

ARIPAR-GIS: UN SUPPORTO PER LE ATTIVITÀ DI PREVISIONE E PREVENZIONE DEI RISCHI E LA PREPARAZIONE ALL'EMERGENZA IN AREE INDUSTRIALI E PORTUALI A RISCHIO DI INCIDENTE RILEVANTE

G. Spadoni¹, S. Contini², D. Egidi³

¹ Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali, Viale Risorgimento, 2 - 40136 Bologna; e-mail : gigliola@dicm0.ing.unibo.it

² Istituto dei Sistemi, dell'Informatica e della Sicurezza, Centro Comune Ricerche, TP 650, Ispra (Va); e-mail: sergio.contini@jrc.it

³ Servizio di Protezione Civile, Regione Emilia-Romagna, Viale Silvani, 6 - 40122 Bologna

SOMMARIO

Oggetto della memoria è la descrizione di una metodologia di lavoro, e del relativo strumento informatico, per l'analisi quantitativa previsionale dei rischi di incidente rilevante dovuti ad una complessa realtà industriale ed ai trasporti ad essa connessi. Le potenzialità di calcolo, la facilità ed immediatezza di rappresentazione dei rischi (locale, individuale e sociale) e dei contributi al rischio delle singole sorgenti e/o sostanze pericolose ne fanno un supporto di estrema utilità per attività di prevenzione dei rischi, di pianificazione territoriale e, attraverso la mappatura territoriale degli scenari incidentali, anche per le attività di preparazione dell'emergenza. Al prototipo del supporto decisionale, creato nell'ambito del Progetto ARIPAR che ha considerato l'area industriale Ravenna, ha fatto seguito l'attuale versione che utilizza le potenzialità di una piattaforma GIS per la georeferenziazione di dati e risultati.

1. INTRODUZIONE

Le recenti normative regionali, nazionali ed europee in materia di Protezione Civile e controllo dei rischi di incidenti rilevanti riconoscono un ruolo fondamentale alle attività di *previsione* sia come necessaria fase propedeutica alla *prevenzione* dei rischi sia come supporto alla pertinente attività di *pianificazione territoriale*, sia infine per l'individuazione degli elementi principali nella fase di *preparazione delle emergenze*. Alla luce di queste premesse appare di primaria importanza che gli enti titolari delle relative competenze possano disporre da un lato di procedure verificate dall'altro di strumenti di lavoro unificati per consentire la acquisizione dei dati e dei parametri caratteristici di una determinata realtà industriale e dei trasporti ad essa connessi, la contestuale valutazione quantitativa dei rischi che la contraddistinguono e il prevedibile impatto che questi ultimi determinano sul territorio interessato.

Questi sono di fatto gli obiettivi che il progetto ARIPAR (Analisi e controllo dei Rischi Industriali e Portuali dell'Area di Ravenna) si è posto fin dall'avvio nel 1988, allorché Regione Emilia-Romagna e Dipartimento della Protezione Civile hanno riconosciuto la necessità di avviare uno studio di analisi quantitativa dei rischi nell'area ravennate che inglobasse anche la movimentazione delle merci a vario titolo pericolose, considerate parte integrante del complesso dei rischi potenziali presenti. I primi risultati furono presentati ufficialmente dalla Regione Emilia-Regione nel 1992 [1], ad essi sono seguiti aggiornamenti [2] che si sono avvalsi, sia per le fasi di esecuzione che di presentazione e gestione dei risultati, di un supporto informatico la cui più recente evoluzione è caratterizzata da un significativo snellimento delle procedure di calcolo e soprattutto dalla creazione di un'interfaccia GIS [3, 4].

Allo stato attuale lo strumento può fornire un significativo **supporto** ad attività di:

1. **pianificazione territoriale** : la valutazione dei mutamenti nell'entità dei rischi a causa di modifiche infrastrutturali, residenziali e industriali (varianti stradali, nuovi insediamenti residenziali, nuovi impianti,...) può orientare le scelte programmatiche;
2. **pianificazione e preparazione dell'emergenza**: la conoscenza della localizzazione ed estensione delle zone a rischio, attraverso la mappatura degli effetti degli scenari incidentali, è in grado di identificare ed indirizzare gli interventi possibili per mitigare le conseguenze degli incidenti potenziali e di verificare e/o validare le stesse procedure operative previste dal piano di emergenza;
3. **gestione dei trasporti**: l'attenzione alla riduzione del rischio nella scelta di rotte o tipologie di trasporto alternative può consentire di stabilire, p.es., quale percorso tra fissate provenienza e destinazione sia più conveniente, o se, in una certa regione e per una certa sostanza, sia preferibile il trasporto stradale o quello ferroviario.

Infatti lo strumento si presta ad una rapida visualizzazione della prevedibile e quantificata distribuzione dei rischi (locale, individuale e sociale) sulla zona in esame, alla identificazione delle sorgenti di rischio che contribuiscono in modo più significativo al rischio totale sull'area, e infine alla mappatura sul territorio degli scenari incidentali considerati nelle analisi di rischio che costituiscono l'ossatura di ingresso della procedura di valutazione.

2. ARIPAR-GIS

E' il nome del supporto informatico recentemente predisposto. Esso ricorda a chi ne faccia uso come i *contenuti metodologici* siano riconducibili al progetto ARIPAR (Analisi dei Rischi Industriali e Portuali dell'Area di Ravenna), nato nel 1988 allorché Regione Emilia-Romagna e Dipartimento della Protezione Civile riconobbero la necessità di avviare uno studio di *analisi quantitativa dei rischi* di incidente rilevante nell'area ravennate che inglobasse anche la movimentazione delle merci a vario titolo pericolose; parimenti l'acronimo GIS rammenta che la presentazione dei *contenuti informatici* è realizzata utilizzando una piattaforma che, consentendo un'ottima visualizzazione e rapidi calcoli, facilita le possibilità di utilizzo di contenuti tecnici anche complessi.

2.1 La metodologia di lavoro

E' un insieme di procedure, come già detto formalizzate e rese operative con il Progetto ARIPAR, che realizza la valutazione quantitativa dei rischi *connessi con un'area industriale* in cui siano presenti la produzione, lo stoccaggio ed il trasporto di merci pericolose. L'applicazione più nota al polo industriale di Ravenna, richiamata sinteticamente più avanti, costituisce anche esempio delle potenzialità di estensione delle procedure ad ogni area industriale che abbia caratteristiche analoghe.

La quantificazione dell'impatto sul territorio delle sorgenti di rischio, industriali e di trasporto, richiede il calcolo di specifiche *misure di rischio*, gran parte delle quali di largo uso anche in studi analoghi eseguiti in altri Paesi; la loro definizione costituisce una premessa indispensabile alla comprensione delle diverse fasi della metodologia attraverso le quali si possono ricostruire le componenti che concorrono al loro calcolo.

Rischio locale e individuale

rappresentano concetti analoghi, essendo entrambi espressi dal valore di **frequenza (annua) con cui, in un certo punto di un'area geografica, si può verificare il danno di riferimento**, cioè la morte di un individuo. La differenza consiste nel fatto che nel rischio locale ci si riferisce a un ipotetico individuo presente permanentemente, senza possibilità di fuga e di protezione, nel punto considerato, mentre nel rischio individuale si tiene conto della probabilità che il punto in questione sia effettivamente occupato da un individuo, e anche della capacità di questi di proteggersi dagli effetti nocivi dell'incidente, p.es. trovandosi o rifugiandosi all'interno di edifici. Per quanto detto risulta che, in ciascun punto, *il rischio individuale sarà sempre inferiore, o al massimo uguale, al rischio locale*. La rappresentazione del rischio locale/individuale può essere fatta lungo prefissate direzioni diramanti dalla sorgente di rischio, tramite tabelle o grafici che mostrino come varia il rischio al variare della distanza; oppure può essere *fornita la distribuzione del rischio su tutta l'area mediante curve di livello* che congiungono punti a ugual rischio, o mappe in cui le zone comprese in prefissate fasce di valori di rischio sono indicate con colori diversi.

Rischio sociale

le misure di rischio sociale, a differenza delle due precedenti, non riguardano i singoli punti di una area, bensì l'area nel suo complesso. Le più note sono le tabelle F-N e I-N, graficabili rispettivamente in curve e in istogrammi. Nelle *curve F-N* sono riportati i valori F di frequenza (annua) cumulata con la quale, a seguito di tutti gli incidenti ipotizzabili, si ha nell'area considerata un danno di riferimento non inferiore a N (e quindi, per come è stato definito il danno di riferimento, un numero di decessi maggiore o uguale a N unità). Gli *istogrammi I-N* mostrano invece la ripartizione della popolazione dell'area in diverse classi di rischio individuale (N persone appartenenti alla classe di rischio I).

Va sottolineato che mentre il rischio locale non dipende dalle caratteristiche abitative dell'area in esame (tipologia, densità e distribuzione della popolazione), il rischio individuale e sociale ne dipendono in maniera essenziale. Infatti, ponendo attenzione alle definizioni testé fornite, è facile rendersi conto che la distribuzione

del rischio locale è esattamente identica in un'area densamente popolata e in un'area deserta, mentre il rischio individuale e sociale non possono che essere uniformemente nulli in assenza di persone suscettibili di essere danneggiate dagli effetti di un incidente. Questa osservazione deve sempre essere tenuta presente quando si vogliano confrontare, p.es., curve F-N riferentisi ad una medesima sorgente nella pianura padana o in una regione canadese. (Per rendere significativi, o meno ambigui, questo genere di confronti si va da più parti proponendo l'uso di curve F-N normalizzate, anche se i criteri di normalizzazione sono difficilmente definibili in maniera univoca, poiché non è soltanto il numero globale di persone a giocare un ruolo importante nei calcoli, ma anche il modo in cui esse sono distribuite rispetto alle sorgenti di rischio.)

In una *misura di rischio* sono contenuti essenzialmente tre tipi di informazione: una è relativa alla frequenza/probabilità dell'evento, o della catena di eventi, che è all'origine dell'incidente; una seconda riguarda il tipo e la distribuzione degli effetti fisici responsabili del danno di riferimento (irraggiamento termico negli incendi, onde di sovrappressione nelle esplosioni, concentrazioni/dosi assorbite nei rilasci di sostanze tossiche); la terza collega l'effetto fisico con l'entità del danno subito. Nel caso del rischio sociale interviene poi un quarto tipo di informazione concernente la popolazione che vive (abita, lavora o transita) nella zona di indagine. Appare quindi condizione necessaria, per effettuarne il calcolo, procedere all'analisi dei rischi di incidente rilevante di ogni realtà industriale. Pur essendo ben note le metodologie su cui si basa una buona analisi dei rischi, va sottolineato che la sua applicazione al complesso delle sorgenti (impianti e trasporti) che insistono su di un territorio richiede l'adozione di un ***insieme più ampio di procedure*** che siano in grado di gestire la complessità dei problemi indotti dall'interconnessione tra le diverse sorgenti di rischio.

Il ***primo passo*** della metodologia di lavoro è certamente la delimitazione dei contorni del problema: non solo occorre *identificare l'area occupata dalle sorgenti di rischio* ma anche *delimitare l'area di impatto*; la scelta effettuata in sede preliminare, che a stretto rigore potrà apparire corretta solo a valle dell'analisi effettuata quando sarà possibile verificare la zona di significativo impatto del sito industriale, è assai spesso confermata successivamente poiché l'interesse ad esaminare l'eventuale impatto su centri abitati limitrofi al sito conduce in genere ad aree più vaste del necessario. Naturalmente la reale area di coinvolgimento dovuta ai trasporti stradali e ferroviari ha raggio d'azione più ampio in relazione alle destinazioni della merce, ma non v'è dubbio che la zona circostante il sito industriale soffre maggiormente per l'alta densità di traffico. L'individuazione dell'area di impatto porta con sé la necessità di definire le proprietà dell'area utili alle successive valutazioni ed alla rappresentazione delle medesime: occorrono quindi *informazioni cartografiche* (mappa del sito industriale ed eventuale annesso Porto, mappa dell'area con tracciati stradali, ferroviari e di condotte, degli insediamenti abitativi); *localizzazione dei centri di vulnerabilità* (ospedali, scuole, musei, supermercati, stadi,...); *informazioni quantitative sulla distribuzione di popolazione* (abitanti, lavoratori, turisti,...); *informazioni meteorologiche*: infatti la ripartizione stagionale di classi di stabilità di Pasquill, velocità e direzioni del vento sono dati fondamentali per la valutazione degli scenari incidentali influenzati dalle condizioni meteo.

Nel ***secondo passo*** è incluso il *censimento delle sorgenti di rischio* che, in stretta connessione con la fase precedente, affianca ai dati di identificazione e localizzazione la definizione delle specifiche di dettaglio (*per un predefinito anno di riferimento*), già in parte mirate all'acquisizione di caratteristiche utili all'analisi successiva. Esso fornisce infatti l'***inventario completo*** delle sostanze pericolose immagazzinate, trasformate e trasportate nell'area di impatto, con ciò consentendo di acquisire una conoscenza quantitativa dei flussi di sostanze pericolose e mettendo a disposizione, nel caso della *movimentazione via nave, ferrovia e strada*, quanto utile per il calcolo delle *frequenze incidentali*. A tal fine si ricorre ad una *modulistica tipica* di ogni sorgente di rischio, che raccoglie e sistematizza i dati disponibili presso gli enti di riferimento. E' importante sottolineare che, mentre nel caso degli impianti a rischio d'incidente rilevante esiste per ciascuno di essi una documentazione ufficiale ricca di informazioni, quale il rapporto di sicurezza, non altrettanto può dirsi, allo stato attuale, per i trasporti, i cui flussi sulle reti sono ricostruibili in maniera certa solo ricorrendo a dettagliati dati aziendali sulle spedizioni di merci pericolose ed in aggiunta, nel caso del trasporto stradale, alla conoscenza territoriale necessaria a definire le rotte di transito sul territorio.

Il ***terzo passo*** prevede l'esecuzione delle *analisi di rischio di ciascuna delle sorgenti* precedentemente censite con l'obiettivo di individuare tutti i possibili eventi incidentali e le relative frequenze di accadimento e conseguenze e richiede l'uso di tecniche ampiamente note, quelle tipiche della QRA (Quantitative Risk Analysis) che non è certo il caso di rammentare; occorre invece, poiché tali analisi costituiscono i tasselli della indagine complessiva di rischio d'area, sottolineare le linee portanti del lavoro che debbono costituirne il supporto se si vuole garantire la validità tecnica dei risultati. In sintesi le analisi devono essere eseguite e/o verificate da un team di esperti che operi in modo indipendente da chi ha stilato i rapporti di sicurezza delle

industrie. In prima istanza, essendo numerosi i metodi di identificazione e valutazione dei rischi, occorre la definizione di un insieme comune, e la conseguente uniformità di approccio, onde garantire la comparabilità dei risultati ottenuti per le diverse sorgenti e, all'interno della medesima sorgente, per le diverse componenti. Si sottolinea l'importanza dell'adozione di un insieme comune di modelli fisico-matematici per la valutazione delle conseguenze con cui simulare le diverse categorie di scenari incidentali, dai termini sorgente agli incendi, alle esplosioni e alle dispersioni atmosferiche. Successivamente il team di esperti dovrebbe provvedere, con le metodologie scelte, ad una *propria* analisi dei rischi di ogni sorgente. L'onerosità del lavoro secondo l'ottica appena delineata è proficuamente snellita, per gli impianti, dalla possibilità di utilizzare, alla luce dell'approccio uniforme predisposto, le analisi di rischio presentate dalle aziende nel rispetto del DPR 175/88. Al termine di questa fase sono noti i dati di ingresso (frequenze e conseguenze di ogni scenario incidentale) al modello di ricomposizione.

La **quarta fase** è quella di *ricomposizione delle valutazioni delle singole sorgenti* (impianti e trasporti), ormai trasformate in un vasto insieme di incidenti con associate frequenze e conseguenze, per ottenere il calcolo delle misure di rischio sopra definite. Le relazioni di calcolo, per la cui analisi completa si rimanda a [4], richiedono che si distingua tra *sorgenti* di rischio *puntuali*, in cui gli eventi incidentali hanno origine in localizzazioni ben definite (gli impianti), e *lineari*, in cui gli eventi incidentali possibili viaggiano con il mezzo (autobotte, carro ferroviario, nave) o con il moto del fluido (condotte). Per il calcolo del **rischio locale** in un punto area P si ha rispettivamente, per **sorgenti** di rischio **puntiformi**:

$$RL(P) = \sum_{i=1}^N l_i \sum_{s=1}^{N_{ST}} p_{i,s} \sum_{j=1}^{N_I(i)} a_{i,j} \sum_{cv=1}^{N_{CV}} \sum_{q_v=1}^{N_{q_v}} p_{cv,q_v/s} \bar{v}_{i,j,cv,q_v}(X_{S \rightarrow P}) \quad (1)$$

e per **sorgenti lineari**:

$$RL_l(P) = \sum_{i=1}^{N_l} l_i \sum_{s=1}^{N_{ST}} p_{i,s} \sum_{j=1}^{N_I(i)} a_{i,j} \int_l \sum_{cv=1}^{N_{CV}} \sum_{q_v=1}^{N_{q_v}} p_{cv,q_v/s} \bar{v}_{i,j,cv,q_v}(X_{dl \rightarrow P}) dl \quad (2)$$

Nelle relazioni (1) e (2) con $\bar{v}$ si intende la vulnerabilità media indotta nel punto da tutti gli scenari incidentali la cui direzione è inclusa in un settore avente per bisettrice la direzione θ_v , cui si associa uno *scenario incidentale medio per settore* (la rosa dei venti è suddivisa in N_{q_v} settori). Ne segue

$$\bar{v}_{i,j,cv,q_v}(X_{S(dl) \rightarrow P}) = \frac{1}{q_{set.v}} \int_{q_{set.v}} v_{i,j,cv,q_v} dq \quad (3)$$

Si sottolinea nuovamente che le eq. 1 e 2 non contengono alcuna informazione sulle peculiarità della popolazione eventualmente coinvolta: tali informazioni ne comportano una modifica utile per il calcolo del corrispondente *rischio individuale*. In termini generali ogni collocazione geografica di interesse può vedere la presenza di diverse categorie di individui: residenti, lavoratori stagionali, turisti,... ciascuna delle quali può essere o meno presente in una prefissata stagione, durante il giorno o la notte e, qualora presente, può trovarsi all'esterno od all'interno di edifici. La vulnerabilità di una categoria è quindi ridotta o annullata in relazione alla *probabilità di presenza* della categoria stessa durante l'avvenire dello scenario incidentale correlato ad incidente ed evento iniziatore. Appare necessario, per calcolare il rischio individuale di ciascuna categoria, introdurre la dipendenza da giorno/notte dell'evento iniziatore, attraverso la sua probabilità p_g ; la probabilità di presenza all'interno od all'esterno dell'individuo della categoria considerata $p_{io/s/g}$, in una specifica stagione s e condizione g (giorno o notte); il fattore che esprime la riduzione della vulnerabilità e cioè la mitigazione dell'effetto dello scenario incidentale a causa dell'esposizione indoor $b_{i,j,cv,q_v,io}$.

Il **rischio individuale** di ciascuna categoria è allora dato da:

$$RI^{cat}(P) = \sum_{i=1}^N l_i \sum_{s=1}^{N_{ST}} p_{i,s} \sum_{g=1}^2 p_{i,g} \sum_{j=1}^{N_I(i)} a_{i,j} \sum_{cv=1}^{N_{CV}} \sum_{q_v=1}^{N_{q_v}} p_{cv,q_v/s} \bar{v}_{i,j,cv,q_v}(X_{S \rightarrow P}) \sum_{io} p_{io/s/g}^{cat} b_{i,j,io} \quad (4)$$

che esprime la distribuzione geografica del rischio individuale per ogni categoria di popolazione.

Volendo introdurre, a titolo esemplificativo delle misure di **rischio sociale**, le curve F-N, occorre focalizzare l'attenzione su un *generico scenario incidentale medio* che si realizza nel punto sorgente S ; secondo quanto già definito esso è caratterizzato dalla **frequenza**

$$F_{sc}(i,j,s,g,cv,q_v) = l_i p_{i,s} p_{i,g} a_{i,j} p_{cv,q_v/s} \quad (5)$$

e comporta il coinvolgimento della popolazione che, ai fini del calcolo, è stata concentrata in tutte le griglie in cui è stata suddivisa l'area e nei centri di vulnerabilità in cui la grandezza fisica interessata (concentrazione, irraggiamento, sovrappressione) supera un valore di soglia prefissato. Il danno ipotizzato (morte dell'individuo) interessa quindi un numero di persone pari a:

$$N_{sc}(i,j,s,g,cv,q_v) = \sum_{P_{ef}} \sum_{k=1}^{N_{cat}} N_k \bar{v}_{i,j,cv,q_v}(X_{S \rightarrow P_{ef}}) \sum_{io} p_{io/s/g}^k b_{i,j,io} \quad (6)$$

con P_{ef} punto in cui la grandezza fisica dell'effetto supera la soglia limite. Sono così note le coppie di valori frequenza e numero di individui colpiti, che caratterizzano tutti gli scenari incidentali medi, ovvero gli elementi di base per la costruzione della curva cumulata F-N. Osservazioni analoghe conducono alla costruzione degli elementi di base per il calcolo delle F-N delle sorgenti lineari ; in tal caso si definisce infatti uno scenario per ogni elemento di tratta (stradale, ferroviaria,...) considerata.

Per completare l'esposizione sintetica della procedura di ricomposizione dei rischi introdotta con ARIPAR occorre dare un cenno ad un importante effetto introdotto, sia pure con qualche semplificazione, nella procedura; trattasi dell'*effetto domino* ovvero della generazione di nuovi incidenti in un'area industriale a causa dell'accadimento di un incidente originario (es: esplosione fisica di un serbatoio $\Rightarrow$ onde di sovrappressione $\Rightarrow$ cedimento parziale di un serbatoio atmosferico contenente un liquido tossico $\Rightarrow$ sversamento di liquido $\Rightarrow$ evaporazione e dispersione di una nube tossica ; come conseguenza nell'area circostante si risentono contemporaneamente gli effetti di sovrappressione e concentrazione in aria di un tossico). L'introduzione nella procedura di calcolo avviene considerando che gli eventi iniziatori (o top) costituiscono una rappresentazione schematica delle localizzazioni vulnerabili degli impianti presenti nell'insediamento industriale, e quindi si ricercano solo tra essi i possibili effetti domino, attraverso l'introduzione di *curve di interazione*, ciascuna essendo definita come il "luogo dei punti caratterizzati dalla massima distanza dalla sorgente fisica di un generico top alla quale può verificarsi il valore minimo di un effetto che provoca il danneggiamento di apparati".

Le relazioni introdotte mostrano che le *misure di rischio* contengono ed elaborano tutte le valutazioni quantitative sui rischi di incidenti rilevanti delle singole sorgenti trasportandone gli effetti sullo specifico territorio e l'esame della loro struttura rende evidente la possibilità di disaggregarne i contributi specifici con «chiavi di lettura» diverse: per tipologia di sorgenti, di sostanze, di trasporti, .. .

2.2 Lo strumento informatico

La procedura sopra descritta appare lunga e complessa, anche con la semplice disamina sintetica effettuata; essa richiama la necessità di disporre comunque di un software che sia in grado non solo di semplificare e rendere veloce il compito del gruppo di esperti ma anche e soprattutto di permettere l'esecuzione dei calcoli richiesti per valutazioni di dettaglio delle misure di rischio, certamente inattuabili in sua assenza se non con drastiche semplificazioni. Inoltre la ricerca della soluzione informatica più opportuna deve tenere conto della necessità di rappresentazione cartografica dei risultati. E' da queste considerazioni che ha preso le mosse la predisposizione del software, dapprima in versione prototipo, recentemente in versione definitiva su piattaforma GIS nella configurazione riassunta sinteticamente nel seguito del paragrafo.

La nuova versione è costituita da tre parti: le banche dati, i moduli per il calcolo delle misure di rischio e l'interfaccia utente basata su una rappresentazione geografica del territorio ottenuta con Arc-View GIS (ESRI); tale tecnologia si presta per sua natura ad offrire un supporto fondamentale ad attività tipiche del Progetto, quali la gestione dei rischi e la pianificazione territoriale, poiché semplifica enormemente le fasi di inserimento dati territoriali e consente una immediata rappresentazione dei risultati. Nella Fig. 1 si riporta uno

schema semplificato dell'organizzazione del software la cui lettura richiama le fasi della procedura già descritte.

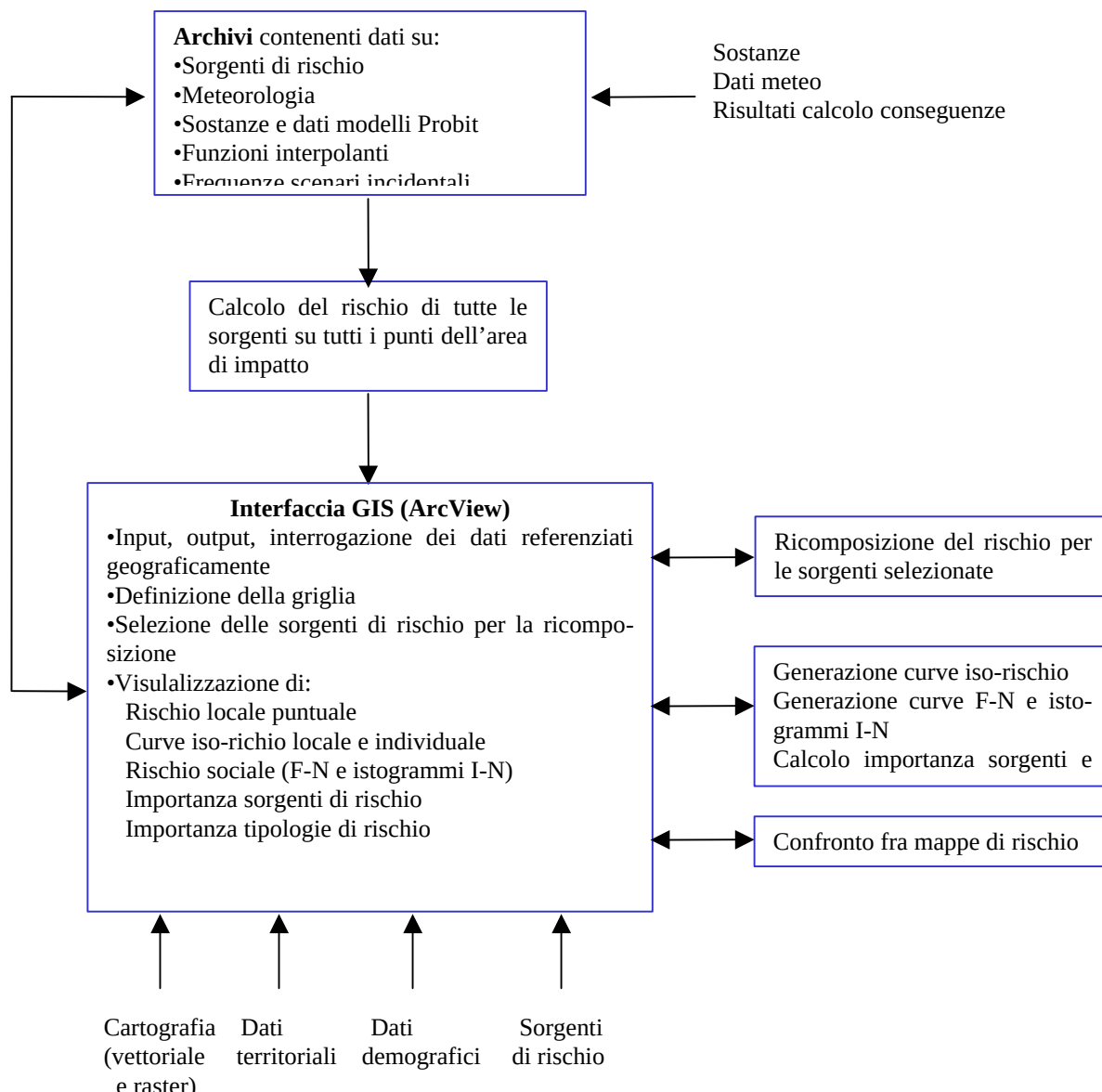


Figura 1. Schema semplificato del software ARIPAR-GIS

Come si può notare il **primo passo** coinvolge la definizione di area sorgenti e area d'impatto, quest'ultima essendo quella per la quale saranno calcolate le misure di rischio indotto. Si possono importare facilmente mappe digitali o cartografiche in scale variabili per aree tipiche da 1 :25 000 a 1 :100 000 ; quelle satellitari rappresentano un'ottima soluzione qualora non siano disponibili cartografie aggiornate. Le mappe «raster» consentono successivamente una agevole interpretazione degli «strati» che rappresentano gli elementi dell'area interessanti ai fini dell'analisi dei rischi complessiva : essi riguardano la **maglia di calcolo**, i centri di vulnerabilità e le sorgenti di rischio. Sia pure in maniera estremamente sintetica è opportuno richiamare che le misure di rischio vengono valutate al centro di ciascuna delle celle in cui è stata suddivisa l'area d'impatto e che quindi la dimensione di ciascuna di esse definisce il livello di precisione del calcolo che verrà eseguito: spetta all'utilizzatore darne le caratteristiche fondamentalmente in relazione all'uso del territorio (agricolo, industriale, residenziale,..). Ma i calcoli vengono effettuati anche in quei punti dell'area, o **centri di vulnerabilità**, nei quali si prevedono significative aggregazioni di popolazione : dettagli su di essi, ovvero nome, uso e presenze, sono ottenibili in modo assai semplice («un click del mouse»). Similmente associati ai

centri delle singole celle troviamo i dettagli delle caratteristiche della popolazione: si può conoscere la probabilità di presenza come funzione della categoria di appartenenza (residenti, turisti,...) e di stagione, giorno/notte, interno/esterno. Con lo strumento informatico scelto diviene semplice anche la generazione delle sorgenti di rischio - **impianti**, tracciabili come poligoni sulla mappa importata, a cui si possono associare le relative proprietà (nome, indirizzo, tipologia,...). Il solo «mouse» è parimenti necessario per definire la localizzazione dei singoli eventi iniziatori e tracciare gli elementi lineari delle **reti di trasporti**. Non è inutile rammentare che la georeferenziazione della mappa permette il caricamento automatico nelle banche dati degli oggetti-immagine inseriti con le semplici operazioni descritte. La descrizione delle proprietà dell'area d'impatto è completata dall'inserimento dei dati meteorologici caratteristici: di predefinite coppie velocità del vento - classe di stabilità atmosferica viene inserita la probabilità di accadimento nelle diverse stagioni dell'anno.

I dati relativi agli **scenari incidentali** sono inseriti direttamente nei data-base del codice attraverso una specifica interfaccia. Fanno eccezione le frequenze incidentali per la rete stradale che, nell'attuale configurazione, sono calcolate automaticamente una volta noti i flussi di veicoli pericolosi; ciò si deve ad una modifica voluta dal Dipartimento della Protezione Civile per facilitare ulteriormente l'applicazione dello strumento ad altre realtà industriali. Ciascun scenario richiede una frequenza incidentale, derivante dalla frequenza dell'evento iniziatore e dalle probabilità di successivi accadimenti (inneschi, venti privilegiati,...), e la relativa distribuzione delle conseguenze. In merito all'insieme di queste ultime va sottolineata una specificità del codice consistente nell'uso per i calcoli successivi di funzioni interpolanti; ciò significa che i risultati, in termini di distribuzioni di irraggiamenti, sovrappressioni, concentrazioni e tempi di passaggio di nubi, noti in punti specifici attraverso codici simulativi, sono sostituiti da funzioni che definiscono con continuità la distribuzione spazio-temporale degli effetti fisici degli eventi. Si sottolinea che la valutazione delle conseguenze degli incidenti non è parte integrante del codice di calcolo, ne sono parte solo i coefficienti delle funzioni interpolanti che il codice calcola automaticamente quando l'utilizzatore ne abbia definito l'andamento per punti. I vantaggi di una simile procedura sono riconducibili sia alla semplicità e velocità che essa garantisce ai calcoli seguenti sia alla possibilità offerta all'utente di scegliere liberamente i modelli simulativi più opportuni; l'inserimento automatico di alcuni di essi nel software avrebbe certamente velocizzato la fase preparatoria degli scenari conferendo tuttavia rigidità al corpo simulativo. Alle equazioni di probit è affidata la traslazione dagli effetti fisici ai danni: si tratta di **modelli di vulnerabilità** che forniscono una relazione continua tra dose assorbita e probabilità di danni da radiazione termica, sovrappressione e concentrazione di tossici.

La fase di **calcolo del rischio** indotto da una generica sorgente su tutti i punti dell'area, centri di vulnerabilità inclusi, è ben illustrata dallo schema di Figura 2, che individua il contenuto degli archivi temporanei di dati utili per la successiva **fase di ricomposizione**. Questa è eseguibile interattivamente a causa della rapidità di esecuzione dei calcoli e permette la scelta delle sorgenti, numero e tipologia, e delle sostanze, mostrando non solo mappe di rischio locale ed individuale, curve F-N e istogrammi di rischio sociale, ma anche l'importanza dei singoli contributi, così consentendo valutazioni comparative di grande interesse a fini decisionali.

Come mostrato in Figura 2, è l'**interfaccia GIS** a gestire sia le richieste dell'utilizzatore sia la visualizzazione di mappe e grafici riassuntivi. Ad essa si deve anche la risposta ad interrogazioni dell'utente volte a **mappare** sul territorio **gli effetti fisici** di uno specifico **scenario incidentale** estratto dal vasto insieme di quelli preventivamente valutati. Cambia in tal caso la qualità dell'informazione richiesta, poiché la mappa ottenibile riporta le curve dell'impatto mediante la graficazione di livelli predefiniti di irraggiamento, dose tossica,... L'approccio si richiama alla necessità di valutare le aree di impatto significativo in sede di preparazione e pianificazione dell'emergenza d'area e si avvale della possibilità di utilizzazione della importante mole di dati e calcoli intermedi eseguiti.

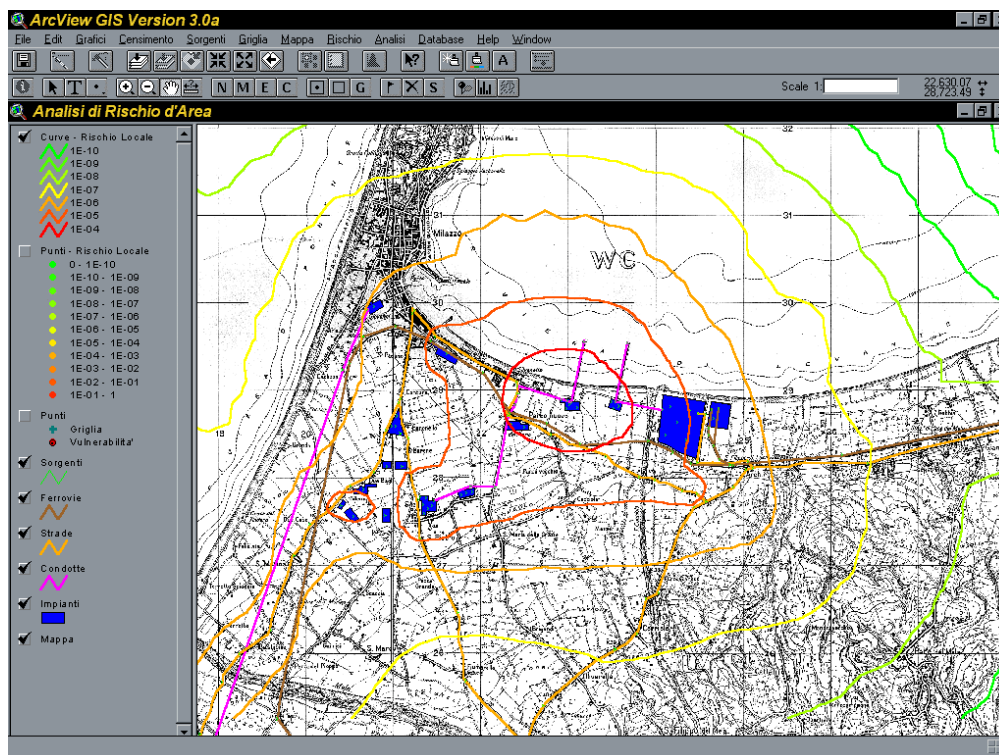


Figura 2. Mappatura delle curve is-rischio locale per un'ipotetica area d'impatto

3. ALCUNI RISULTATI

A titolo esemplificativo delle potenzialità di supporto alle decisioni che la metodologia ed il relativo software possono fornire, si riportano nel seguito alcuni risultati delle diverse fasi dell'analisi di rischio dell'area ravennate estratti dal vasto insieme costituito dalle valutazioni che attingono a due anni di riferimento: l'anno iniziale 1987 ed il 1994 per il quale si è provveduto ad aggiornare la realtà industriale e di trasporto. Anche il progetto di aggiornamento è stato seguito da un Comitato tecnico - scientifico con membri delle amministrazioni comunali, regionali, del Servizio di protezione civile e tecnici analisti di rischio, che avevano gli obiettivi di predisporre il nuovo censimento del sito industriale ed aggiornare le analisi di rischio in relazione ad eventuali mutamenti del tessuto produttivo.

E' appena il caso di accennare ad un problema di grande importanza nella effettuazione delle valutazioni, ovvero le incertezze che caratterizzano i valori numerici delle misure di rischio, che va tenuto ben presente se si vogliono comparare risultati tra sorgenti di rischio diverse e tra anni diversi di riferimento. In tal caso gioca un ruolo fondamentale l'esperienza degli analisti nel valutare l'attendibilità dei dati e nel garantire la comparabilità dei medesimi che può consentirne l'uso nella ragionevole certezza di corrette scale di priorità.

3.1 Censimento delle sorgenti di rischio

E' il tipico risultato della collaborazione enti locali - aziende e fornisce un **inventario completo delle sostanze pericolose** lavorate e trasportate nell'area (si ricorda che l'area di impatto ravennate ha una superficie di 205 km² e comprende la città di Ravenna e la costa limitrofa sede di un elevato flusso turistico nel periodo estivo; il sito industriale, comprendente all'incirca una quarantina di impianti a rischio di incidente rilevante, si colloca in prossimità del Canale Candiano che costituisce lo sbocco sul mare Adriatico).

Particolarmente importanti sono i risultati del trasporto di merci pericolose, poichè mettono in evidenza le differenze di flusso tra le diverse tipologie e possono quindi suggerire quali possibili modifiche sottoporre al vaglio dell'analisi dei rischi per testarne la riduzione. La Tabella 1 riporta il confronto tra le quantità globali trasportate nei due anni considerati, mostrando, a fronte di modeste variazioni del trasporto globale, un mutamento di mezzi di trasporto utilizzati per alcune specifiche sostanze pericolose.

Classe	Sostanza	Strada	Nave	Ferrovia
gas tossici liquefatti	Ammoniaca	589 (19 408)	4 399 (180 000)	- (15 248)
	Cloro	- (74)	- (-)	252 (290)
gas liquefatti infiammabili	LPG	123 468 (187 000)	110 307 (292 000)	29 058 (24 907)
liquidi infiammabili	gasoline	978 593 (740 000)	381 473 (560 000)	- (-)
	gas oil	1 186 721 (1 450 000)	422 586 (800 000)	- (-)
	fuel oil	85 600 (104 000)	2 799 058 (3 116 000)	- (17 200)
trasporto globale di sostanze pericolose		2 964 000 (3 001 000)	5 578 537 (6 436 000)	128 670 (183 393)

Tabella 1. Trasporti sostanze pericolose via strada, ferrovia e nave (in parentesi i dati del 1987)

3.2 Analisi dei rischi delle sorgenti

In sede di aggiornamento delle **analisi di rischio delle singole sorgenti** occorre focalizzare l'attenzione soltanto sulle realtà industriali nuove o sottoposte a significativi miglioramenti impiantistici e/o procedurali. Per i trasporti l'aggiornamento delle analisi richiede il solo ricalcolo delle frequenze incidentali quando le sostanze trasportate ed i mezzi di trasporto sono i medesimi e di conseguenza restano inalterate le ipotesi incidentali relative alla singola unità di trasporto. Dalle nuove frequenze incidentali discendono significativi confronti che mettono in evidenza l'impatto delle modifiche nella distribuzione del traffico. Si consideri a titolo di esempio la Figura 3 che mostra i mutamenti nella distribuzione dei flussi di autocisterne con benzina sulla rete stradale presente nell'area di impatto dovuti per larga parte a mutamenti di rotta di viaggio.

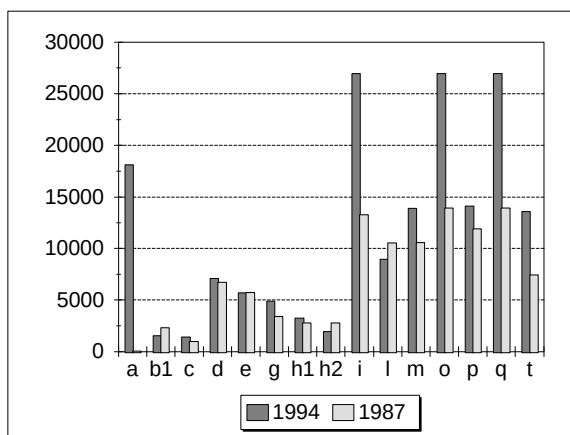


Figura 3. Numero di autocisterne di benzina sulle diverse tratte della rete stradale

3.3 Valutazione delle misure di rischio d'area

Sono le mappe di rischio locale ed individuale a mostrare per intero le capacità descrittive dell'attuale strumento ARIPAR-GIS. Nella Figura 4 si riportano le superfici a livelli di rischio individuale prefissati: sono chiaramente identificabili i livelli di esposizione della popolazione cittadina e dei turisti della costa ed in aggiunta, una semplice operazione con il mouse può permettere di conoscere il dettaglio dei valori che caratterizzano i punti area e i centri di vulnerabilità, con l'esplicitazione del contributo delle singole sorgenti. Diviene in tal modo possibile effettuare in maniera assai rapida il confronto con eventuali livelli di soglia di tollerabilità e ipotizzare interventi mirati alle componenti di rischio più importanti.

L'indagine può proseguire con l'esame delle curve F-N di rischio sociale di Figura 5, da cui risultano i contributi al totale delle singole sorgenti di rischio a fissati valori di N: nel caso dell'area ravennate appare con evidenza l'importanza primaria dei trasporti, stradale e ferroviario (quest'ultimo per alti N), che con i veicoli distribuiscono il rischio sull'intera area di impatto.

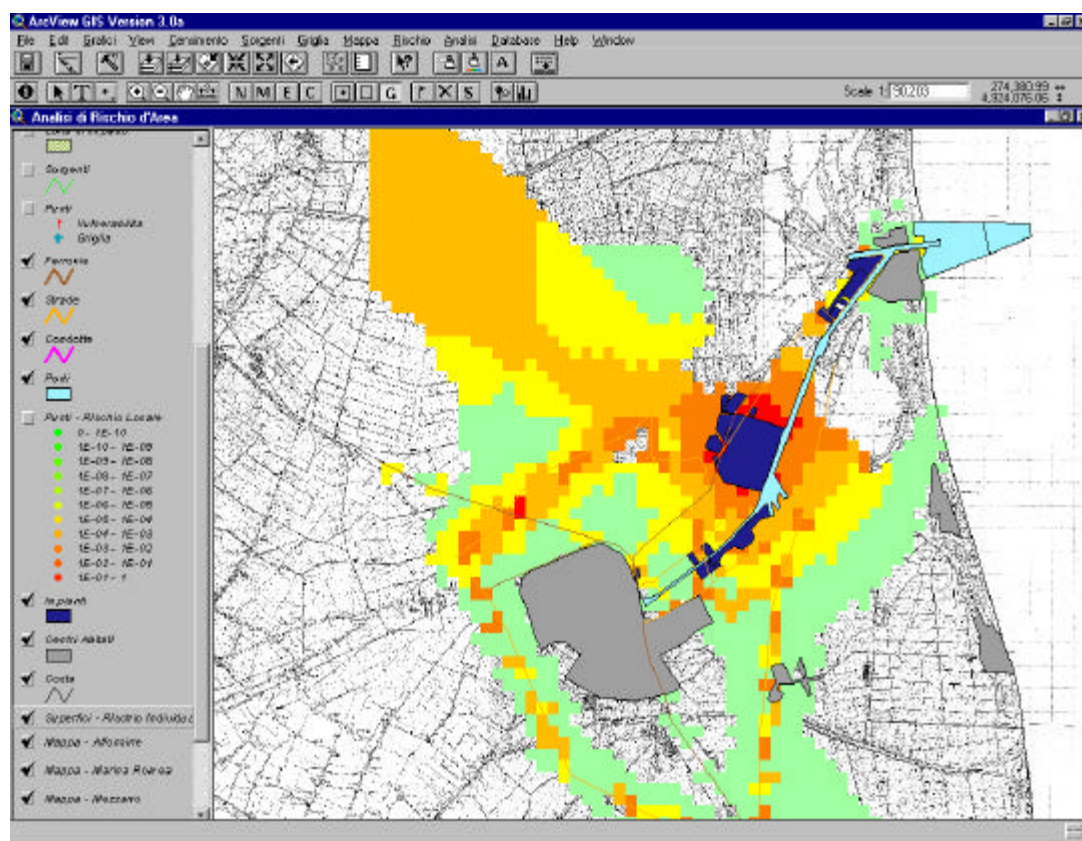


Figura 4. Distribuzione del rischio individuale nell'area ravennate

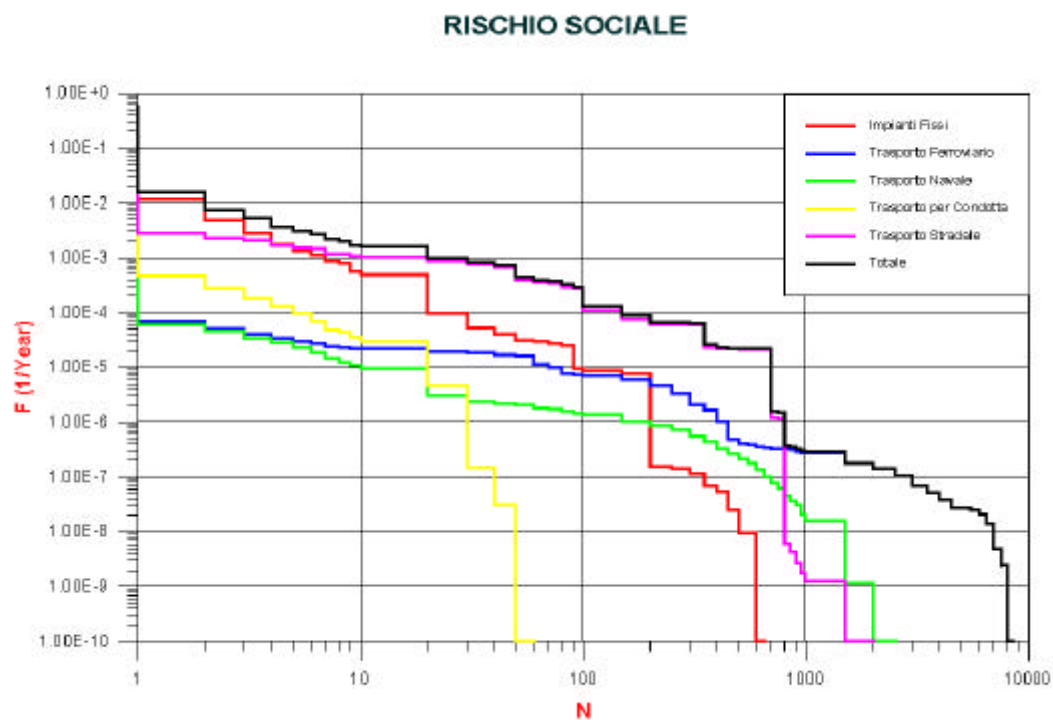


Figura 5. Curve F-N di rischio sociale

Dal raffronto con i risultati del primo anno di indagine, gli Enti territoriali hanno potuto ottenere una significativa messe di informazioni: ad esempio sul nuovo peso degli impianti a valle di alcune chiusure e modifiche significative di produzione, sui contributi dei trasporti a seguito di spostamenti tra tipologie di trasporto di sostanze pericolose, sugli scenari a più significativo impatto sociale,....

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

E' stata riportata una sintesi degli elementi fondamentali della metodolgia ARIPAR e del relativo software ARIPAR-GIS che consentono di predisporre e rappresentare su supporto cartografico informatico un'analisi quantificata dei rischi di incidente rilevante di un complesso sito industriale includendovi anche i trasporti di sostanze pericolose ad esso legati. Della rilevante mole di scenari incidentali, la cui valutazione accompagna sempre tali indagini, può inoltre essere ottenuta una mappatura sul territorio in tal modo consentendo di evidenziare le zone di impatto significativo di ogni specifico incidente e fornire ausilio alla preparazione dell'emergenza.

In ragione della sua capacità sia di calcolare le misure di rischio sull'area sia di ordinare le sorgenti di rischio in relazione alla loro importanza, lo strumento rappresenta certamente un supporto importante alle attività di pianificazione del territorio quando si sia in presenza di preesistenti realtà industriali a rischio di incidente rilevante o si voglia progettare aree di sviluppo residenziale e/o industriale. L'analisi quantificata che ne deriva appare immediatamente utilizzabile se sono disponibili criteri di tollerabilità specifici (si pensi a Paesi quali l'Olanda ed il Regno Unito), ma anche in assenza di una definizione di questi ultimi, come nel nostro Paese, l'esperienza della Regione Emilia-Romagna dimostra che è possibile, attraverso il confronto comparativo tra sorgenti di rischio, fornire utili elementi di valutazione per indirizzare lo sviluppo industriale o commerciale (autorizzazione a nuovi impianti), predisporre interventi di controllo del rischio (installazione di un sistema automatico di controllo del traffico nel Porto) o di modifiche infrastrutturali (varianti stradali e rilocalizzazione del fascio di smistamento).

5. RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il GNDRCIE (Gruppo Nazionale di ricerca per la Difesa dai Rischi Chimico Industriali ed Ecologici) per il supporto finanziario concesso.

6. NOMENCLATURA

$\alpha_{i,j}$	probabilità di accadimento dell'incidente j , condizionata all'avvenire del top i
λ_i	frequenza di accadimento del top i
$P_{i,s}$	probabilità che l'evento iniziatore i avvenga nella stagione s (pari ad $1/4$ per distribuzione annuale uniforme)
$P_{cv,q_v/s}$	probabilità di accadimento della coppia classe-velocità cv nella direzione θ_v , condizionata all'essere nella stagione s
$V_{i,j,cv,q_v}(x_{S \rightarrow P})$	vulnerabilità indotta nel punto P , a distanza x dalla collocazione fisica S del top i , dall'incidente j , nelle condizioni ambientali cv con direzione del vento θ_v

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Dipartimento di Protezione Civile, Regione Emilia Romagna, ARIPAR, Relazione sui risultati, Bologna, Novembre 1992
- [2] G. Spadoni, P. Leonelli, D. Egidi. Quantitative Risk Analysis of Industrial and Transportation Activities in the Ravenna Area: a Second Report, ESREL '97 Conference, Lisbon, 1997.
- [3] F. Bellezza, M. Binda, S. Contini, G. Spadoni, A GIS Based Software Tool for Risk Assessment and Management in Industrial Areas, ESREL '98 Conference, Trondheim, Norway, 1998.
- [4] F. Bellezza, M. Binda, S. Contini, G. Spadoni, Manuale ARIPAR-GIS, in corso di pubblicazione.