

VULNERABILITA' AD ATTACCO TERRORISTICO DEL TERRITORIO LIMITROFO A STABILIMENTI A RISCHIO DI INCIDENTE RILEVANTE

Bubbico, R., Di Cave, S. e Mazzarotta, B.

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

SOMMARIO

Si è verificata l'applicabilità della metodologia sviluppata nel corso del Progetto Europeo "ARAMIS" (Accidental Risk Assessment Methodology for Industries) all'ottenimento di mappe preliminari per valutare la vulnerabilità del territorio circostante impianti a rischio di incidente rilevante (RIR) nel caso di attacco terroristico. I vantaggi principali sono legati alla rapidità ed alla semplicità dell'analisi, resa possibile dalla messa a punto di uno strumento GIS (Geographic Information System) che manipola in modo automatizzato dati reperibili da database largamente diffusi, e dalla notevole ampiezza e modularità dell'area di studio, in grado di coprire anche le distanze di danno maggiori attese per i top events innescati da attentati. La vulnerabilità del territorio è stata valutata in base ai bersagli "umani": lavoratori, popolazione residente, eventuali centri di vulnerabilità (scuole, ospedali, ecc.) e persone in transito sulla viabilità stradale e ferroviaria, tramite opportuni fattori di quantificazione. Le mappe di vulnerabilità ottenute consentono sia di caratterizzare con un sufficiente dettaglio la vulnerabilità del territorio limitrofo allo stabilimento che di confrontare agevolmente, e in modo omogeneo, la situazione di diversi siti. Queste informazioni possono essere preziose soprattutto per mettere a punto criteri con cui definire priorità nella predisposizione di piani per fronteggiare l'eventualità di attacchi terroristici a stabilimenti RIR.

INTRODUZIONE

In Italia gli stabilimenti a rischio di incidente rilevante (RIR) sono oltre un migliaio (di cui più del 40% soggetti all'art.8 del DL 334/99), distribuiti sul territorio in modo assai variabile [1]. Questa variabilità non riguarda solo la distribuzione tra le varie regioni e province ma, soprattutto, la localizzazione dell'impianto rispetto alla tipologia di territorio circostante. Oltre ai casi, fortunatamente non frequenti, di concentrazione di stabilimenti RIR, all'interno di una medesima area (Fig.1), più frequentemente uno stabilimento a rischio di incidente rilevante è comunque situato in un'area industriale, posta ai margini di un centro abitato, e che comprende altre attività industriali e/o artigianali (Fig.2). In casi meno frequenti, ma non rari, lo stabilimento RIR si trova a breve distanza da un centro abitato, o addirittura al suo interno (vedi Fig. 1).

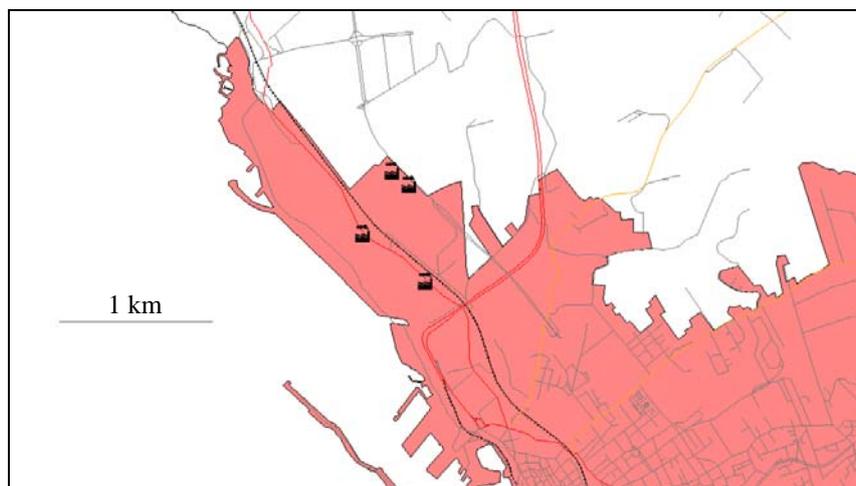


Figura 1. Stabilimenti a rischio di incidente rilevante collocati all'interno di una località abitata



Figura 2. Stabilimenti a rischio di incidente rilevante collocati in una zona industriale

Sono pure abbastanza frequenti i casi in cui gli stabilimenti RIR siano situati in prossimità di infrastrutture viarie e ferroviarie (vedi Figure 1 e 2), o produttive, come centrali e sottostazioni elettriche, condotte, ecc.

Il rispetto delle normative vigenti da parte degli stabilimenti RIR, il controllo dell'urbanizzazione del territorio circostante e la predisposizione di piani di emergenza esterni, che tengano conto della possibilità che si verifichino effetti domino nelle zone ad elevata concentrazione di impianti, sono gli strumenti che consentono di limitare il pericolo per le popolazioni. Tuttavia, negli ultimi tempi, le preoccupazioni relative ai rischi insiti nelle attività industriali sono accresciute dai timori che uno stabilimento a rischio di incidente rilevante possa divenire oggetto di attacchi terroristici. Questi possono essere specificamente finalizzati a scatenare top events di gravità maggiore rispetto a quelli preventivabili in base a considerazioni legate al processo, progettuali e impiantistiche, sia come diretta conseguenza dell'attacco, sia attraverso una catena di effetti domino culminanti con incendi, esplosioni o nubi tossiche di grande entità. L'entità del danno che un attacco terroristico è in grado di causare dipende da un lato dalle caratteristiche dei processi produttivi, come quantitativi, stato chimico-fisico e pericolosità delle sostanze eventualmente coinvolte, ma anche dalla vulnerabilità e dalla localizzazione dei potenziali bersagli. Da questo punto di vista occorre tenere ben presente che un top event conseguente ad attacco terroristico, cioè intenzionalmente provocato, può portare a conseguenze molto più gravi rispetto a quelli studiati analizzando il rischio di incidente rilevante nello stabilimento. Ciò significa che le conseguenze di tali top events potrebbero estendersi ben al di là del raggio minimo di 1 km dallo stabilimento generalmente considerato per caratterizzare la vulnerabilità del territorio circostante. In questo caso, quindi, diventa particolarmente importante dotarsi di metodologie semplici ed affidabili in grado di fornire una "fotografia" accurata della situazione del territorio, per una estensione ragionevolmente estesa ad alcuni chilometri, che siano basate su informazioni facilmente reperibili e rapidamente aggiornabili. Da questo punto di vista i sistemi GIS (Geographic Information System) stanno acquisendo una sempre maggiore importanza, per la loro vasta diffusione, per la semplicità con cui è possibile inserire e sovrapporre i diversi "layers" informativi, per la vasta disponibilità di banche dati riguardanti svariati aspetti della caratterizzazione del territorio (reti stradali e ferroviarie, usi del suolo, popolazione) e per la possibilità di inserire informazioni personalizzate (perimetro dello stabilimento, localizzazione di particolari centri di vulnerabilità, ecc.) reperite localmente.

Nell'ambito del Progetto Europeo ARAMIS (Accidental Risk Assessment Methodology for Industries) è stata sviluppata una metodologia GIS per valutare la vulnerabilità del territorio che circonda un sito industriale [2]. Questa metodologia, che non è specificamente finalizzata alla valutazione della vulnerabilità del territorio nel caso di un attacco terroristico allo stabilimento, consente tuttavia di tracciare mappe di vulnerabilità della zona circostante l'impianto, tenendo conto di varie tipologie di possibili "bersagli" (persone, componenti dell'ambiente naturale e antropizzato). La procedura è automatizzata e si basa su dati ricavati da database GIS di facile reperibilità, integrabili, se di interesse, da informazioni puntuali locali.

Scopo di questo lavoro è verificare i benefici ottenibili dall'applicazione della metodologia ARAMIS per una valutazione rapida e standardizzata della vulnerabilità del territorio circostante impianti RIR, tenendo conto

delle maggiori distanze di danno ipotizzabili per i top events associati ad attacchi terroristici, per predisporre piani con cui fronteggiare una eventualità di questo tipo. Si intende poi indagare sulla possibilità di derivare un indice che consenta di classificare i vari stabilimenti da questo punto di vista, come criterio per mettere a punto provvedimenti mirati nell'allocazione delle risorse per combattere il rischio di attacchi terroristici alle installazioni a rischio di incidente rilevante.

2. ATTACCHI TERRORISTICI A STABILIMENTI A RISCHIO DI INCIDENTE RILEVANTE

Il rischio di incidente in strutture ed infrastrutture critiche dovuto ad azioni umane deliberate viene generalmente indicato con il termine "security risk", definita come prodotto della probabilità attacco, della vulnerabilità dell'infrastruttura all'attacco e del danno conseguente all'attacco. La valutazione della probabilità di attacco presuppone di identificare gli attaccanti, le loro motivazioni e gli obiettivi più appetibili, mentre quella della vulnerabilità di determinare i potenziali obiettivi dell'attacco, gli scenari di attacco e l'adeguatezza delle misure di difesa. Inoltre, a differenza di quanto accade nell'analisi di rischio tradizionale, la probabilità di uno scenario catastrofico può essere relativamente alta con conseguenze non limitate alla possibilità di morti e feriti tra i lavoratori dello stabilimento, ma che si estendono alla popolazione all'esterno del sito industriale, e che possono comprendere la distruzione dell'impianto e/o di infrastrutture, inquinamento ambientale di larga scala, ingenti perdite finanziarie fino a creare possibili problemi all'economia nazionale.

Preliminarmente occorre valutare l'appetibilità del target, come valore reale e/o percepito in termini di potenzialità di originare un elevato numero di morti/feriti, oppure ingenti danni all'impianto e/o ad infrastrutture vicine, di vicinanza a beni statali o simboli per la collettività, di visibilità dell'azienda. Un altro fattore importante è la facilità di accesso e l'efficacia delle misure di protezione, quali l'accesso controllato agli impianti, il confinamento delle unità critiche, la prevenzione e il confinamento dei rilasci accidentali, la sicurezza delle sale controllo, politiche e procedure di security, ecc.; tali misure non hanno solo un costo finanziario ma possono comportare un peggioramento delle condizioni di lavoro, perdita di efficienza e pubblicità negativa.

I "security risk" sono emersi all'attenzione pubblica solo successivamente al 2001, non solo a seguito degli attentati dell'11 settembre, ma anche a dell'incidente di pochi giorni dopo (21 settembre) che a Tolosa ha coinvolto uno stoccaggio di nitrato di ammonio, con 23 decessi e danni materiali molto estesi, e le cui cause non sono ancora del tutto chiare e soprattutto tali da poter escludere la matrice volontaria. Nonostante si tratti di una disciplina relativamente recente sono stati proposti varie metodologie di analisi. A titolo di esempio, si analizzerà brevemente il Vulnerability Assessment Model (VAM), proposto dall'U.S. Department of Justice [3] come approccio sistematico per valutare la probabilità che una minaccia contro uno stabilimento abbia successo e per stimare la gravità delle conseguenze per lo stabilimento e le comunità circostanti.

Il rischio è funzione della severità (S) delle conseguenze della probabilità L_A di un attacco e della probabilità L_{AS} di successo dell'attacco. I livelli di severità possono essere valutati a partire da tabelle, derivate dalla Process Hazard Analysis (PHA) in base ai processi a maggior rischio tra quelli dello stabilimento, e dall'analisi delle conseguenze al di fuori del perimetro dello stabilimento per il peggiore scenario ipotizzabile. La Tabella 1, ad esempio, classifica la severità in base alla gravità dello scenario.

Tabella 1: Livelli di severità in funzione della gravità dello scenario

S	Descrizione dello scenario
1	Possibilità di danno a causa di un rilascio chimico, detonazione o esplosione: morte di lavoratori e/o della popolazione circostante, impianto fermo per più di un mese, grave impatto ambientale.
2	Possibilità di danno a causa di incendio o rilascio chimico: lesioni non fatali, impianto fermo per meno di un mese, blocco del traffico stradale.
3	Possibilità di danno a causa di un rilascio chimico: evacuazione dell'impianto, lesioni leggere, minimo impatto all'esterno (es. odore).
4	Problema operativo senza rischio di causare lesioni o rilasci incontrollati.

La valutazione della probabilità di attacco (L_A) richiede preliminarmente di identificare la minaccia: tipo di avversario (esterno, interno, esterno in collaborazione con interni), motivazioni (ideologiche, economiche, personali), capacità di azione (numero dei componenti del gruppo, armi ed equipaggiamento, mezzi di trasporto, conoscenze tecniche, conoscenza dell'impianto), come indicato, ad esempio, nella Tabella 2.

Tabella 2: Identificazione della minaccia

Tipo di avversario	Numero	Equipaggiamento	Veicoli	Armi	Tattica
Terroristi esterni	2 - 3	Attrezzi Sostanze chimiche Agenti biologici	Ruspe Furgoni Velivoli	Fucili Armi automatiche Esplosivi	Causare evento catastrofico Furto
Criminali	2 - 3	Attrezzi	Furgoni Velivoli	Fucili Esplosivi	Estorsione Furto
Estremisti	5 - 10	Catene Attrezzi	Automobili Bus	Nessuna arma	Proteste Danni Distruzioni
Personale interno	1	Attrezzatura del sito	Automobili Furgoni	Fucili Armi automatiche Esplosivi	Distruzioni Violenza Furto
Vandali	1 - 3	Vernice	Automobili Furgoni	Fucili da caccia Pistole	Spari

Queste informazioni, integrate da eventuali dati statistici, consentono di stimare la probabilità che ciascuna minaccia possa generare un evento indesiderato, come mostra la Tabella 3.

Tabella 3: Livelli di probabilità di attacco

L_A	Descrizione della probabilità di attacco
1	La minaccia esiste ed è possibile; l'azione è stata programmata ed ha come bersaglio il sito
2	La minaccia esiste ed è possibile; l'azione è stata programmata ma non ha come bersaglio il sito
3	La minaccia esiste ed è possibile; l'azione non è stata programmata e non ha come bersaglio il sito
4	La minaccia esiste ma non è capace di causare eventi indesiderati

Si può quindi valutare un coefficiente globale di probabilità e severità dell'attacco (L_S), inserendo in una matrice i valori della severità (S) e della probabilità di attacco (L_A), come mostra la Figura 3: la priorità verrà data all'analisi dei casi che presentano il valore di L_S più basso.

L_S		Severità delle conseguenze (S)			
di		1	2	3	4
Probabilità di attacco (L_A)	1	1	1	2	4
	2	1	2	3	4
	3	2	3	4	4
	4	3	4	4	4

Figura 3. Matrice del coefficiente globale di probabilità e severità di attacco

La probabilità di successo di un attacco (L_{AS}) dipende dall'efficienza delle protezioni adottate (PPS, Physical Protection System) in termini di DDR (Detect, Delay, Response):

- Scoprire (Detect) e segnalare l'attacco nel più breve tempo possibile;
- Ostacolare (Delay) l'azione tramite barriere fisse, mobili o attivate da sensori;
- Rispondere (Response), interrompere l'azione e neutralizzare gli avversari.

La probabilità di successo di un attacco (L_{AS}) viene quindi stimata con i criteri riportati in Tabella 4, che si possono estendere anche alla valutazione delle funzioni critiche del sistema di controllo del processo.

Tabella 4: Livelli di probabilità di successo dell'attacco

L_{AS}	Definizione
1	Misure di protezione inefficaci o inesistenti; certo un evento catastrofico
2	Misure di protezione appena sufficienti; probabile un evento catastrofico
3	Misure di protezione sufficienti; possibile un evento catastrofico
4	Misure di protezione complete; prevenzione dell'evento catastrofico

Infine, si valuta il livello di rischio inserendo in una matrice i valori di probabilità di successo dell'attacco e (L_{AS}) e del coefficiente globale di probabilità e severità dell'attacco (L_S), come mostra la Figura 4: il rischio è tanto maggiore quanto più il suo valore è vicino all'unità.

Rischio	Probabilità di successo dell'attacco (L_S)				
Coefficiente globale di probabilità e severità dell'attacco Probabilità di attacco (L_{AS})		1	2	3	4
	1	1	1	2	4
	2	1	2	3	4
	3	2	3	4	4
	4	3	4	4	4

Figura 4. Matrice di valutazione del rischio

Se il livello di rischio risulta pari o inferiore a 2 occorre migliorare il sistema di protezione, nelle sue varie componenti, con interventi volti a: protezione di vulnerabilità comuni a tutti, o parte, gli scenari considerati; protezione in profondità, attraverso una successione di barriere che costringono l'avversario ad una conoscenza più approfondita dell'impianto; protezione bilanciata, che assicura un pari grado di efficacia a tutte le barriere di protezione.

Tra gli altri approcci si cita la metodologia ERMES [4], proposta dalla SINDAR per valutare il rischio di azioni malavitose nei siti e nelle attività afferenti al trasporto delle merci pericolose, attraverso il ricorso a indici di rischio costruiti prendendo in considerazione i parametri che descrivono il livello di pericolo (ad esempio pericolosità e quantitativi delle sostanze presenti/coinvolute nell'attacco) e le misure di security adottate, e quello messo a punto dal CONPRICI [5], basato su una classificazione delle modalità di attacco, delle categorie di rilascio, delle conoscenze richieste per le diverse tipologie di attacco, degli scenari attesi e della criticità delle apparecchiature.

2.1 Vulnerabilità territoriale

In tutti gli approcci considerati ha grande importanza la severità delle conseguenze, soprattutto in termini di danni alle persone, ma anche alle infrastrutture: risulta quindi della massima importanza valutare la vulnerabilità, non solo all'interno dell'impianto, andando a localizzare i possibili "bersagli" (target) nell'area circostante lo stabilimento e quantificando la presenza umana. Nel caso di scenario incidentale catastrofico conseguente ad attacco terroristico è evidente che l'estensione dell'area da prendere in esame non può essere limitata al raggio 1 km dallo stabilimento (valore minimo assunto per la raccolta delle informazioni territoriali occorrenti alla stesura del PEE [6]); peraltro, uno stabilimento non può essere assimilato ad un punto, visto che in alcuni casi può coprire un'area di alcuni km². Le fasce di riferimento di "sicuro impatto" definite dal metodo speditivo arrivano, per alcune combinazioni critiche di sostanze molto tossiche ed elevati quantitativi detenuti, fino alla H (3000-10000 m), mentre, per le sostanze suscettibili di incendio ed esplosione, solo in rari casi si raggiunge la fascia G (1000-3000 m). Sulla base di questi dati sembra

realistico considerare come area circostante lo stabilimento quella che si estende fino a circa 5 km da esso, se sono presenti solo prodotti infiammabili o comburenti, ed un'area che si estenda almeno 10 km da esso (valore suscettibile di aumento, in funzione della/e sostanza/e coinvolta/e) se sono presenti prodotti in grado di formare nubi tossiche. Ulteriori valutazioni e approfondimenti possono essere necessari nel caso di stabilimenti situati a breve distanza tra loro, intendendo più specificatamente stabilimenti situati a distanze che rendono possibile l'instaurarsi di effetti domino. Questi possono derivare da irraggiamento termico, onde d'urto o lancio di frammenti (ma non da nubi tossiche), effetti che si esplicano generalmente per distanze tra la fonte di rischio e la possibile apparecchiatura bersaglio inferiori ai 1000 m. Diviene quindi estremamente importante individuare con esattezza non solo la localizzazione dello stabilimento, ma anche quella delle zone dello stabilimento in cui si trovano apparecchiature o serbatoi in cui possono verificarsi i "top events" previsti, ovvero che possano essere vulnerabili per effetto domino. Da questo punto di vista occorre purtroppo rilevare che le coordinate degli stabilimenti reperibili da varie fonti (Ministero dell'Ambiente, ISPESL) considerano gli stessi come entità puntuali, rendendo più difficoltosa la valutazione della possibilità di effetti domino; informazioni utili a tal fine si possono comunque derivare, ad esempio, da foto satellitari o dalle mappe riportate nelle schede di informazione alla popolazione.

In ogni caso, l'acquisizione di informazioni dettagliate su aree di 25, 100 o più km², oltre a risultare onerosa, può portare a gradi di accuratezza diversi da stabilimento a stabilimento, dipendentemente dal numero, dal tipo e dall'aggiornamento delle fonti utilizzate. Una uniformità, e rintracciabilità, delle informazioni sembra importante soprattutto a fini di programmazione di interventi di Protezione Civile, finalizzati alla riduzione del rischio, che vanno inevitabilmente "dosati" in funzione della "criticità" dell'installazione.

Il progetto europeo ARAMIS (Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the framework of Seveso II directive) ha proposto un approccio globale alla valutazione del rischio prendendo in esame sia la valutazione del rischio nell'impianto sia quella della vulnerabilità dell'ambiente circostante. Quest'ultimo aspetto è stato affrontato utilizzando strumenti GIS (Geographic Information System), sia per quanto riguarda i database da utilizzare, sia per quanto riguarda la messa a punto della metodologia per ottenere le mappe di vulnerabilità. Da questo punto di vista, si è dapprima individuata l'area di studio, come un quadrato di ampiezza compresa tra i 5 e i 20 km, centrato sullo stabilimento, e quindi la si è suddivisa in maglie, ancora quadrate, con lato compreso tra i 50 e i 500 m, avendo cura di usare una magliatura più fitta nella zona più prossima allo stabilimento. L'ambiente è stato caratterizzato con riguardo alle sue tre componenti, umana, relativa all'ambiente naturale e all'ambiente antropizzato, individuando per ogni tipologia varie categorie di "target", come riportato in Tabella 4.

Tabella 4: Categorie e tipologie di bersagli utilizzati nella metodologia ARAMIS

Categoria	Sigla	Categoria	Sigla	Categoria	Sigla
Umana	H	Ambiente	E	Beni	M
Lavoratori dell'impianto	H ₁	Aree agricole	E ₁	Impianti	M ₁
Popolazione residente	H ₂	Aree naturali	E ₂	Infrastrutture pubbliche	M ₂
Centri di vulnerabilità	H ₃	Parchi ed aree protette	E ₃	Strutture private	M ₃
Utenti vie di comunicazione	H ₄	Corpi d'acqua e lagune	E ₄	Strutture pubbliche	M ₄

Si è quindi messa a punto una procedura atta a determinare, in modo completamente automatizzato, i "target" presenti in ogni maglia: per agevolare i confronti tra "target" di natura diversa essi sono stati quantificati utilizzando variabili adimensionali, con valori compresi tra 1 (massima presenza del bersaglio in esame) e 0 (assenza del bersaglio in esame). I database di partenza utilizzati, disponibili per tutti i Paesi della UE, sono stati Corine Land Cover [7] per i target E_1 , E_2 , E_4 , M_1 , M_2 , M_3 , M_4 ; TeleAtlas [8] per i target H_3 e H_4 ; dati censuari per il target H_2 ; dati disponibili dalle Agenzie di Protezione dell'Ambiente [9] per i target E_3 ; per il target H_1 le informazioni sono fornite dall'impianto stesso.

Per caratterizzare la vulnerabilità globale dell'ambiente si sono valutati, separatamente, gli effetti dovuti a onda d'urto, radiazione termica, nube tossica e inquinamento in termini di impatto fisico, economico e psicologico, utilizzando il metodo Saaty [10] di prioritizzazione gerarchica basato sul giudizio di una trentina di esperti di diversa provenienza culturale e geografica: ciò ha consentito di ottenere i pesi da attribuire alle singole tipologie di target ed ai target di diversa natura (per ulteriori dettagli si veda [2]).

L'applicazione di questa metodologia consente di ottenere mappe di vulnerabilità sia per la singola tipologia di target, sia globali, eventualmente riferita alla tipologia di rischio presente (onda d'urto, radiazione termica, ecc.) da confrontare con analoghe mappe relative al rischio, ottenibili in base alle informazioni relative ai top events, alle loro probabilità di accadimento ed alle loro conseguenze.

La Figura 5 mostra, a titolo di esempio, la mappa relativa alla vulnerabilità umana (target H) per un sito industriale: l'area di studio misura 20 km x 20 km ed è suddivisa in maglie da 500 m di lato; la parte più interna di 2 km x 2 km, centrata sullo stabilimento, è suddivisa in maglie da 50 m di lato.

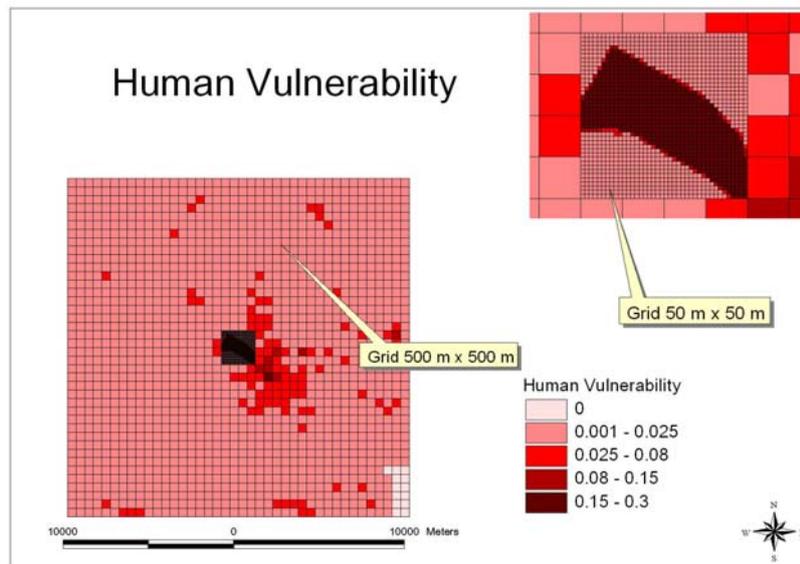


Figura 5. Mappa della vulnerabilità umana

In linea di principio, questa metodologia, pur con i necessari correttivi, sembra applicabile anche al problema in esame: tra i suoi vantaggi, l'uniformità delle fonti utilizzate, la completa automatizzazione della procedura, che ne rende possibile l'utilizzo anche a non esperti, la possibilità di inserire manualmente, anche in tempi successivi, informazioni aggiuntive (ulteriori centri di vulnerabilità non censiti da TeleAtlas, infrastrutture critiche, ecc.).

3. VULNERABILITÀ TERRITORIALE INTORNO A STABILIMENTI RIR

Nella messa a punto di un approccio volto a caratterizzare la vulnerabilità territoriale intorno ad impianti a rischio di incidente rilevante con riferimento all'eventualità di attacchi terroristici sembra preliminarmente opportuno concentrare l'attenzione sui "bersagli" umani. Se l'obiettivo di un attacco è quello di scatenare il terrore provocando un top event di gravità catastrofica, la distinzione tra lavoratori dell'impianto e popolazione che si trova all'esterno del sito perde di importanza, poiché la "riuscita" dell'attacco dipenderà principalmente dal numero totale di morti ad esso associato e la presenza di bersagli "sensibili" (soprattutto scuole, ospedali, centri commerciali) può incrementarne la "visibilità". Per tale ragione sembra importante caratterizzare la vulnerabilità del territorio tenendo presente tutte le tipologie di persone presenti nell'area, dai lavoratori dello stabilimento, ai residenti, alle persone che si trovano in centri di vulnerabilità, a quelle in transito su viabilità stradale o ferroviaria suscettibile di essere interessata agli effetti del top event.

Nell'applicazione della metodologia ARAMIS alla valutazione della vulnerabilità territoriale in caso di attacco terroristico ad un impianto RIR si è quindi fatto riferimento alla sola vulnerabilità umana. In base alla consultazione del team multinazionale di esperti, nel progetto ARAMIS si è pervenuti alla seguente valutazione della vulnerabilità umana V_H :

$$V_H = 0.265 H_1 + 0.383 H_2 + 0.223 H_3 + 0.129 H_4 \quad (1)$$

a partire dai fattori di quantificazione dei target:

H_1 = fattore di quantificazione del personale dello stabilimento;

H_2 = fattore di quantificazione della popolazione residente;

H_3 = fattore di quantificazione delle persone nei centri di vulnerabilità;

H_4 = fattore di quantificazione delle persone in transito su viabilità stradale e ferroviaria.

Per semplicità, si è mantenuta l'area di studio "base" del progetto ARAMIS, descritta in precedenza: nel caso in cui si possa escludere il rilascio di nubi tossiche e quindi con distanza di sicuro impatto presumibilmente inferiore ai 3000 m, l'attenzione sarà focalizzata su una porzione centrale di dell'area di studio di ampiezza 10 km x 10 km.

Per ogni maglia della zona di studio, i fattori di quantificazione di cui sopra sono calcolati rapportando il numero di persone, di ogni tipologia, presenti in ogni maglia della zona di studio al numero di persone massimo ipotizzabile per quella tipologia [x]. A titolo di esempio, per il personale dello stabilimento si è considerata una densità di 100 lavoratori/km², per i residenti una densità di popolazione di 15000 abitanti /km², per i centri di vulnerabilità un affollamento di 5000 persone, per le persone in transito sulla viabilità un massimo di 5000 persone/km². In tal modo per ogni tipologia di target considerato si ottengono valori dei fattori di quantificazione compresi tra 0 e 1: quest'ultimo valore viene attribuito quando il numero di persone è pari (o in casi rarissimi, superiore) a quello massimo ipotizzato per quella tipologia.

3.1 Reperimento dei dati

I dati di interesse sono stati reperiti dalle seguenti fonti:

- Localizzazione dell'impianto: database dell'ISPESL, integrato da verifiche mediante foto satellitari (Google Earth e/o Visual Map) e, in alcuni casi, dai dati riportati sulle schede di informazione alla popolazione reperibili presso i Comuni sul cui territorio è situato l'impianto RIR;
- Personale dell'impianto: dati riportati sulle schede di informazione alla popolazione reperibili presso i Comuni sul cui territorio è situato l'impianto RIR;
- Popolazione residente: dati Istat, a livello delle località abitate, del censimento 2001;
- Centri di vulnerabilità: dati TeleAtlas, per alcune tipologie (ospedali, stazioni, fiere e centri commerciali, uffici pubblici, camping, centri sportivi, cinema, teatri, luoghi di culto); dati del Dipartimento della Protezione Civile, per le scuole;
- Utenti delle vie di comunicazione: dati TeleAtlas per i percorsi e la classificazione della viabilità: le persone in transito sono valutate in base alle caratteristiche delle singole porzioni di strada/ferrovia che ricadono in ogni maglia, assumendo delle densità lineari variabili tra 500 persone/km per la viabilità urbana e 20 persone/km per la viabilità locale.

3.2 Valutazione della vulnerabilità

Per valutare la vulnerabilità umana è stata utilizzata direttamente la procedura ARAMIS, in forma di "tool" GIS predisposto con il software ArcView 3.2a [11]. Si è quindi proiettata la griglia relativa all'area di studio, centrata sulle coordinate dello stabilimento e si sono intersecati i tematismi di interesse con la griglia, per elaborare tutte e sole le informazioni relative alle singole maglie dell'area di studio, determinando prima i fattori di quantificazione per i singoli target e, infine, i valori della vulnerabilità. La procedura è stata applicata al territorio circostante 18 siti RIR nel Lazio, selezionati tra quelli che presentano gli inventari maggiori di sostanze tossiche e/o infiammabili.

Tenuto conto dei pesi, di cui all'eq.1, e della effettiva distribuzione delle persone nel territorio circostante uno stabilimento RIR che, seppure talvolta situato all'interno di una località abitata non si trova comunque all'interno di una zona urbana ad elevata densità di popolazione, nell'applicazione della metodologia il valore della vulnerabilità V_H non raggiunge il valore unitario, ma si mantiene solitamente al di sotto di 0.5.

Si è quindi fatto riferimento alla seguente scala di vulnerabilità:

- Molto alta: $V_H > 0.2$;
- Alta: $0.08 < V_H < 0.2$;
- Significativa: $0.03 < V_H < 0.08$;
- Bassa: $0.01 < V_H < 0.03$;
- Molto bassa: $V_H < 0.01$.

La Figura 6 confronta i risultati ottenuti per alcuni siti in cui sono presenti sostanze tossiche (ampiezza area di studio 20 x 20 km).

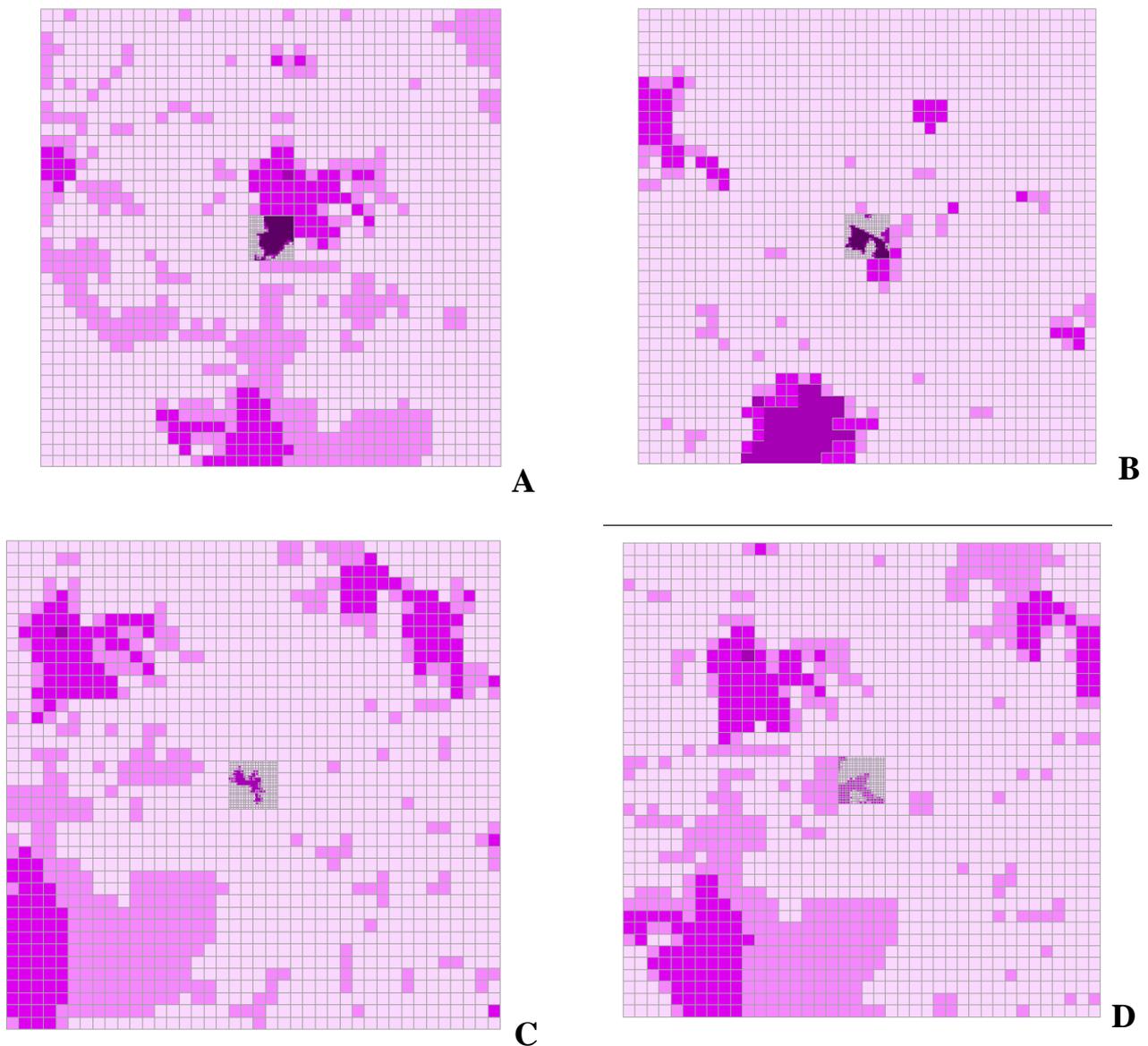


Figura 6. Mappe della vulnerabilità umana per quattro siti RIR del Lazio in cui sono presenti sostanze tossiche: ampiezza dell'area di studio 20 km x 20 km, magliaatura principale 500 x 500 m

Dall'esame di quanto mostra la Figura 6 si può preliminarmente osservare come le vulnerabilità dei territori adiacenti impianti RIR si presentino molto differenziate. Nelle situazioni rappresentate in Figura 6A e 6B la

zona a maggiore vulnerabilità è proprio quella più vicina all'impianto, ossia quella che più facilmente potrebbe ricadere all'interno della distanza di "sicuro impatto". Tuttavia, non occorre trascurare la circostanza che la possibile estensione di una nube tossica (eventualità possibile per tutti i siti di cui alla Figura 6) può andare ad interessare, in casi particolarmente gravi, anche zone più distanti dallo stabilimento. Da questo punto di vista, la vulnerabilità della zona circostante l'impianto rappresentato in Figura 6B può essere ritenuta, mediamente, inferiore rispetto a quelle rappresentate nelle Figure 6C e 6D, salvo nel caso in cui la direzione prevalente del vento sia tale da spingere la nube verso la zona densamente abitata collocata a sud ovest. In particolare, osservando le mappe di Figura 6C e 6D si può notare come le due mappe si riferiscano, sostanzialmente, al medesimo territorio, su cui insistono due impianti vicini. Nei due stabilimenti, oltre a sostanze tossiche sono presenti anche infiammabili, cosa che rende possibile, in linea di principio, che si verifichino effetti domino; tuttavia, la distanza tra i due stabilimenti (circa 3 km, come mostra la Figura 7) è tale da rendere improbabili questo tipo di incidente, anche in presenza di un top event particolarmente catastrofico come quello che potrebbe essere innescato da un attacco terroristico.

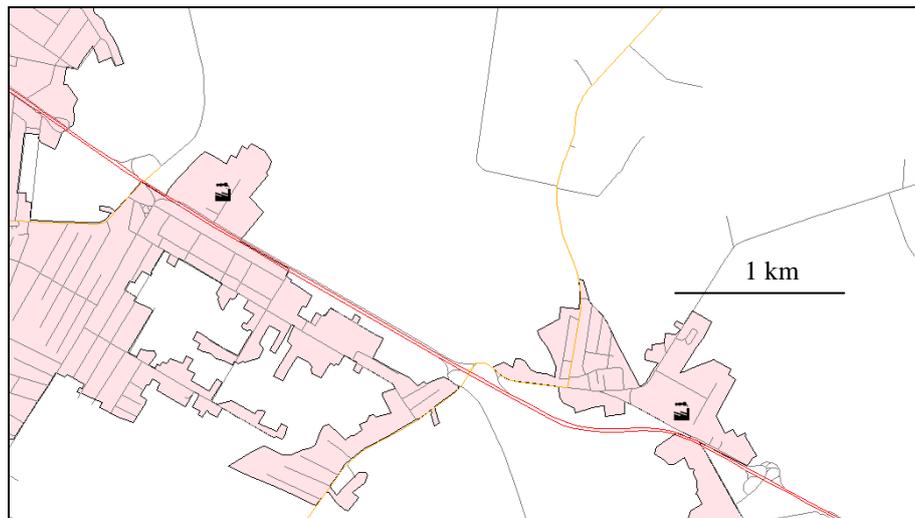


Figura 7. Localizzazione degli stabilimenti di cui a Figura 6C e 6D

La Figura 8 mostra invece la situazione per alcuni siti in cui sono presenti esclusivamente sostanze infiammabili: anche in questo caso, la situazione si presenta molto differenziata tra un caso e l'altro: per i siti rappresentati in Figura 8A e 8B le zone a maggiore vulnerabilità è quella più prossima all'impianto. Andando a confrontare nel dettaglio la vulnerabilità del territorio circostante, si nota come la situazione peggiore sia quella presentata nella Figura 8B, seguita da quelle nelle Figure 8A e 8C, mentre quella rappresentata nella Figura 8D pare presentare una vulnerabilità decisamente inferiore alle altre.

I risultati ottenuti per gli 8 siti campione esaminati mostrano come l'applicazione della metodologia ARAMIS tal quale, limitandosi alla considerazione della sola vulnerabilità umana, fornisca una rappresentazione utile a visualizzare, in modo omogeneo ed uniforme per i diversi stabilimenti, la vulnerabilità del territorio circostante. Questo strumento sembra quindi certamente idoneo ad indagini preliminari volte a comparare la vulnerabilità territoriale attorno ai siti RIR, consentendo di individuare gli stabilimenti dove le conseguenze di un attentato terroristico, in termini di vite umane, sarebbero più gravi. Da questo punto di vista, va rimarcato come i top events in grado di portare alla formazione di una nube tossica, anche se potenzialmente di elevata gravità, per l'estensione della zona di danno e le maggiori distanze che essa raggiunge, rispetto alla localizzazione dell'impianto, potrebbero rivelarsi, paradossalmente, meno pericolosi, in termini di decessi, rispetto a quelli che coinvolgono sostanze infiammabili. Infatti, in gran parte dei casi, il ricovero al chiuso costituisce una efficace misura di protezione nei confronti di una nube tossica ed il tempo che intercorre tra il verificarsi del top event e l'effettivo spostamento della nube verso le zone circostanti dovrebbe consentire, nella gran parte dei casi, di allertare il personale dell'impianto ed i residenti con sufficiente anticipo. Al contrario, un evento quale un'esplosione, se causato da un attacco terroristico, non consente di lanciare l'allarme in tempi utili a limitare il numero delle vittime.

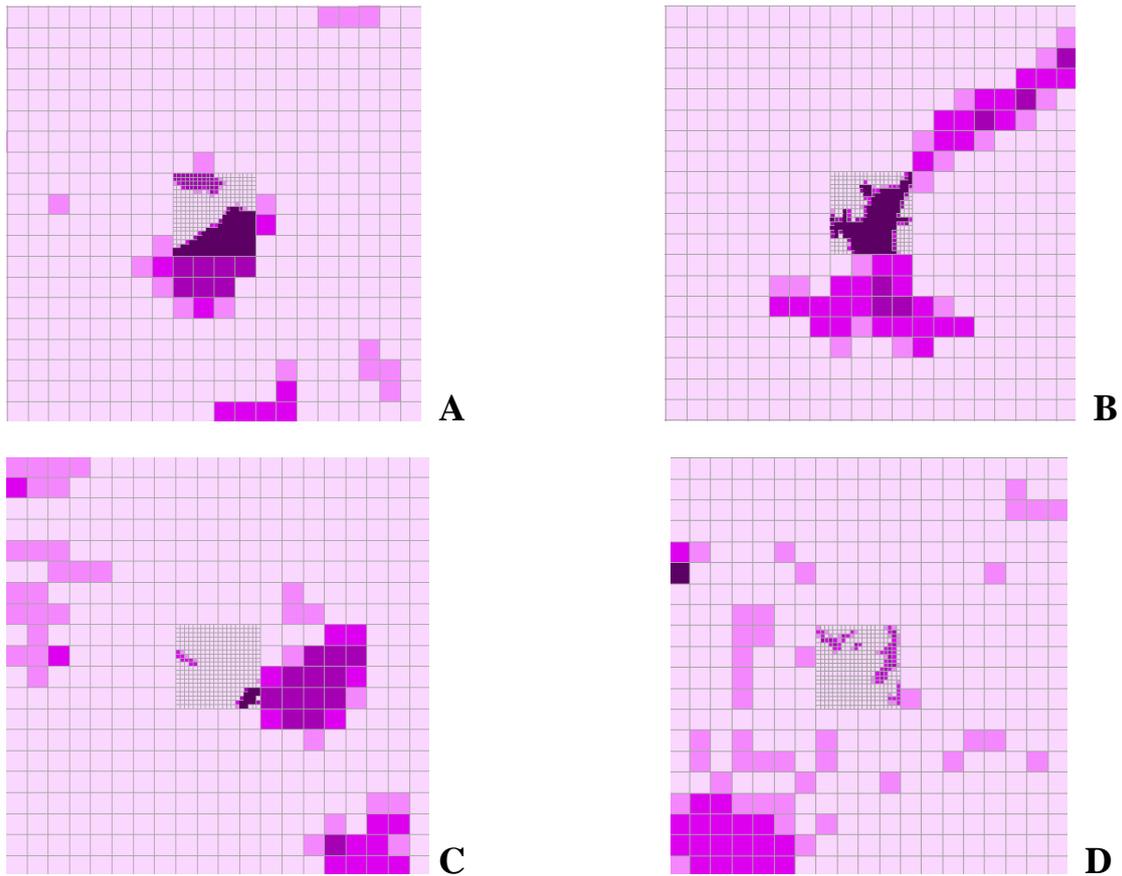


Figura 8. Mappe della vulnerabilità umana per quattro siti RIR del Lazio in cui sono presenti esclusivamente sostanze infiammabili: ampiezza dell'area di studio 10 km x 10 km, magliatura principale 500 x 500 m

Va infine rimarcato come la metodologia ARAMIS possa essere modificata per consentire di visualizzare, anziché la vulnerabilità umana (eq.1) ricavata dai fattori di quantificazione delle diverse tipologie di target, direttamente il numero di persone, localizzate nei centri di vulnerabilità, la densità di popolazione riferite al km^2 , per i lavoratori del sito e la popolazione residente, ovvero la densità di popolazione per km lineare, nel caso di utenti delle vie di comunicazione. La Figura 9 confronta, a titolo di esempio, le mappe ottenute per un sito RIR utilizzando queste informazioni (9A) e la vulnerabilità umana, come definita nel progetto ARAMIS (9B): si può notare come le mappe siano perfettamente confrontabili, ma la “leggibilità” della mappa risulti più immediata utilizzando la metodologia ARAMIS.

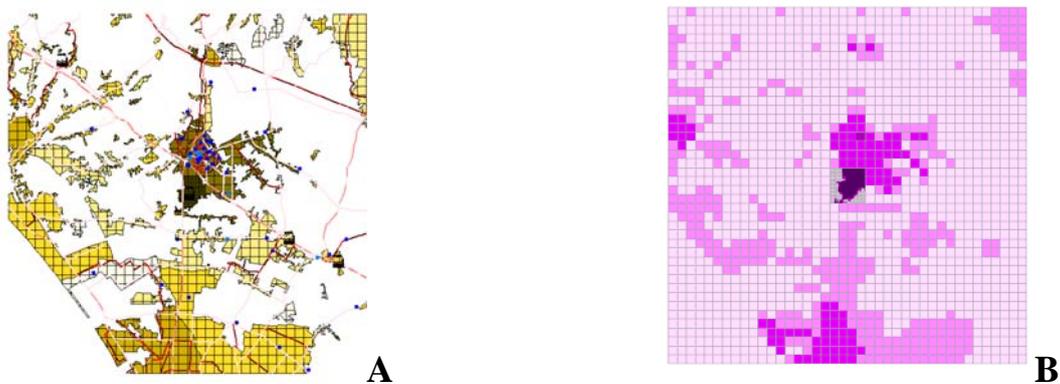


Figura 8. Confronto tra mappe “assolute” e di vulnerabilità umana

4. CONCLUSIONI

La metodologia ARAMIS si è confermata un valido strumento per valutare rapidamente e in modo omogeneo la vulnerabilità del territorio circostante siti RIR. La possibilità di analizzare, con il medesimo grado di accuratezza, porzioni di territorio sia piccole che di estensione anche notevole (400 km²) in modo automatico ne costituisce la peculiarità più importante nell'applicazione relativa alla valutazione della vulnerabilità a scenari particolarmente catastrofici quali quelli attesi in caso di attacco terroristico. L'utilizzo di informazioni facilmente reperibili e modificabili/integrabili è un altro punto di forza della metodologia che non ne limita l'applicabilità "una tantum", ma consente di aggiornare la valutazione in modo rapido ogni volta che ciò sia necessario o opportuno. Le mappe di vulnerabilità che si ottengono sono direttamente utilizzabili per "screening" preliminari, volti a stabilire le priorità di interventi di Protezione Civile per contrastare questa minaccia, ma le informazioni dettagliate, comunque disponibili in "background" e quindi facilmente visualizzabili, possono essere utilizzate, anche per predisporre piani con cui fronteggiare una possibile emergenza legata ad un attacco terroristico ad uno stabilimento a rischio di incidente rilevante.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia l'ing. R.Zamputti per la collaborazione all'elaborazione dei dati. Sul tema della prevenzione del rischio di attacchi terroristici ad impianti a rischio di incidente rilevante è attiva una convenzione tra il Dipartimento della Protezione Civile e il CONPRICI (CONSORZIO Interuniversitario per la Prevenzione e la Protezione dai Rischi Chimico-Industriali), consorzio di cui fa parte l'Università di Roma "La Sapienza".

RIFERIMENTI

- [1] APAT – Ministero dell'Ambiente e delle Tutela del Territorio, Mappatura del rischio industriale in Italia, 2002, Rapporti 22/2002, APAT, Roma.
- [2] Tixier, J., Dandrieux, A., Dusserre, G., Mazzarotta, B., Silveti, B. e Bubbico, R. Environmental vulnerability assessment in the vicinity of an industrial site in the frame of ARAMIS European project", *Journal of Hazardous Materials*, 130, No. 3, 2006, pp. 251-264.
- [3] U.S. Department of Justice, A method to assess the vulnerability of U.S. chemical facilities, NIJ Special Report, 2002, U.S. Department of Justice, Washington.
- [4] Toninelli R., Colombo S., Galatola E. e Mari R., La metodologia Hermes per la valutazione del rischio security, VGR 2006, Pisa 17-19/10/2006.
- [5] CONPRICI, Attacchi terroristici e sabotaggi ad impianti ed infrastrutture industriali e commerciali interessati dalla presenza e dal transito di sostanze chimiche pericolose, Prima relazione annuale, 2007, Pisa.
- [6] DPC, Pianificazione dell'emergenza esterna degli stabilimenti industriali a rischio di incidente rilevante - Linee guida, 2004, DPC, Roma.
- [7] Ministero dell'Ambiente, 2005: <http://www.pcn.minambiente.it/pcn.default.html>.
- [8] TeleAtlas B.V. "Roadnet", 1996.
- [9] APAT, 2005 informazioni disponibili su: <http://www.sinanet.it/progettoIFFI>.
- [10] Saaty, L., *Décider face à la complexité: une approche analytique multicritères d'aide à la décision*, 1984, Collection Université – Entreprise, Entreprise Moderne d'édition, Paris.
- [11] ESRI, ArcView GIS 3.2a for Windows, 2000.