono stati presi in considerazione incidenti 'rilevanti', cioè incidenti i cui effetti possano coinvolgere la popolazione. Non sono stati quindi considerati nello studio eventi (per rilasci di piccola entità) che causano solo esposizione dei lavoratori.

Lo studio si è sviluppato nei passi descritti alle sezioni seguenti.

1.1 Raccolta dati

- *Identificazione delle 'Area Sorgente' e 'Area di Impatto'*. L' 'Area sorgente' è l'area dove sono presenti le sorgenti di rischio mentre 'Area di Impatto' è l'area dove possono essere rilevati effetti significativi in caso di incidente. Su questa seconda area è definita la distribuzione di popolazione.

- *Dati sulle sorgenti di rischio.* I dati necessari per la valutazione del rischio d'area sono raccolti da differenti fonti di informazione:
 - Impianti fissi; i dati sono ricavati dai Rapporti di sicurezza emessi a fronte del DPR 175.
 - Trasporti: i trasporti non sono soggetti alla normativa sui rischi rilevanti; la valutazione dei rischi per questi sistemi va quindi eseguita appositamente per ottenere i dati necessari alla analisi di rischio di area, sulla base di dati raccolti presso gli stabilimenti. Nel caso di Livorno solo i trasporti originati o destinati alle Società che gestiscono impianti a rischio di incidente rilevante sono stati censiti.
- *Dati Territoriali.* I dati territoriali necessari alla analisi sono costituiti dalla distribuzione di popolazione, dalla localizzazione dei Centri di Vulnerabilità (località con elevata concentrazione di popolazione o presenza di popolazione particolarmente vulnerabile quali scuole, ospedali, caserme, centri commerciali etc), dalle condizioni meteorologiche.

1.2. Elaborazione dei Dati

L'inserimento dei dati al programma di calcolo del rischio va preceduto da elaborazioni dei dati base allo scopo di semplificare la analisi o ottenere informazioni di maggior dettaglio dai dati raccolti.

- *Censimento sostanze pericolose:* le sostanze pericolose presenti nell'area sono individuate sulla base dei dati presenti nei Rapporti di Sicurezza e dei censimenti dei trasporti. Per esse vanno raccolti i dati tossicologici e chimico-fisici sulla base dei quali va valutata la possibilità di raggruppare le sostanze in un numero limitato di classi
- *Impianti fissi:* I Top Event analizzati nei Rapporti di sicurezza (inclusi quelli del Porto, oggetto anch'esso di un Rapporto di Sicurezza) vanno esaminati per valutare quali vanno considerati e quali trascurati, sulla base della definizione dello scopo e estensione della analisi di sicurezza discussa in precedenza.
- *Trasporti:* in assenza di rapporti di sicurezza per il trasporto stradale, ferroviario e in condotta frequenze e conseguenze di incidente vanno analizzate ex-novo.

1.3. Inserimento Dati

I dati raccolti e quelli derivanti dalle elaborazioni effettuate sono inseriti nel database di analisi, anche per mezzo di una interfaccia GIS che semplifica l'inserimento dei dati legati al territorio. Tutti i dati vengono quindi gestiti da un database ACCESS . Nella fase di inserimento dati vengono anche effettuate dal programma alcune elaborazioni a partire dai dati di base inseriti (calcolo della frequenza di rilascio per le tratte stradali, calcolo di coefficienti di interpolazione, vedi sezione 2.)

1.4. Calcolo e ricomposizione del rischio

Il calcolo del rischio sull'Area di Impatto derivante dall'insieme di tutte le sorgenti di rischio considerate è effettuato per mezzo del programma 'ARIPAR-GIS' ed i risultati sono visualizzati sulle mappe dell'area mediante il pacchetto GIS integrato nel programma.

2. METODOLOGIA DI ANALISI

La metodologia adottata è quella originariamente sviluppata per la analisi ARIPAR, oggetto di successivi miglioramenti e modifiche descritti in altri articoli [2,4]. Nel seguito sono brevemente descritti i principali aspetti che la caratterizzano.

- Misure di Rischio. La analisi fornisce i valori di Rischio Individuale e Sociale. In ARIPAR il rischio individuale è definito come il rischio per una specifica categoria di popolazione identificata dalla sua localizzazione nell'area di impatto, dalla probabilità di presenza nel punto di localizzazione, dalla probabilità di trovarsi all'aperto o al chiuso. Sono definite quattordici categorie di popolazione (Residenti, Studenti, Lavoratori, Turisti etc.) e per ciascuna di esse i valori di probabilità di presenza sono ricavati sulla base della considerazione delle specifiche situazioni locali. Il valore di rischio individuale così ottenuto differisce pertanto da quello che è definito 'Rischio Individuale' negli studi di matrice anglosassone, che non tengono conto delle specifiche probabilità di presenza delle categorie di popolazione locale. Nella metodologia ARIPAR il valore del rischio individuale massimo teorico è chiamato 'Rischio Locale', essendo legato solo alla localizzazione dell'individuo rispetto alla sorgente di

rilascio. I risultati possono essere rappresentati come curve di livello del rischio Individuale e Sociale sul territorio, curve F-N (rischio sociale), istogrammi I-N (per la valutazione della distribuzione della popolazione rispetto al rischio), istogrammi indicanti la importanza relativa delle diverse sorgenti, tipologie di incidente e sostanze.

- Calcolo delle frequenze: le probabilità di accadimento degli incidenti non sono calcolate dal programma ma inserite come dato a priori a partire dai Rapporti di Sicurezza (quando disponibili) o a partire da studi sviluppati ad-hoc. Solo nel caso del trasporto stradale vengono inseriti i dati base (frequenze di incidente in eventi/chilometro/anno, numero di trasporti per ogni sostanza e tipologia) e la frequenza incidentale per ogni tratta viene calcolata dal programma sulla base della lunghezza della tratta ottenuta direttamente dal GIS. La scelta di non effettuare il calcolo delle frequenze a partire da modelli e dati base inseriti direttamente nel programma consente di evitare conflitti tra le ipotesi e i dati base eventualmente utilizzati dal programma di ricomposizione ed i risultati di Rapporti di Sicurezza già analizzati ed approvati dalle Autorità competenti.
- Analisi delle conseguenze. ARIPAR-GIS non dispone di pacchetti integrati per la analisi delle conseguenze; le conseguenze degli incidenti sono valutate dal programma mediante funzioni che interpolano i risultati di valutazioni delle conseguenze effettuate al di fuori del programma ARIPAR. I coefficienti di interpolazione di queste funzioni, scelte in modo tale da rappresentare l'andamento delle conseguenze di ogni scenario, sono calcolate da un programma all'interno del pacchetto di programmi ARIPAR e trasferite automaticamente al database di analisi. Questo metodo è stato scelto sia per mantenere i calcoli di conseguenze fatti nei rapporti di Sicurezza e già approvati sia per consentire all'analista l'utilizzo del programma di analisi più appropriato, senza vincolarlo alla scelta del modello, di solito semplificato, inserito all'interno di un package predefinito.
- Territorio. Il programma descrive il territorio come un insieme di punti, derivanti dalla sovrapposizione al territorio di una griglia di passo variabile; ad ogni elemento della griglia è associato un numero di abitanti, suddivisi in categorie di popolazione (vedi commento al calcolo del rischio individuale al punto 'Misure del Rischio' precedente). Ai punti ottenuti dalla discretizzazione del territorio si aggiungono punti rappresentanti localizzazioni particolari (Centri di Vulnerabilità). In questo modo si ottiene una migliore rappresentazione della distribuzione spaziale della popolazione e dei Centri di Vulnerabilità nell'area; scegliendo opportunamente il passo di griglia (adottando un passo piccolo nelle vicinanze delle sorgenti di rischio e un passo più elevato nelle zone lontane) è possibile mantenere una buona precisione della analisi senza appesantire eccessivamente il numero di punti di calcolo.
- Calcolo del Rischio. Il rischio è calcolato a partire dalla vulnerabilità di ogni scenario incidentale su ogni punto di griglia dell'area di impatto. Viene quindi calcolato il valore medio della vulnerabilità su un settore della rosa dei venti e da questo, combinato con la frequenza di accadimento dello specifico scenario, vengono calcolati il numero di individui colpiti (N) per la valutazione del rischio sociale e i valori di rischio individuale (tenendo conto delle probabilità di presenza della popolazione) e locale. La adozione di un calcolo discretizzato come quello descritto permette di considerare nella analisi qualsiasi localizzazione di interesse tenendo in conto la effettiva posizione di questa rispetto all'insieme delle sorgenti di rischio e il numero e caratteristiche della popolazione presente.

3. CASO STUDIO – L'AREA DI LIVORNO

3.1. Sorgenti di Rischio

Le sorgenti di rischio considerate sono le seguenti:

- Impianti Fissi: 11 impianti, inclusa la stazione Ferroviaria, per un totale di 314 Top Event e 478 tipologie di incidente. 172 di queste non sono state considerate perché di conseguenze trascurabili (vedi sezione 3.2 – accorpamenti), portando a 306 il numero totale di tipologie effettivamente considerate nella analisi. Da ognuna queste tipologie derivano diversi scenari incidentali, caratterizzati dalle combinazioni di velocità di vento e classe di stabilità (due) e direzioni del vento (sedici) considerate nella analisi.

La Tabella seguente mostra la ripartizione delle tipologie considerate.

Tipologia	Casi
Pool-fire	97
Esplosione non confinata (UVCE)	76
Jet-fire	52
Dispersione	38
Flash-fire	24
BLEVE	5
Fireball	7
Esplosione confinata (CVE)	7

- Trasporto stradale: si è analizzata una rete di 19 km suddivisa in 23 tratte, con un numero totale di circa 204000 veicoli/anno in ingresso e uscita dagli undici stabilimenti considerati. Di questi, 136800 veicoli/anno trasportano sostanze pericolose di interesse per la analisi (cioè in grado di dare, in caso di rilascio, effetti acuti significativi sulla popolazione)..
- Trasporto Ferroviario: si è analizzata una rete di 19 km suddivisa in 22 tratte, con un numero totale di 4200 carri/anno trasportanti sostanze pericolose.
- Porto: sono presenti 6800 navi/anno, 3800 delle quali trasportano sostanze pericolose.
- Condotte: si sono censite 12 condotte nell'area, di lunghezza variabile tra 88 km e 800 metri e diametri compresi tra 30 e 6 pollici per il trasporto di greggio e benzine.

Per i trasporti stradale, ferroviario e in condotta si sono ipotizzati tre Top Event, ovvero la rottura totale (rottura 'a ghigliottina' per le condotte o rilascio totale del contenuto per i trasporti), una rottura grave (rappresentata da un foro di 4" di diametro) e una rottura di minore entità (rappresentata da un foro di 2" di diametro).

Le sostanze censite per i trasporti e il numero di veicoli/anno associati sono riportati nella tabella seguente:

Sostanza	Trasporto stradale (Veicoli/anno)	Trasporto Ferroviario (carri/anno)
Acetato di etile	111	-
Acetone	180	-
Acido acetico	708	-
Acido acrilico	25	-
Acido cloridrico (soluz. 31%)	195	-
Acido Solforico (soluz. 98%)	15	-
Acqua ragia	100	-
Acrilonitrile	-	35
Additivo biodiesel	27	-
Alcool isopropilico	?	-
Altri infiammabili	3	-
Ammoniaca (soluz. 35%)	6	-
Anidride Acetica	110	-
Azoto liquido	1834	-
Benzina	52605	-
Bitume	49990	-
Butadiene	-	150
Butile Acetato	500	-
Catrami e pece	2650	-
Cicloesano	120	-
Dowanol PM	100	-
Estratti	1199	-
Etanolo	380	-
Etanolo denaturato	300	-
Furfurolo	14	-
Gasolio	40727	-
GPL - Miscela C	31488	1976
Idrogeno	1	-

Sostanza	Trasporto stradale (Veicoli/anno)	Trasporto Ferroviario (carri/anno)
Isobutile acetato	240	-
Isotiazoline	6	-
Metanolo	1620	2000
Metilato di sodio	31	-
Metiletilchetone	28	-
Oli Lubrificanti	6223	-
Oli pesanti	1637	-
Olio combustibile	4587	-
Paraffine	2543	-
Persolfato di ammonio	8	-
Persolfato di sodio	6	-
Petrolchimici	168	-
Petroli	1980	-
Piombo Tetraetile	6	-
Sali sodici	12	-
Soda	500	-
Soda caustica	92	-
Solvente Nafta	40	-
Stirene/Stirolo	1010	-
Toluolo	524	15
VAM	50	-
Versenol 120	1	-
Xilolo	700	15
Totale	!Errore di sintassi,)	4191

3.2. Accorpamenti

Scenari di Incidente

Una analisi di rischio di area coinvolge un numero estremamente elevato di scenari incidentali (dell'ordine delle centinaia se non delle migliaia) e di sostanze pericolose (nel caso di Livorno sono state censite 52 sostanze pericolose). La necessità di inserire dati probabilistici e di conseguenze per tutti gli scenari e di effettuare analisi ad hoc per ogni sostanza pericolosa per i trasporti richiederebbe pertanto tempi e risorse estremamente elevati. Per ridurre il costo e il tempo della analisi senza perdere eccessivamente in precisione dei risultati è pertanto raccomandabile accorpare scenari di incidente e sostanze pericolose in un numero ridotto ma significativo di classi.

Il numero di scenari incidentali è stato ridotto eliminando dalla analisi eventi con effetti trascurabili e accorpare scenari 'simili'.

L'accorpamento degli scenari incidentali 'simili' è stato effettuato raggruppando eventi che danno effetti confrontabili, localizzati nello stesso impianto a meno di 50 m l'uno dall'altro; la frequenza dell'evento accorpato risultante è a somma delle frequenze degli eventi accorpati.

Sono stati invece trascurati nella analisi gli eventi che ricadono in una delle seguenti classi:

1. Incidenti che interessano liquidi infiammabili con flash point maggiore di 180 °C o che risultano in rilascio di liquidi di bassa volatilità;
2. Rilasci verticali a getto da PSV (a meno di verifica di possibile effetto domino)
3. Incidenti associati a distanze di sicurezza inferiori a 20 m.

Nel caso di Livorno la applicazione di questi criteri di trascurabilità e di accorpamento ha portato a ridurre il numero di scenari da analizzare a 127.

Sostanze

Criteri di accorpamento per ridurre il numero di calcoli di conseguenze richiesti sono stati anche applicati alle sostanze pericolose, sulla base della similitudine nelle loro caratteristiche chimico-fisiche, con i seguenti criteri:

1. Liquidi altamente infiammabili (flash point inferiore a 21 °C, temperatura di ebollizione tra i 40 e gli 80 °C) con peso molecolare di circa 100 g/mol sono assimilati a benzina.
2. Liquidi infiammabili (flash point tra 21 e 180 °C, temperatura di ebollizione tra i 110 e i 200 °C) con peso molecolare di circa 150 g/mol sono assimilati a greggio.

3. Gas liquidi infiammabili sono assimilati a propano
4. Liquidi infiammabili con peso molecolare inferiore a quello delle benzine e temperatura di ebollizione inferiore a 140 °C sono assimilati a metanolo.
5. H₂S, Ammoniaca, HCl sono considerati individualmente

La adozione di questi criteri ha portato agli accorpamenti riportati nella tabella seguente ed ha consentito di effettuare la analisi delle conseguenze per 8 sostanze-tipo rappresentative dell'intero insieme di sostanze presenti nell'area.

Sostanza di riferimento per la analisi delle conseguenze	Sostanze accorpate	T eb (°C)	Flash point (°F)	UFL (%vol)	LFL (%vol)	MW (g/mol)
Acido solfidrico	Acido solfidrico	-60.4	-	46%	4%	34
Ammoniaca 35%	Ammoniaca soluzione acquosa al 35%	53	-	25%	16%	17.7
Benzina	Cicloesano	80.7	1.4	8.40%	1.30%	84.2
	Benzina	39	-50	7.10%	1.30%	100
Greggio	Acqua ragia	160	95	-	-	99.5
	Additivo biodiesel	-	-	-	-	-
	Anidride acetica	140	129	10.30%	2.90%	102.1
	Butile acetato	126	72	7.60%	1.70%	116.2
	Dowanol (PM)	201.9	201	-	-	134.2
	Furfurolo (Furfurale)	161.7	140	19.30%	2.10%	96.1
	Gasolio	149	107	7%	1%	110
	Olii lubrificanti, combustibili, petrolio	-	350	-	-	-
	Piombo tetrametile	110	100	-	1.80%	267.4
	Solvente nafta	-	-	-	-	-
	Stirolo	146	88	6.10%	1.10%	104.1
	Xilolo	138.5	100	6.70%	0.90%	106.2
Metanolo	Acetato di etile	77	24	11.50%	2%	88.1
	Acetone (Dimetilchetone)	56	0	12.80%	2.50%	58.1
	Acido acetico	118	109	16%	5.40%	60.1
	Acido acrilico	141	130	8.02%	2.40%	72.1
	Acrilonitrile	77.3	30	17%	3.10%	53.1
	Alcol isopropilico	82.5	53	12.70%	2%	60.1
	Etanolo	78.3	55.6	19%	3.30%	46.1
	Isobutanolo	117.5	95	11.20%	1.40%	74.1
	Metanolo	104.5	-	36.50%	6%	32
	Metilato di sodio	-	-	-	-	-
	Metiletilchetone (butanone)	79.6	22	11.50%	1.80%	72.1
	Toluolo	110	40	7.10%	1.10%	92.1
VAM (Vinil Acetato Monomero)	73	18	13.40%	2.60%	86.1	
Propano	Butadiene	-4.5	-105	12%	2%	54.1
	GPL (miscela C)	-44	-	9%	2%	50
Acido cloridrico 31%	Acido cloridrico soluzione acquosa al 31%	42.7	-	-	-	23.7
Idrogeno	Idrogeno	-252.8	-	74.20%	4.10%	2

Le sostanze non presenti nella tabella precedente (liquidi infiammabili con flash point superiore a 180°C, le sostanze tossiche con temperatura di ebollizione superiore a 150 °C e i solidi) sono state escluse dalla analisi perché non significative per quanto riguarda il rischio di effetti acuti sulla popolazione in caso di rilascio accidentale.

Oltre all'accorpamento di cui sopra, finalizzato alla analisi delle conseguenze, si è anche proceduto ad accorpare le sostanze tossiche sulla base della similarità nelle caratteristiche tossicologiche (IDLH, LC50) per identificare equazioni di Probit di sostanze che potessero essere considerate simili dal punto di vista dell'effetto tossicologico acuto sulla popolazione, come descritto nella tabella seguente

Accorpamento per vulnerabilità (sostanze ARIPAR)	Sostanza	TLV TWA	IDLH ppm (mg/m3)	LCLo - LC50 (ppm/ora)
Acido cloridrico	Acido cloridrico 31%	5	50 (76)	9500 (LC50)
	Piombo tetrametile	0.075mg/m3	3 (40)	
Acido solfidrico	Acido solfidrico	10	100 (142)	
Acrilonitrile	Acrilonitrile	10	85 (188)	2000 (LCLo)
	Furfurolo	2	100 (399)	
Ammoniaca	Ammoniaca 35%	25	300 (213)	
	Anidride acetica	5	200 (848)	4000 (LC50)
	Stirolo	100	700 (3031)	
	Toluolo	200	500 (1915)	
	Xilolo	100	900 (3969)	

Questo secondo accorpamento si è reso necessario perché la versione del programma ARIPAR utilizzata prevedeva la possibilità di utilizzare equazioni di Probit solo per nove sostanze tossiche predefinite (oltre alle Probit per incendio ed esplosione). La versione attuale del programma ARIPAR (ARIPAR 2.0) [5] ente l'utilizzo di un massimo di 98 differenti equazioni di Probit a scelta dell'analista e pertanto rende non più necessaria la adozioni di criteri di accorpamento quale quello sopra descritto.

3.3 Dati Territoriali

L'area di studio ha una popolazione di circa 170000 abitanti, concentrati in massima parte nella città di Livorno. I dati di popolazione sono stati ottenuti dai dati di censimento e distribuiti su una griglia sovrapposta all'area. Per mantenere il numero di punti di griglia ad un numero ragionevole (circa 3000) si è adottato un passo di griglia di 100 m entro 300 m dalle sorgenti di rischio e di 500 m altrove.

La popolazione è stata distribuita sulla base di informazioni sulla densità di popolazione ricavate dai dati di censimento, assumendo il 90% della popolazione presente nelle aree edificate e il rimanente 10% nelle aree non edificate.

Oltre ai punti di griglia distribuiti, sono stati identificati Centri di Vulnerabilità rappresentati dalle coordinate geografiche e dalla popolazione presente. Nel caso in esame sono stati identificati circa 30 centri di vulnerabilità con popolazione variabile tra 100 e 10000 persone; tali centri di vulnerabilità sono rappresentati da due stazioni ferroviarie, un Ospedale, cinque supermercati e centri commerciali, sette installazioni sportive, sei cinema, cinque edifici militari.

Le condizioni meteorologiche sono state ricavate sulla base della analisi dei dati di origine ENEL-A.M. e di quelli di centraline locali e sono stati accorpati in due condizioni meteorologiche, 2F e 5D per rappresentare una situazione media ed una conservativa per la dispersione.

3.4 Calcolo delle Frequenze e delle conseguenze

Le frequenze di incidente per gli Impianti Fissi sono state ricavate dai Rapporti di Sicurezza; nei casi nei quali i Rapporti non contenevano informazioni quantitative sulle probabilità, poiché i limiti dello studio non consentivano la effettuazione di analisi probabilistiche di dettaglio (ad esempio analisi con Alberi dei Guasti) sono stati attribuiti agli eventi tre valori tipici (1.E-3, 1.E-5 e 1.E-7 eventi/anno) rappresentativi di probabilità alte, medie e basse sulla base della esperienza dell'analista e delle informazioni riportate nei Rapporti.

Le analisi delle conseguenze riportate nei Rapporti non sono solitamente adeguate per gli scopi di una analisi di rischio d'area, in particolare vengono spesso fornite solo le distanze a poche soglie di sicurezza prefissate. Inoltre i dati meteorologici utilizzati nei rapporti non sono sempre congruenti tra Rapporti per diversi impianti.

Nel caso in esame, le conseguenze di incidente sono state calcolate ex-novo solo per gli scenari più significativi (ad esempio rilasci di gas infiammabili liquefatti o di sostanze tossiche) per garantire congruenza di condizioni meteorologiche e modelli di calcolo.

Per i sistemi di trasporto, in assenza di Rapporti di Sicurezza (con l'eccezione del Porto) i calcoli delle conseguenze sono stati eseguiti ex-novo per tutti i casi.

In tutti i casi il programma di ricomposizione dei rischi calcola le conseguenze fisiche e le vulnerabilità in ogni punto di griglia, per ogni scenario, per mezzo di funzioni di interpolazione i cui coefficienti sono calcolati dal programma per ogni scenario incidentale mediante un modulo di ARIPAR-GIS che legge i file di output dei programmi di calcolo delle conseguenze, calcola i coefficienti per la funzione associata alla tipologia di scenario in esame e inserisce i coefficienti calcolati nel database di ARIPAR.

3.5 Calcolo del Rischio di Area

L'algoritmo per il calcolo dei parametri di rischio necessari per la valutazione del rischio di area (curve di isorischio Locale e Individuale, curve F-N, istogrammi I-N) procede analizzando ogni singola sorgente di rischio e, per ogni punto di griglia, calcolando le conseguenze di ogni scenario incidentale associato alla sorgente (si ricorda che nella definizione di scenario entrano anche le sedici possibili direzioni del vento e le possibili combinazioni di stabilità atmosferica e velocità del vento, nel caso di Livorno poste pari a due) poi calcolando le vulnerabilità per mezzo di equazioni di Probit ed infine calcolando il rischio per integrazione sulle direzioni del vento, come schematicamente mostrato dalla equazione seguente (la equazione mostra il calcolo del rischio Locale; per il rischio individuale vanno considerate nella espressione anche le probabilità di presenza delle diverse categorie di popolazione):

$$R(x) = \sum_S \sum_{d=1}^4 P_{S,d} \sum_{v=1}^2 \sum_{\alpha=1}^{16} \int_{\Delta\Theta} V_{S,d,v,\alpha}(x,q) P_{V_{S,v,\alpha}}(q) dq$$

Nel caso dell'area di Livorno la analisi ha fornito livelli di rischio individuale variabili tra 10^{-6} nell'area industriale e 10^{-8} in città. I principali contributi al rischio sono i trasporti stradale e ferroviario, il che conferma che una analisi di rischio di area deve tenere conto non solo degli impianti fissi, ma di tutte le infrastrutture di trasporto di sostanze pericolose associate agli impianti.

4. CONCLUSIONI

La analisi di rischio di area è oggi una tecnica sufficientemente provata che può essere applicata per la effettuazione di analisi di aree industriali complesse con tempi di pochi mesi consentendo di ottenere informazioni dettagliate sulla distribuzione spaziale del rischio, la importanza relativa delle diverse sostanze e delle sorgenti di rischio presenti, gli effetti di modifiche agli impianti, ai sistemi di trasporto, gli effetti di diverse alternative nella pianificazione del territorio e nella adozione di misure di mitigazione.

Per raggiungere questi risultati è essenziale la disponibilità di programmi di calcolo provati in grado di gestire ed analizzare il grande numero di informazioni necessarie per la effettuazione di una analisi significativa.

La esperienza acquisita con le passate applicazioni del programma ARIPAR e confermata dalla recente applicazione al caso di Livorno mostra che nella pianificazione di una analisi di rischio di area occorre considerare con attenzione i seguenti aspetti:

- la analisi deve considerare non solo i sistemi soggetti alle Normative sui 'grandi rischi' ma anche infrastrutture non soggette all'obbligo di Rapporto di sicurezza, con particolare riferimento al trasporto stradale e ferroviario che portano la possibilità di rilascio di sostanza pericolosa vicino o all'interno a zone abitate
- la fase di raccolta ed analisi dei dati è una fase essenziale della analisi che può assorbire una frazione significativa delle risorse complessivamente necessarie e che richiede una stretta collaborazione tra autorità locali, associazioni di categoria, Società che devono fornire i dati necessari. Una analisi di rischio di area deve quindi essere coordinata e gestita al livello di Enti o autorità locali o nazionali.
- La omogeneità e la congruenza dei dati può essere un problema significativo che può richiedere il rifacimento in tutto o in parte delle analisi di probabilità e conseguenze. A questo scopo sarebbe opportuna la disponibilità di linee guida che dettagliano i criteri e le assunzioni e modalità di riferimento per la redazione dei Rapporti di sicurezza di impianti in aree soggette ad Analisi di Rischio di Area.

RINGRAZIAMENTI

Lo studio presentato è stato realizzato su contratto del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Rischi Chimici, Industriali ed Ecologici del CNR, Contratto 97.0002-37.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Egidi, D., Foraboschi F.P., Spadoni G., Amendola A. "The ARIPAR Project: Analysis of the Major Accident Risks Connected with Industrial and Transportation Activities in the Ravenna Area", *Reliability Engineering and System Safety* 49 (1995) 75-79
- [2] Spadoni G., Leonelli P., Egidi D. "Quantitative Risk Analysis of Industrial and Transportation Activities in the Ravenna Area: a Second Report", *ESREL 97 Conference*, Lisbon 1997
- [3] Uguccioni G., Senni S., De Sanctis S., Vestrucci P., Zappellini G., "Industrial Area Risk Management through risk analysis technique" *PSAM Conference*, Beverly Hills, 1991
- [4] Bellezza, Contini, Binda, Spadoni, "A GIS Based Software Tool for Risk Assessment and Management in Industrial Areas" *ESREL 98 Conference*, Trondheim 1998
- [5] Uguccioni G., Spadoni G., Egidi D., "Risk mapping for complex Industrial Areas – Tools and possible development" *Risk Analysis 2000*, Bologna Ottobre 2000