

METODOLOGIA GIS PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO D'AREA DI ORIGINE SIA TECNOLOGICA CHE NATURALE

Silvetti, B.1 e Mazzarotta B.1

1 Dipartimento di Ingegneria Chimica, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Via Eudossiana
18, Roma, 00184, Roma, Italia

SOMMARIO

L'analisi di rischio di una zona in cui sono presenti impianti a rischio di incidente rilevante è uno dei passi fondamentali per valutare la compatibilità dell'impianto stesso con l'ambiente circostante. Il presente lavoro si inserisce in questo ambito e affronta la problematica della valutazione del rischio d'area nelle zone in cui sono presenti impianti industriali. In particolare, è stata sviluppata una metodologia che consente di pervenire ad una mappatura del rischio in una determinata area, tenendo conto sia dei contributi dovuti ai rischi di origine tecnologica, associati alla presenza di impianti Seveso ed al trasporto di merci pericolose, che di quelli dovuti ai rischi di origine naturale, associati a problematiche sismiche, idrogeologiche, ecc. La diversità nella tipologia delle informazioni disponibili per i rischi tecnologici e quelli naturali è stata superata attraverso l'introduzione di un "indice di severità", misura quantitativa del rischio modulabile in funzione dell'accuratezza dei dati. La ricombinazione del rischio è stata ottenuta applicando tecniche di prioritizzazione gerarchica che hanno consentito di pervenire a mappe di severità complessive dell'area, come pure a quelle relative ai rischi tecnologici e naturali. La metodologia è stata implementata in un "tool" sviluppato in un ambiente GIS (*Geographical Information System*), che suddivide l'area di studio in maglie, agevola l'inserimento dei dati richiesti e calcola gli indici di severità per ogni maglia, permettendo di ottenere le mappe di rischio dell'area. La metodologia è stata applicata con successo ad un'area di studio, in cui erano presenti un impianto Seveso, attività di trasporto di merci pericolose, rischio sismico e rischio frane, mostrando il contributo di ogni fonte di rischio al rischio globale e la distribuzione di quest'ultimo nell'area. La conoscenza delle mappe di rischio, da confrontare con quelle relative alla vulnerabilità dell'area, costituisce uno strumento utile per le Pubbliche Autorità ai fini della pianificazione territoriale.

1.0 INTRODUZIONE

La prevenzione del rischio degli stabilimenti che trattano sostanze pericolose è stata oggetto di una serie di Direttive Europee [1-3] a partire dal 1982 fino all'ultima Direttiva del 2003 al fine di garantire la sicurezza dell'uomo e la salvaguardia dell'ambiente. Queste direttive si applicano a stabilimenti in cui sono presenti, o possono essere generate in caso di perdita di controllo del processo, sostanze pericolose in quantità uguali o superiori a quelle previste dalla normativa. L'analisi di rischio di una zona in cui sono presenti stabilimenti a rischio di incidente rilevante è uno dei passi fondamentali per valutare la compatibilità dello stabilimento stesso con l'ambiente circostante. Come incidente rilevante si intende un evento, quale un'emissione, un incendio o un'esplosione di grande entità, dovuto a sviluppi incontrollati che si verificano durante l'attività dello stabilimento, e che dia luogo ad un pericolo grave, immediato o differito, per la salute umana o per l'ambiente, all'interno o all'esterno dello stabilimento, e in cui intervengano una o più sostanze pericolose. Data la portata delle interazioni tra stabilimento e territorio circostante, occorre inoltre predisporre una pianificazione territoriale delle zone in cui sono presenti stabilimenti a rischio di incidente rilevante.

Anche se la maggiore enfasi viene riservata alla fonte di rischio rappresentata dagli stabilimenti, è ben noto che anche le attività di trasporto di merci pericolose possono rappresentare una considerevole fonte di rischio, distribuita sul territorio secondo le rotte di trasporto, ed in molti studi, il primo dei quali è stato il progetto ARIPAR [4], viene affrontato il problema della valutazione del rischio d'area tecnologico, che prende in considerazione sia la manipolazione e lo stoccaggio di sostanze pericolose che la loro movimentazione. Gli studi finora effettuati non prendono però in esame la possibilità che, oltre al rischio tecnologico, nell'area possano essere presenti altre fonti di rischio, legate a fenomeni di origine naturale. Terremoti, eruzioni vulcaniche, esondazioni e frane possono rappresentare già di per sé una considerevole fonte di rischio per le persone e per l'ambiente ma possono inoltre divenire gli eventi iniziatori per incidenti di tipo tecnologico, ossia che coinvolgono gli stabilimenti a rischio di incidente rilevante o il trasporto di sostanze pericolose. Ciò è accaduto, ad esempio, in seguito al sisma dell'agosto del 1999 in Turchia, che oltre ad aver causato danni ingenti agli edifici civili, è stato causa di incidenti che hanno coinvolto sostanze

pericolose in una raffineria. È evidente che nel caso in cui si debba costruire un nuovo impianto occorre conoscere se l'area considerata è soggetta a rischi naturali, ma non si può escludere completamente la sovrapposizione di rischi naturali e tecnologici, tenendo presente, ad esempio, che ampie aree di Paesi come l'Italia, la Grecia e la Turchia sono a elevato rischio sismico.

Questo lavoro intende proporre una metodologia che consenta una valutazione globale della distribuzione del rischio in un'area di studio, considerando sia il rischio tecnologico che quello derivante da possibili catastrofi naturali.

2.0 RISCHIO TECNOLOGICO

Come rischio tecnologico si intende quello associato ad attività industriali che coinvolgano prodotti pericolosi, tanto che si tratti di stabilimenti, depositi o installazioni fisse, quanto che ci si riferisca al trasporto, via strada, ferrovia o condotta di queste sostanze. La tipologia di approccio alla valutazione del rischio tecnologico è stata sviluppata negli anni '70 ed è basata sull'analisi di rischio quantitativa (QRA, Quantitative Risk Analysis): il rischio viene definito come prodotto tra la frequenza attesa per l'evento pericoloso e la gravità dei danni causati da tale evento. La metodologia può essere applicata sia alle installazioni fisse [5] che, seppure con qualche peculiarità, al trasporto di merci pericolose [6]: è possibile valutare il rischio individuale, espresso come probabilità di morte, dovuta alla fonte di rischio tecnologico considerata, nel periodo di tempo di riferimento di un anno, in ogni localizzazione geografica dell'area di studio, ottenendo mappe del rischio individuale geografico, come quella riportata in Fig. 1.

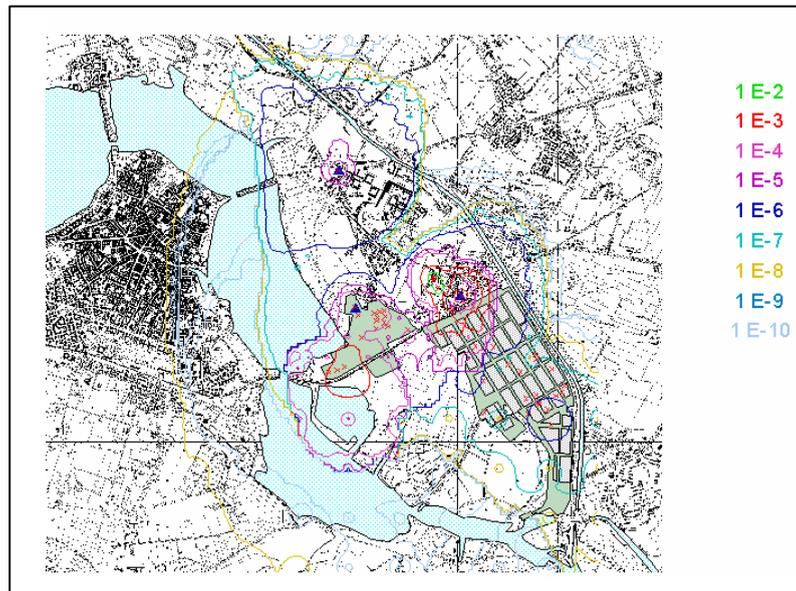


Figura 1. Mappa del rischio individuale geografico associato ad alcuni impianti industriali

Riguardo alle soglie di accettabilità/inaccettabilità del rischio, queste sono state fissate, ed a valori diversi tra loro, solo in alcuni Paesi. Generalmente viene definita una regione ALARP, in cui il rischio deve essere ridotto per quanto ragionevolmente possibile (As Low As Reasonably Practicable): valori di rischio eccedenti il limite superiore della zona ALARP sono considerati inaccettabili, mentre valori di rischio al di sotto del limite inferiore della stessa zona sono considerati tollerabili. Nella letteratura scientifica si utilizzano spesso come riferimento i limiti della zona ALARP del regno Unito [7], 10^{-4} - 10^{-6} eventi/anno.

3.0 RISCHIO NATURALE

Come rischio naturale si intende quello associato ad eventi catastrofici di origine naturale, quali quelli sismici, vulcanici e idrogeologici (frane e esondazioni). L'analisi dei rischi naturali viene effettuata dai diversi specialisti adottando specifiche scale di "rischio" non omogenee tra loro e basate su diverse "definizioni" del rischio stesso. Ne consegue che non è possibile estendere ai rischi naturali le tecniche di QRA applicate per il rischio tecnologico: in molti casi, risulta poi difficile anche ottenere informazioni del tipo frequenza-conseguenze, poiché i dati disponibili consentono solo di conoscere se l'evento si sia o meno verificato in una certa zona, senza fornire alcuna indicazione né sulla ricorrenza dell'evento nella stessa zona né sui danni da esso provocati. Verranno ora brevemente esaminate le informazioni disponibili per valutare

la distribuzione di questi rischi, con l'eccezione di quello vulcanico, poiché sembra del tutto improbabile che uno stabilimento a rischio di incidente rilevante si trovi in un'area soggetto a questo tipo di fenomeno.

3.1 Rischio sismico

Esistono molte scale per la caratterizzazione e la misura dell'intensità dei sismi: la più popolare al livello mondiale è la scala Richter, mentre in Italia è più utilizzata la scala Mercalli Cancani Sieberg (MCS). La scala Richter fornisce una misura quantitativa dell'intensità del sisma mentre la MCS si basa sulle conseguenze provocate dal terremoto: ad esempio, un terremoto molto distruttivo, valutabile come 12 sulla scala Mercalli dovrebbe essere pari a 7.5 su quella Richter. Altre scale di misura per l'intensità dei sismi sono la *peak ground acceleration* (PGA), che misura il picco di accelerazione, e l'intensità spettrale di Housner, definita come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudo-velocità in un prefissato intervallo di frequenze: entrambe queste grandezze sono direttamente correlabili ai danni riportati dagli edifici.

In generale, le informazioni disponibili forniscono la distribuzione di queste grandezze, indicatori dei potenziali danni associati al sisma, per vari "tempi di ritorno", indicatori della frequenza con la quale si può rappresentare un sisma della stessa magnitudo. In Italia sono disponibili dati per tempi di ritorno di 47, 95, 475, 975 e 2475 anni [8]: a titolo di esempio, in Fig. 2 sono riportati i dati dell'intensità macrosismica MCS per un tempo di ritorno di 95 anni.

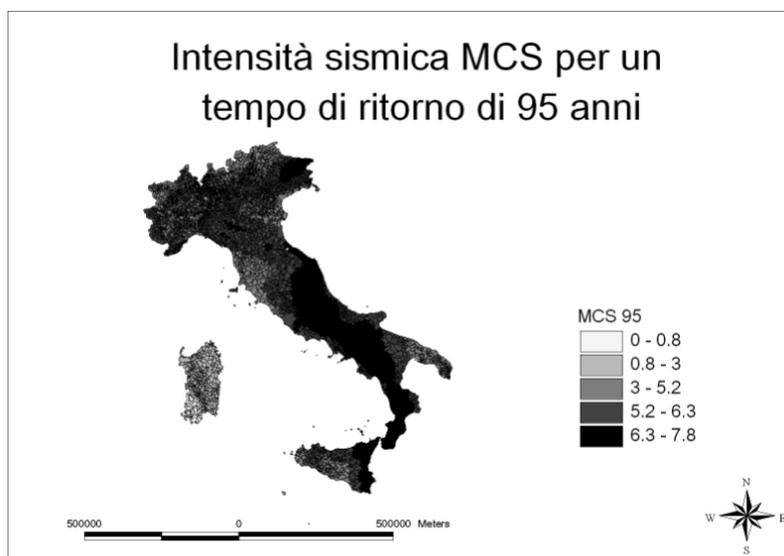


Figura 2. Intensità sismica MCS per un tempo di ritorno di 95 anni

3.2 Rischio idrogeologico

Per quanto riguarda le frane i soli dati disponibili riguardano le estensioni delle aree in cui si sono verificate i fenomeni franosi, la linea della frana, che ne indica sostanzialmente la direzione, e il punto più alto della frana [9]. Non sono invece disponibili informazioni riguardanti la frequenza di accadimento dei fenomeni franosi, né i danni provocati dagli stessi.

Per quanto riguarda le esondazioni, gli eventi di piena vengono classificati in funzione della probabilità che una certa portata possa essere superata nel tempo di un anno: ad esempio, una piena che si verifichi una volta ogni 100 anni, ha una probabilità di 1/100 di essere superata. Anche la delimitazione delle aree esondabili è riferita al concetto di tempo di ritorno dell'evento: solitamente i valori dei tempi di ritorno per le aree ad elevata probabilità di esondazione sono compresi tra 20 e 50 anni, mentre, per le aree con bassa probabilità di esondazione sono dell'ordine di 300-500 anni. Per le aree esondabili non esistono, tuttavia, relazioni che colleghino la frequenza di accadimento dell'esondazione con il danno che essa può procurare.

4.0 METODOLOGIA

4.1 Area di studio

La mappatura del rischio in una certa zona richiede preliminarmente l'individuazione dell'area di studio: essa deve avere dimensioni tali da ricomprendere le zone in cui si possano risentire le conseguenze degli eventi pericolosi considerati. Poiché nel presente studio l'attenzione è focalizzata sugli stabilimenti a rischio di incidente rilevante, l'estensione dell'area di studio dovrà essere commisurata al peggiore "top event"

previsto per l'impianto considerato. Le distanze di impatto dipendono dalla sostanza coinvolta, dal quantitativo rilasciato, dalla tipologia di *top event* (incendio, esplosione, nube tossica) e, per alcuni *top events*, dalle condizioni meteorologiche. Tenuto conto che solo molto raramente la distanza di impatto supera i 5-7 km (grosse nubi tossiche), un'area di studio di 20 km x 20 km, centrata sullo stabilimento sarà adeguata in gran parte dei casi pratici. Per la mappatura del rischio è poi conveniente suddividere l'area di studio in maglie, cui verrà attribuito il valor medio del rischio pertinente la maglia stessa: dimensioni delle maglie di 500 m x 500 m sembrano adeguate per gran parte dell'area, anche se nella zona in cui si trova lo stabilimento e nelle sue immediate vicinanze (ad esempio, un'area di 2 km x 2 km centrata sullo stabilimento) si può adottare una magliatura più fitta (ad esempio 50 m x 50 m) per avere un maggior dettaglio dove maggiormente si risentono le conseguenze degli incidenti a maggior frequenza e minore gravità. Per la mappatura del rischio occorre quindi valutare il rischio associato ad ogni fonte di rischio considerata e per ogni maglia in cui è suddivisa l'area di studio e quindi ricomporre il rischio associato alle diverse fonti per pervenire a mappe del rischio tecnologico, del rischio naturale e del rischio globale.

4.2 Indice di severità

Sulla base di quanto esposto nel paragrafo precedente, non è possibile valutare direttamente i rischi naturali negli stessi termini in cui si valutano quelli tecnologici, e ciò pone il problema di definire una nuova misura del rischio che sia utilizzabile per tutte le fonti di pericolo, indipendentemente dalla loro origine naturale o tecnologica, e che sia "modulabile" in funzione dell'accuratezza delle informazioni disponibili. A tal fine è definito un indice di severità adimensionale, variabile tra 0 e 1, dove al valore 0 viene associato un livello di rischio sicuramente tollerabile ed al valore 1 un livello di rischio certamente inaccettabile. La valutazione di questo indice di severità per le diverse fonti di rischio prese in esame è illustrato nei paragrafi seguenti.

4.2.1 Indice di severità per i rischi di origine tecnologica

L'applicazione delle usuali tecniche QRA per analizzare i rischi associati agli impianti fissi ed al trasporto di prodotti pericolosi consente di valutare il rischio individuale geografico: questa grandezza può essere agevolmente correlata all'indice di severità. Tenendo presenti i valori limite della zona ALARP del Regno Unito, si è ritenuto di associare il valore 0 dell'indice di severità ad un rischio individuale minore o uguale a 10^{-7} eventi/anno ed il valore 1 dell'indice di severità ad un rischio individuale maggiore o uguale a 10^{-3} eventi/anno. Per valori di rischio individuale compresi nell'intervallo 10^{-3} - 10^{-7} eventi/anno, la corrispondenza con l'indice di severità è riportata in forma grafica in Fig. 3.

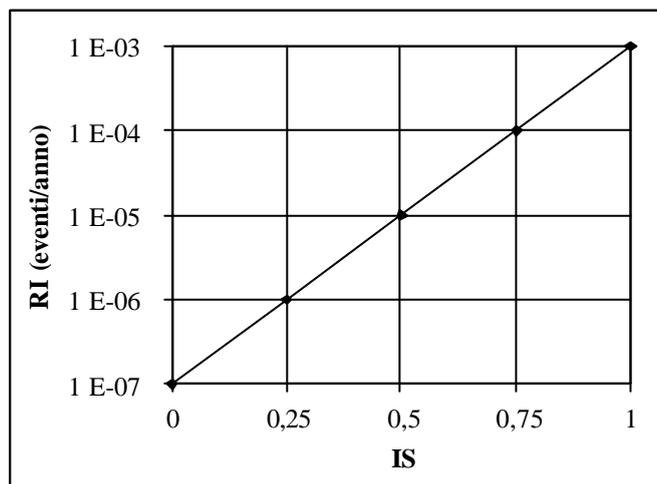


Figura 3. Corrispondenza fra l'indice di severità e la misura del rischio geografico

4.2.2 Indice di severità per i rischi di origine naturale

Per quanto concerne i rischi di origine naturale, l'indice di severità è stato modulato in funzione delle informazioni disponibili: ove esse erano più dettagliate, come nel caso dei sismi, è stato possibile graduare l'indice nell'intervallo 0-1; ove i dati non lo consentivano, si sono attribuiti solo i valori estremi (0 oppure 1) a seconda che il fenomeno avesse o non avesse interessato la zona in esame.

Per quanto concerne i sismi, l'indice di severità è stato posto in relazione con i valori dell'intensità macrosismica MCS a vari tempi di ritorno (47, 95, 475 e 2475 anni). All'aumentare del tempo di ritorno

considerato aumenta anche il valore massimo di intensità MCS attesa, che passano da 7.8 a 9.5 a 10.4 e 10.8. L'indice di severità per i sismi è stato quindi definito come rapporto tra il valore di intensità MCS ed il valore massimo di intensità MCS attesa, mediato su tutti i tempi di ritorno disponibili, come riportato nell'equazione (1):

$$IS_{\text{sism}} = \frac{1}{N} \cdot \sum_j \left(\frac{MCS}{MCS_{\text{max}}} \right)_j \quad (1)$$

dove j è il tempo di ritorno e N è il numero di tempi di ritorno disponibili.

Nel caso dei fenomeni franosi i dati disponibili sono, in pratica, limitati all'estensione delle zone franose, e non è quindi possibile modulare l'indice di severità. Di conseguenza, in questo caso, l'indice di severità è stato assunto pari ad 1 nel caso in cui la maglia sia stata anche marginalmente interessata da frane e pari a 0 laddove il territorio non sia stato interessato da tale fenomeno. Lo stesso problema si è ripresentato per il rischio di esondazione, per cui sono state reperite solo informazioni concernenti le aree che possono essere soggette a fenomeni di piena [10]. Quindi, anche in questo caso si è associato un indice di severità pari ad 1 quelle maglie che hanno anche marginalmente una possibilità di essere soggette ad esondazioni e pari a 0 quelle che non sono interessate.

4.3 Ricomposizione del rischio

Una volta valutati i valori di indice di severità associati, per ogni maglia, alle singole fonti di rischio tecnologico e naturale, occorre dotarsi di criteri di ricomposizione del rischio. In sostanza, occorre dotarsi di criteri che consentano di attribuire un "peso" ad ognuna delle fonti di rischio, per valutare il rischio globale. A tal fine si è utilizzato il metodo di prioritizzazione gerarchica proposto da Saaty [11], basato sul parere di esperti, e che prevede tre passi fondamentali:

- costruzione di un sistema di gerarchie;
- valutazione delle priorità;
- convalida della coerenza.

La costruzione di un sistema di gerarchie richiede la definizione o l'individuazione di una serie di livelli collegati fra loro in cui ogni elemento assume una propria posizione all'interno della gerarchia ed il livello superiore corrisponde all'obiettivo globale. In Fig. 4 è riportata la struttura gerarchica utilizzata in questo lavoro per poter arrivare alla definizione dei pesi delle singole fonti di rischio.

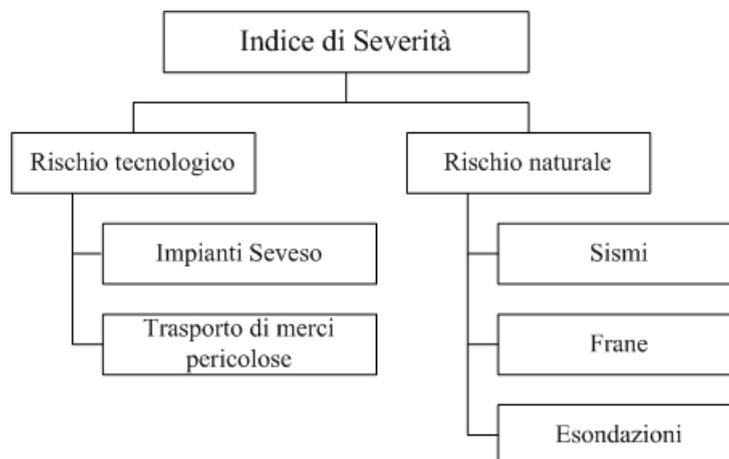


Figura 4. Struttura gerarchica del metodo Saaty

La valutazione delle priorità si basa sul confronto binario fra due elementi di uno stesso livello per poter stabilire le priorità relative ed arrivare alla definizione dei pesi da attribuire alle varie fonti di rischio. Il metodo viene quindi convalidato nel terzo passo con il calcolo dell'indice di coerenza.

In questo caso, come mostra la Fig. 4, la struttura gerarchica è estremamente semplice: prima si sono confrontati tra loro le fonti di rischio naturale e tecnologico, per arrivare a determinare dei pesi relativi all'interno di ogni categoria, e quindi si sono confrontati il rischi di origine naturale e tecnologica. Il

confronto è stato basato su questionari costruiti *ad hoc* e somministrati ad un team di 13 esperti. I pesi sono stati desunti associando ad ogni risposta un valore numerico, come riportato in Tab.1.

Tabella 1. Scala di confronti binari fra due elementi A e B

Valore	Definizione
1	A ha la stessa importanza di B
3	A è un po' più importante di B
5	A è più importante di B
7	A è molto più importante di B
9	A è decisamente più importante di B

Le funzioni che si sono ottenute con il metodo Saaty sono quelle riportate di seguito nelle equazioni (2), (3) e (4):

$$IS_{tecn} = 0.8345 \cdot IS_{imp} + 0.1655 \cdot IS_{trasp}, \quad (2)$$

$$IS_{nat} = 0.7054 \cdot IS_{sism} + 0.1148 \cdot IS_{eson} + 0.1798 \cdot IS_{fran}, \quad (3)$$

$$IS_{glob} = 0.7556 \cdot IS_{tecn} + 0.2444 \cdot IS_{nat}, \quad (4)$$

dove

- IS_{imp} è l'indice di severità per l'impianto soggetto alla Direttiva Seveso;
- IS_{trasp} è l'indice di severità per il trasporto di merci pericolose;
- IS_{sism} è l'indice di severità per i sismi;
- IS_{eson} è l'indice di severità per le esondazioni;
- IS_{fran} è l'indice di severità per le frane;
- IS_{tecn} è l'indice di severità per i rischi di origine tecnologica;
- IS_{nat} è l'indice di severità per i rischi di origine naturale;
- IS_{glob} è l'indice di severità globale.

I risultati sono stati convalidati: nel caso del confronto fra due soli elementi, mostrato dalle equazioni (2) e (4) i risultati sono intrinsecamente coerenti; nel caso del confronto tra 3 elementi, il rapporto di coerenza è risultato inferiore al 10%, valore che valida statisticamente i risultati ottenuti.

I risultati ottenuti dall'applicazione del metodo di prioritizzazione hanno mostrato che, a parere degli esperti consultati:

- il rischio tecnologico ha comunque un peso maggiore rispetto a quello naturale;
- il rischio derivante da impianti fissi è decisamente superiore a quello derivante dal trasporto di merci pericolose (contrariamente a quanto mostrano i risultati di vari studi del rischio d'area);
- fra tutti i rischi naturali quello che è percepito come più pericoloso è quello derivante dai terremoti, questo probabilmente per il fatto che l'Italia è un paese sismico.

4.4 Tool GIS

La mappatura della severità di un'area di studio può essere notevolmente facilitata utilizzando un tool GIS (*Geographical Information System*). Questo è un sistema che permette la localizzazione di oggetti (poligoni, linee, punti) su una mappa utilizzando coordinate spaziali e la sua utilità risiede anche nel fatto che sono disponibili vari database commerciali georeferenziati che possono essere utilizzati per reperire direttamente informazioni relative all'area di studio come, ad esempio, Corine Land Use [12], relativo alla destinazione d'uso del suolo, TeleAtlas [13] per l'individuazione di rete stradale e ferroviaria, nonché database specifici che contengono la localizzazione delle aree soggette a frane [9], quelle potenzialmente esondabili [10] e informazioni riguardanti i sismi [8].

È stato quindi sviluppato un tool GIS in ArcView 3.2a [14], mettendo a punto una procedura che guida l'utente passo dopo passo, dall'inserimento dei dati fino all'ottenimento delle mappe. Fissate le caratteristiche dell'area di studio (dimensioni, maglia, eventuale magliatura interna più fitta) la griglia viene proiettata sulla mappa, centrandola sull'impianto.

Si procede quindi alla valutazione dell'indice di severità relativo allo stabilimento inserendo, per ognuno dei *top events* presi in esame, le informazioni desumibili dall'analisi di rischio, quali la frequenza attesa e le distanze associate a elevata letalità, inizio letalità, lesioni irreversibili e lesioni reversibili [15]. Per i *top events* che risentono del vento (nubi tossiche, incendi di nubi, ecc.) è possibile anche tenere conto della distribuzione locale della direzione di provenienza. Il *tool* calcola automaticamente l'indice di severità derivante da tutti i *top events* considerati per ogni maglia dell'area di studio.

Per il calcolo dell'indice di severità per il trasporto di merci pericolose occorre inserire, per ogni tipologia di tratta interessata dal trasporto, l'incidentalità attesa per la tratta, la probabilità dell'evento incidentale finale innescato dall'incidente e la distanza d'impatto corrispondente.

Il calcolo dell'indice di severità per i rischi di origine naturale è reso semplicissimo dall'utilizzo del *tool*, che non richiede l'inserimento di alcun dato ed esegue le operazioni di "intersezione" tra le aree interessate da frane, esondazione e sismi, riportate nei relativi database GIS e le maglie dell'area di studio, eseguendo inoltre, per i sismi, le operazioni richieste per la valutazione dell'indice di severità.

Infine, il *tool* predispone automaticamente le mappe dell'indice di severità tecnologico, dell'indice di severità naturale e dell'indice di severità globale; ulteriori dettagli sul suo funzionamento sono riportati altrove [16].

5.0 APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA AD UN SITO INDUSTRIALE

La metodologia è stata applicata in un'area di studio in Sicilia, in cui è presente uno stabilimento a rischio di incidente rilevante situato in zona sismica.

L'area di studio, di 20 km x 20 km, come mostra la Fig.5, è stata suddivisa in maglie quadrate di 500 m x 500 m, ed è stata considerata anche una zona interna di 2 km x 2 km le cui maglie sono di 50 m x 50 m, per tener conto in dettaglio anche degli scenari incidentali con distanze di impatto inferiori ai 500 m.

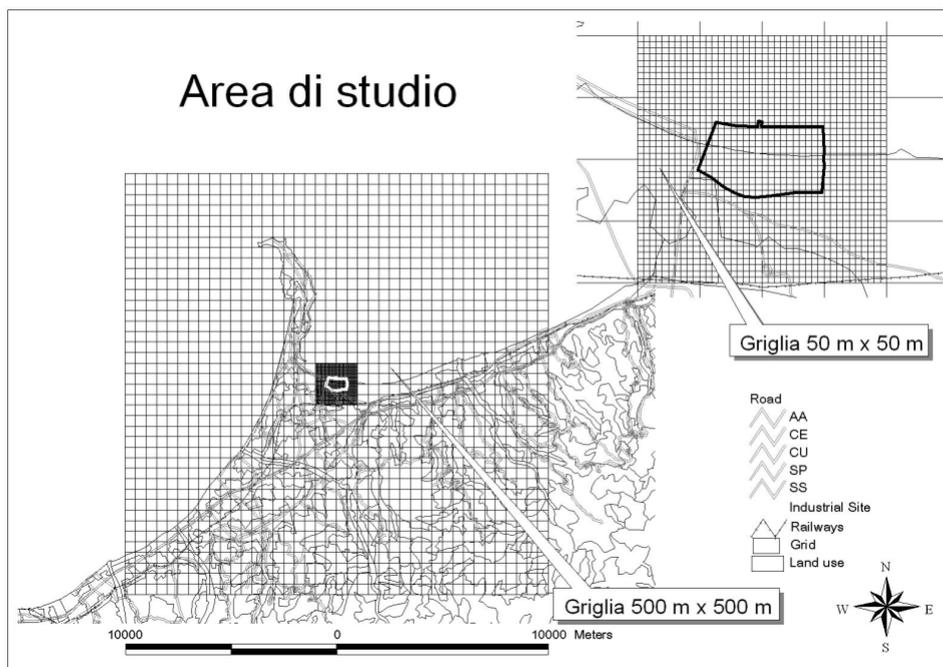


Figura 5. Area di studio

5.1 Indice di severità per lo stabilimento

Per effettuare lo studio si è partiti dai 125 *top events* possibili per lo stabilimento [17] che sono stati analizzati utilizzando la metodologia MIRAS [18]. Questa attribuisce una maggiore o minore pericolosità ai vari *top events* in base alla loro tipologia e frequenza di accadimento: applicando il metodo, si sono quindi individuati 15 *top events* particolarmente significativi, che danno luogo a 16 possibili eventi finali: 1 *fireball*, 2 incendi da pozza, 2 esplosioni di nubi di vapori, 3 incendi di nubi di vapori e 8 nubi tossiche.

Per gli eventi sensibili al vento si è inoltre tenuto conto della distribuzione delle direzioni di provenienza del vento, riportate in Tab. 2. La Fig.6 riporta la mappa dell'indice di severità per lo stabilimento.

Tabella 2. Probabilità di provenienza della direzione del vento

Direzione	Probabilità (%)
N	13.4
NE	29.8
E	13
SE	5.9
S	11.3
SO	12.9
O	5
NO	8.7

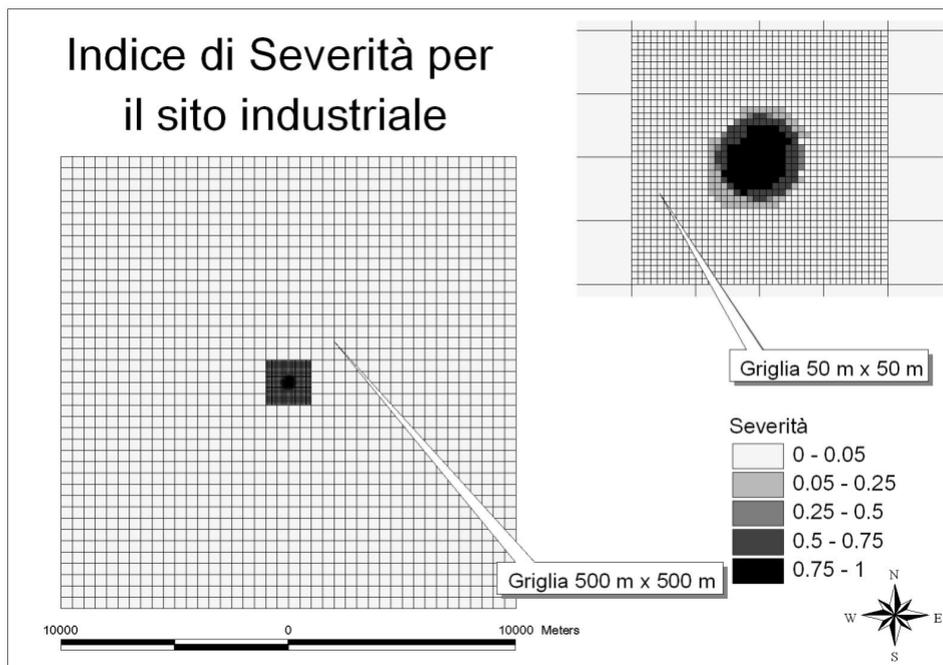


Figura 6. Indice di severità per il sito industriale

Si può notare come l'indice di severità presenti un valore molto alto, ma limitatamente alla zona entro i confini dello stabilimento, dove raggiunge il valore 1, corrispondente ad un valore del rischio individuale geografico superiore a 10^{-3} eventi/anno. In Fig.6 si nota anche un certo effetto della direzione prevalente del vento (da NE) dovuto al fatto che molti degli eventi finali considerati sono sensibili a questa variabile.

5.2 Indice di severità per il trasporto di merci pericolose

La maggior parte delle sostanze pericolose in arrivo e in partenza dallo stabilimento vengono trasportate via mare, alcuni prodotti (carburanti e combustibili) viaggiano su gomma, altri (olio combustibile) per condotta, mentre è assente il trasporto ferroviario. Nell'applicazione si sono prese in considerazione solo le attività di trasporto stradale delle sostanze infiammabili volatili (GPL e benzina) trascurando il rischio associato a composti più pesanti (gasolio e olio combustibile) e quindi meno pericolosi in caso di incidente.

Sia il GPL che la benzina sono trasportati lungo il medesimo percorso: la parte che ricade nell'area di studio è costituita da un tratto su strada locale, uno su strada statale e alcuni chilometri di autostrada.

Le incidentalità di queste strade risultano [16] pari a:

- Strada locale: $1 \cdot 10^{-6}$ incidenti/veicolo/km;
- Strada statale: $3 \cdot 10^{-8}$ incidenti/veicolo/km;
- Autostrada: $1.2 \cdot 10^{-6}$ incidenti/veicolo/km.

I quantitativi trasportati sono 25000 t/anno per il GPL e 108000 t/anno per la benzina [17]. Le distanze d'impatto sono state valutate per gli scenari incidentali relativi al GPL e alla benzina assumendo due

tipologie di rottura: una media ed una catastrofica (ulteriori dettagli sono riportati altrove [19]). Per il GPL le distanze sono comprese fra 26 m e 518 m mentre per la benzina vanno da 19 m a 140 m.

La Fig. 7 mostra la mappa dell'indice di severità per il trasporto di merci pericolose nell'area di studio: in questo caso, il valore massimo dell'indice di severità è pari a 0.4 e corrisponde ad un valore dell'indice di rischio individuale all'interno della regione ALARP. L'estensione della zona a rischio segue l'andamento del percorso.

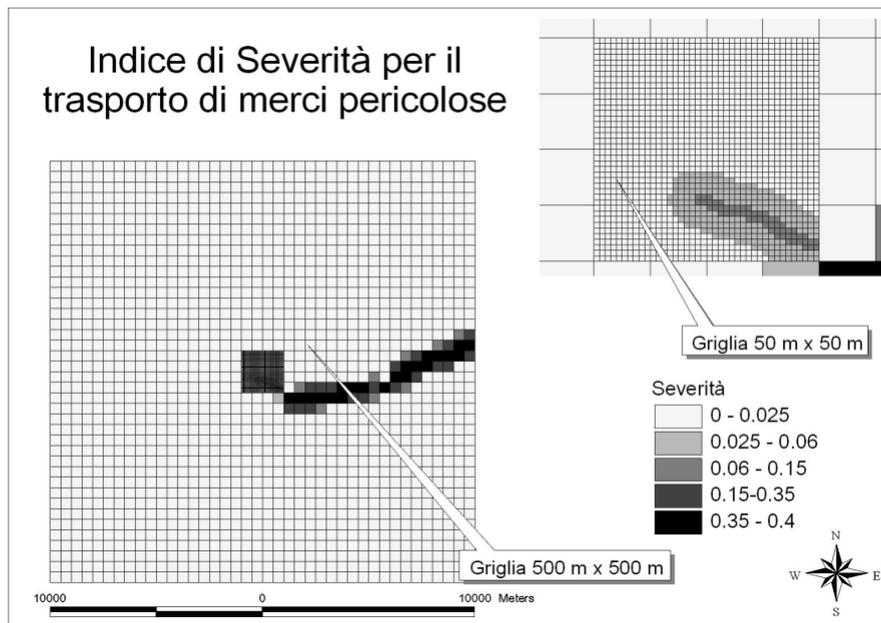


Figura 7. Indice di severità per il trasporto di merci pericolose

5.3 Indice di severità per i rischi di origine naturale

La mappa dell'indice di severità per il rischio derivante dai terremoti, riportata in Fig. 8, è stata ottenuta direttamente applicando la relazione (1) e mostra come lo stabilimento sia localizzato in una zona ad elevato rischio sismico.

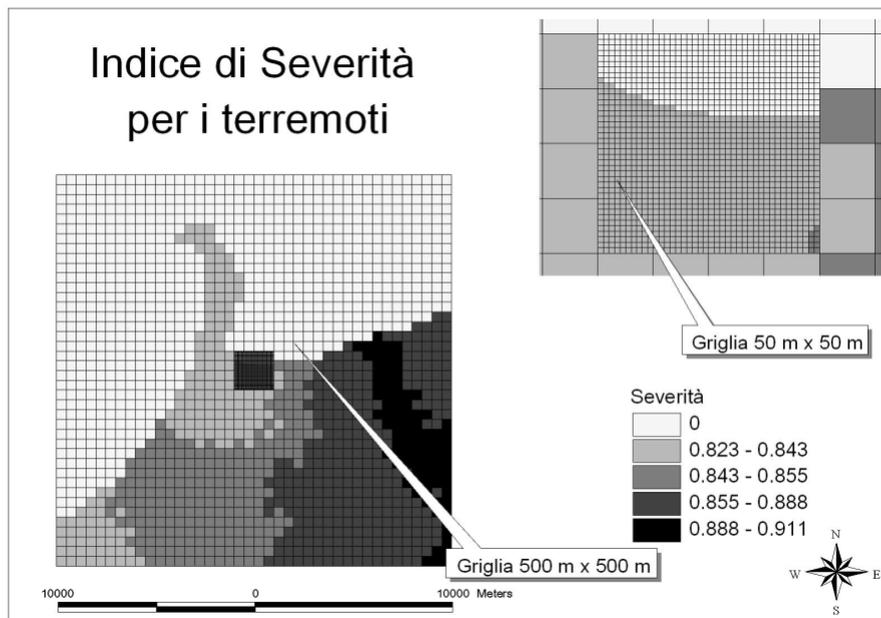


Figura 8. Indice di severità per i terremoti

In alcune zone nell'area di studio risultano essere state colpite da frane, per cui è stato assunto un valore dell'indice di severità pari a 1 per le maglie interessate, anche marginalmente, dall'area di frana e pari a 0 per tutte le altre. La mappa relativa è mostrata in Fig. 9: si può notare che le aree di frana interessano una porzione non trascurabile dell'area di studio, comunque localizzata distante dalla zona occupata dallo stabilimento.

L'area di studio non presenta invece aree a rischio di esondazioni, per cui il corrispondente indice di severità verrà assunto pari a 0.

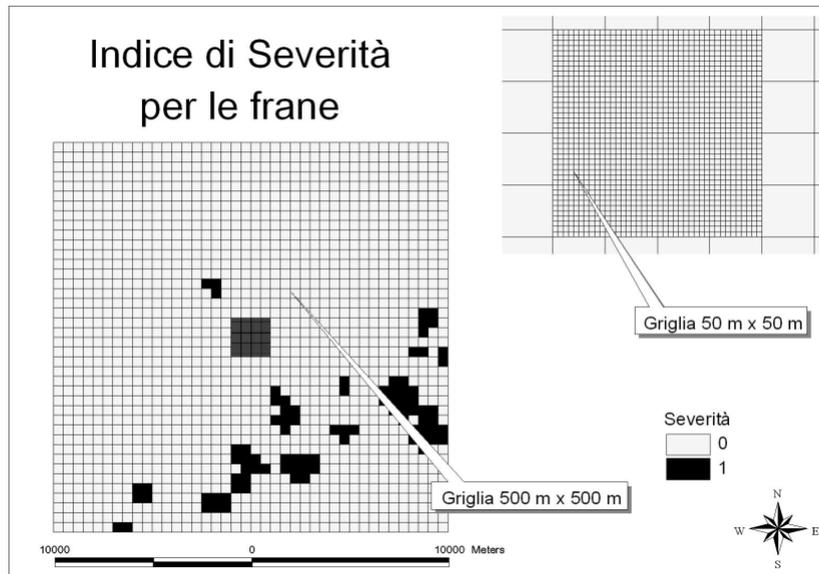


Figura 9. Indice di severità per le frane

5.4 Mappe del rischio globale

La Fig. 10 mostra la mappa dell'indice di severità relativo al rischio di origine tecnologica, ottenuto applicando l'equazione (2), ovvero dalla somma pesata degli indice di severità per lo stabilimento e per il trasporto di merci pericolose.

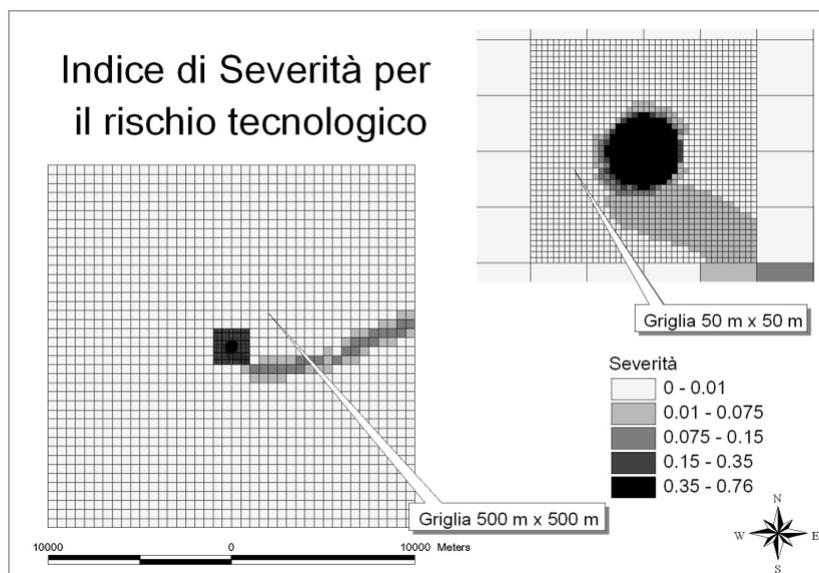


Figura 10. Indice di severità per il rischio tecnologico

Si può notare come la zona interessata dal rischio tecnologico sia praticamente limitata ai confini dello stabilimento ed alla zona più prossima al percorso seguito dalle autocisterne. I valori dell'indice di severità sono abbastanza alti e arrivano fino a 0.76 in prossimità dello stabilimento.

La Fig. 11 mostra invece la mappa dell'indice di severità relativo al rischio di origine naturale, che si ottiene, in questo caso, combinando, mediante l'equazione (3), gli indici di severità per i sismi e per le frane. Anche in questo caso si raggiungono valori dell'indice di severità pari a 0.76, ma le aree in cui l'indice di severità per i rischi naturali è più elevato sono localizzate nel quadrante Sud-Est e non si sovrappongono a quelle in cui è più elevato l'indice di severità per il rischio tecnologico.

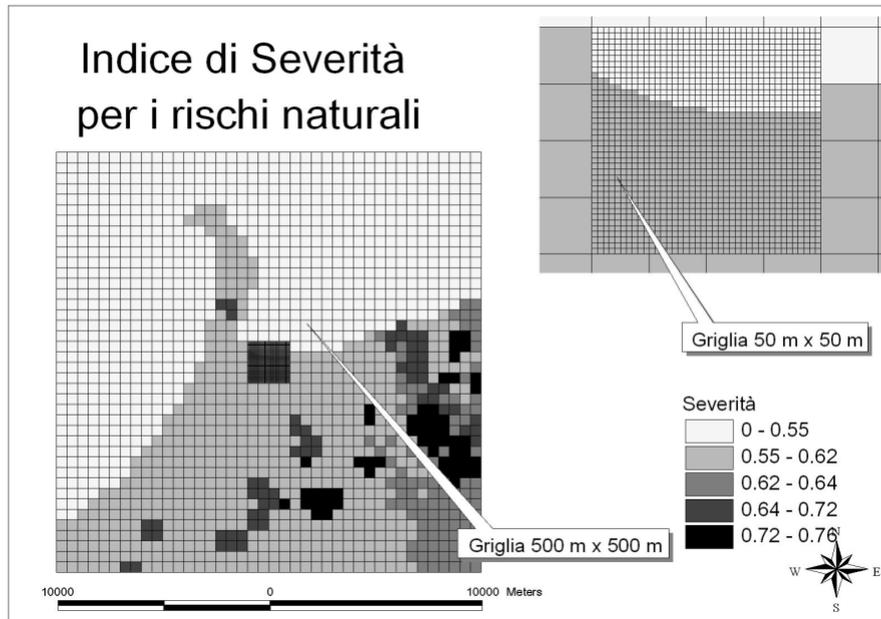


Figura 11. Indice di severità per i rischi naturali

La mappa dell'indice di severità globale è stata infine calcolata utilizzando l'equazione (4), ottenendo i risultati mostrati in Fig. 12. Si rileva, come peraltro atteso, il contributo prevalente del rischio tecnologico, ma pure il non trascurabile contributo di quello naturale : le zone a maggior rischio sono quelle in cui si trova la raffineria, quelle situate lungo il percorso dei mezzi di trasporto e l'area a Sud-Est dello stabilimento.

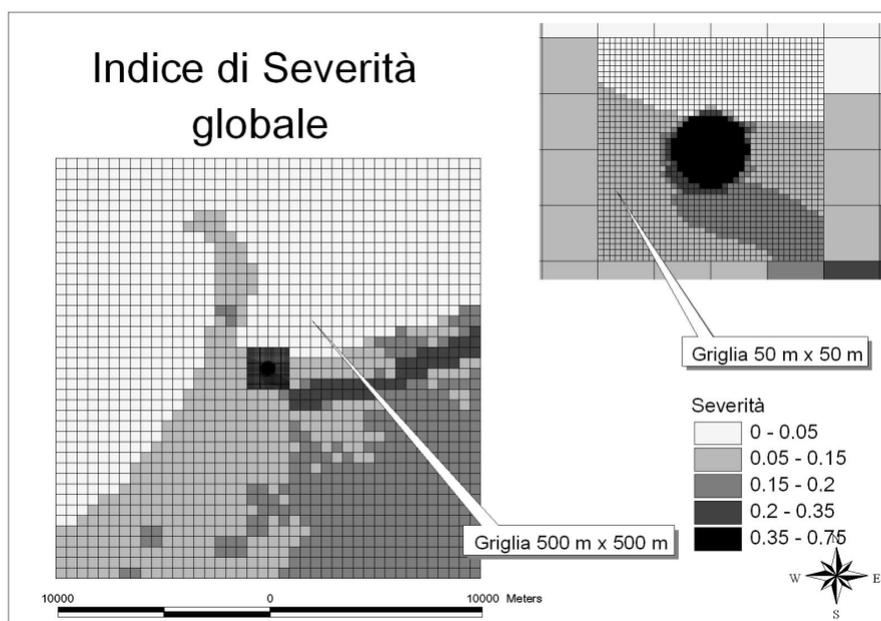


Figura 12. Indice di severità globale

6.0 CONCLUSIONI

La metodologia illustrata in questo lavoro consente di valutare il contributo di diverse fonti di rischio mediante un indice modulabile in funzione dell'accuratezza dei dati disponibili, e che è possibile associare sia al rischio tecnologico, per il tramite del rischio individuale geografico, sia ai rischi naturali. L'indice di severità consente di pervenire ad una descrizione accurata del territorio tenendo conto di tutte le possibili sorgenti di danno, anche se il grado di dettaglio dei risultati è, ovviamente, funzione della qualità delle informazioni disponibili. La tecnica di ricomposizione del rischio utilizzata consente, inoltre, di tenere conto anche della diversa percezione dei rischi di diversa origine. I principali benefici dell'approccio proposto risiedono nella possibilità di ottenere mappe di rischio, sia relative alle singole fonti di rischio che globali, da confrontare con mappe di vulnerabilità dell'area, anch'esse ottenibili mediante un tool GIS [20]. Proprio il confronto tra mappe di vulnerabilità e mappe di rischio dell'area considerata potrebbe rappresentare un valido strumento per le Autorità Competenti per la pianificazione territoriale così come previsto dal DM 9 maggio 2001.

RIFERIMENTI

1. Council Directive 82/501/EEC on the major-accident hazards of certain industrial activities, Official Journal of the European Communities, 1982, L 230, Brussels.
2. Council Directive 96/82/EC On the control of major accident hazards involving dangerous substances, 1996, Official Journal of the European Community, L 10, pp. 13-33.
3. Directive 2003/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2003 amending Council Directive 96/82/EC on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, Official Journal of the European Union, 2003, L 345/97, Brussels.
4. Egidi, D., Foraboschi, F., Spadoni, G., Amendola, A., The ARIPAR project: analysis of the major accident risks connected with industrial and transportation activities in the Ravenna area, 1995, Rel. Eng. and System Safety, pp. 75-79.
5. CCPS, Center for Chemical Process Safety 2000. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, 2nd edition, New York: AIChE.
6. CCPS, Center for Chemical Process Safety 1995. Guidelines for Chemical Transportation Risk Analysis, New York: AIChE.
7. Health & Safety Commission 1991. Major Hazard Aspects of the Transport of Dangerous Substances, London, HMSO.
8. Servizio Sismico Nazionale, 2001, Rischio Sismico.
9. APAT, 2005 informazioni disponibili su: <http://www.sinanet.it/progettoIFFI>.
10. Ministero dell' Ambiente, 2005: <http://www.pcn.minambiente.it/pcn.default.html>.
11. Saaty, T.L., 1980, The analytic hierarchy process, Mc Graw Hill.
12. Annoni, A., Cumer, A., Progetto Corine LandCover: le mappe delle regioni italiane, 1995, Atti 7° Conv. Naz. AIT, Telerilevamento, GIS e cartografia al Servizio dell'Informazione Territoriale, Ed. XEA.
13. TeleAtlas B.V. 1996. Roadnet
14. ESRI, 2000, ArcView GIS 3.2a for Windows.
15. Planas, E., Arnaldos, J., Silvetti, B., Vallée, A., Casal, J., A Risk Severity Index for industrial plants and sites, 2006, Journal of Hazardous Material, Vol. 130, pp 242-250.
16. Silvetti, B., Sviluppo di una metodologia per la valutazione del rischio derivante da attività industriali e calamità naturali, Tesi di dottorato in Ingegneria Chimica dell' Ambiente e della Sicurezza, Università degli Studi di Roma "La Sapienza".
17. Maschio, G., comunicazioni private.
18. Delvosalle, C., Fievez, C., Pipart, A., Debray, B., ARAMIS project: A comprehensive methodology for the identification of reference accident scenarios in process industries, J. of Haz. Mat., 2006, Vol. 130, pp. 200-219.
19. Bubbico, R., Di Cave, S., Mazzarotta, B., Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: a GIS approach, 2004, J. Loss Prev. Proc. Ind., 17, 6, pp. 483-488.
20. Tixier, J., Dandrieux, A., Dusserre, G., Mazzarotta, B., Silvetti, B., Environmental vulnerability assessment in the vicinity of an industrial site in the frame of ARAMIS European project, 2006, J. of Haz. Mat., Vol. 130, pp. 251-254.