

GRANDI AREE INDUSTRIALI A RISCHIO E CRITICITÀ PRESENTI NELLA PIANIFICAZIONE DELL'EMERGENZA ESTERNA D'AREA

F. Colcerasa¹, M. Greco¹, G. Spadoni^{2,3}

1 Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Settore Rischio Industriale, Servizio rischio industriale, energetico, nucleare e trasporti, Ufficio rischi antropici, Via Ulpiano, 11, Roma, 00193, Italia

2 CONPRICI, Consorzio Interuniversitario Prevenzione e Protezione dai Rischi Chimico Industriali, Centro di Competenza del Dipartimento della Protezione Civile, via Diotisalvi 2, Pisa, 56126, Italia

3 Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie ambientali, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, via Terracini, 28, Bologna, 40133, Italia

SOMMARIO

L'articolo presenta gli elementi principali di uno dei progetti di ricerca che il Dipartimento di Protezione Civile ha affidato al Consorzio Interuniversitario CONPRICI, Centro di Competenza del Dipartimento, nel 2006. Il progetto, giunto temporalmente alla metà del proprio percorso, riguarda la pianificazione dell'emergenza esterna in grandi aree industriali la cui esecuzione richiede di porre attenzione alla identificazione e valutazione di alcuni elementi maggior-mente critici a causa della molteplicità delle realtà industriali presenti nell'area. Si citano il censimento degli elementi vulnerabili e dei bersagli di effetto domino, gli scenari incidentali derivanti sia da effetto domino sia da prodotti anomali di decomposizione o combustione, la presenza e l'entità dei trasporti di sostanze pericolose che contribuiscono in maniera significativa al rischio di incidente rilevante. Sono riassunti gli studi già eseguiti su questi temi le cui linee di sviluppo, già in fase di elaborazione, riguardano la predisposizione di linee guida ed al loro inserimento in un documento di pianificazione complessiva d'area che risponda alle esigenze d'indirizzo nazionale del Dipartimento di Protezione Civile.

1. INTRODUZIONE

Nel 2006 il Dipartimento della Protezione Civile e CONPRICI (Consorzio Interuniversitario per la Protezione e Prevenzione dai Rischi Chimico – Industriali), che del Dipartimento è Centro di Competenza, hanno stipulato un accordo di ricerca su 4 progetti di interesse nazionale riguardanti gli stabilimenti a rischio di incidente rilevante, uno dei quali riguarda la pianificazione dell'emergenza esterna in grandi aree industriali. Lo scopo del progetto triennale, così come definito dall'accordo, è "l'individuazione e la definizione dei criteri nonché la predisposizione di linee guida per lo sviluppo di uno schema specifico di piano per la gestione delle emergenze in queste aree nonché la sua applicazione, a titolo dimostrativo, ad un'area industriale complessa assunta quale caso di studio".

Nelle aree in oggetto la compresenza di numerosi stabilimenti, il conseguente elevato flusso di merci pericolose da/a gli stabilimenti e le interazioni tra essi comporta da un lato la necessità di considerare un numero di scenari incidentali di riferimento ben superiore a quello risultante dalla pura sommatoria di quelli riconducibili alle singole unità di stabilimento, dall'altro di essere in grado di valutare al meglio l'impatto di scenari complessi sugli elementi vulnerabili del territorio. Sono ad esempio necessari approfondimenti specifici riguardanti sia le zone di impatto da eventi di propagazione (effetto domino) e dal rilascio di sostanze pericolose generate in condizioni incidentali sia gli scenari incidentali e le zone di impatto derivanti del trasporto di sostanze pericolose nell'area. Ne consegue che la stesura esaustiva e dettagliata delle linee guida richieste deve comprendere necessariamente altri prodotti quali criteri e linee guida per il censimento della vulnerabilità territoriale rispetto al coinvolgimento della popolazione in incidenti rilevanti e per la valutazione di: - zone di impatto da effetto domino, - vulnerabilità territoriale relativa.

Prima di presentare in maniera sufficientemente esaustiva alcune delle direttrici di lavoro (attività) previste dal Progetto si desidera sottolinearne alcuni aspetti qualificanti. In prima istanza si osserva che la predisposizione del Progetto è il risultato coordinato delle attività dei gruppi di tutte le Università del

Consorzio (Bologna, Milano, Padova, Pisa, Roma La Sapienza, Napoli e Messina) e che tale predisposizione poggia, per la definizione sia degli elementi già svolti sia di quelli non ancora affrontati, sulla base documentale costituita dalle “Linee guida per la pianificazione dell’emergenza esterna agli stabilimenti...” del Dipartimento di Protezione Civile [1] e sulla letteratura nazionale ed internazionale, in questo caso anche e soprattutto per gli argomenti innovativi oggetto degli approfondimenti specifici sopra citati. Infine in accordo con il Dipartimento sarà effettuata la definizione ultima di alcune scelte qui descritte dovendo questa giungere a valle del confronto, indispensabile, con altri studi attualmente in corso presso il Dipartimento.

Le attività che sono descritte nel seguito rispondono, come già osservato, all’esigenza di ottenere quali specifici prodotti principali criteri e linee guida per temi specifici: quelle qui presentate riguardano la vulnerabilità territoriale e gli scenari incidentali della pianificazione, trasporti inclusi.

2. CARATTERIZZAZIONE (CENSIMENTO) DELLA VULNERABILITA’ TERRITORIALE

In sintesi, il censimento della vulnerabilità territoriale si articola nelle seguenti fasi: - individuazione e delimitazione dell’area di studio; - censimento della vulnerabilità riferita alle persone; - censimento della vulnerabilità riferita ad attività industriali e infrastrutture; - censimento della vulnerabilità riferita all’ambiente. Lo strumento di lavoro è necessariamente la cartografia GIS e, in particolare, lo sono le coperture predisposte nel corso del progetto. Si sottolinea ancora che i riferimenti normativi, ove richiesti, sono e debbono essere quelli delle Linee guida del DPC.

L’espansione di ciascuno dei punti pone in evidenza quali sono i criteri che ne hanno costituito la base.

2.1 Individuazione e delimitazione dell’area di studio (provvisoria e definitiva)

Preliminare alla definizione dell’area di studio è la definizione dell’area delle sorgenti di rischio, con tale termine intendendosi l’insieme delle possibili strutture in cui possano localizzarsi scenari incidentali rilevanti. Tra queste sorgenti, oltre agli stabilimenti industriali limitrofi, debbono essere ricompresi anche i fasci di smistamento e i porti connessi nonché le vie di trasporto da/agli stabilimenti (per strada, ferrovia, navi, condotte) in quanto sede di trasporto di merci pericolose, in altri termini tutto quanto occorre movimentare per rispondere alle esigenze produttive dell’area. E’ quanto si effettua, come è ben noto, nelle analisi quantitative di rischio d’area in cui la perimetrazione dell’area d’indagine, come l’esperienza pregressa dimostra, ha utilizzato criteri diversi, in alcuni casi rispettosi delle scelte delle amministrazioni locali desiderose di conoscere l’entità del rischio entro i propri confini amministrativi, in altri casi definiti dalla conoscenza dal raggio d’azione dello scenario “worst case” [2,3].

Nei criteri adottati, di tipo generale e utilizzati anche per il progetto 1, si è ritenuto di considerare, come primo elemento, la presenza delle diverse tipologie di sostanze pericolose in ognuna delle sorgenti fissando distanze limite diverse in ragione della diversa pericolosità.

Considerando le due categorie principali di sostanze ovvero quelle infiammabili e quelle tossiche, si osserva che, nei quantitative di sostanze infiammabili riscontrabili nella normale pratica, solo raramente l’area potenzialmente interessata da danni significativi da incidenti rilevanti si estende ad una distanza superiore ai 1000 m dal punto di emissione; tale distanza è invece superata, con una certa facilità, dalla dispersione di nubi di sostanze tossiche (specie in presenza di condizioni atmosferiche sfavorevoli alla dispersione) che può raggiungere, e, in rari casi, superare di gran lunga, i 5 km. Ne segue che occorrono estensioni diverse per le aree di studio, in dipendenza dalla tipologia di sostanze presenti negli stabilimenti. Altre considerazioni fanno ritenere non opportuno allargare in modo eccessivo l’ampiezza dell’area di studio (assumendo, ad esempio, un raggio oltre i 10 km) così includendo, nella gran parte dei casi, estese porzioni di aree urbane. Infatti se ne ottiene un notevole aggravio nel reperimento delle informazioni di dettaglio necessarie (ad esempio, relativamente ai centri di vulnerabilità), cui non seguono reali vantaggi in termini di pianificazione dell’emergenza: l’ampio estendersi della zona di impatto presuppone, oltre alla concomitanza di una serie di condizioni sfortunate (peggiore top event prevedibile, mancato intervento dei sistemi di mitigazione, condizioni atmosferiche sfavorevoli alla dispersione), da un lato l’interessamento della sola popolazione nel settore che si trova in quel momento sottovento e dall’altro una grande distanza, allora saranno più lunghi i tempi affinché l’eventuale nube tossica raggiunga effettivamente questi siti e di conseguenza si ha maggiore possibilità di intervento successivamente all’allarme. Soltanto quando i gestori degli stabilimenti nel rapporto

di sicurezza evidenziassero raggi di danno significativamente maggiori sarebbe necessario ridefinire le distanze ipotizzate nella estensione preliminare variando le dimensioni dell'area definitiva. Per la misura delle distanze appare ragionevole, e cautelativo, considerare l'intera area coperta dallo stabilimento e computare le distanze a partire dai confini dello stabilimento stesso: ciò risulta particolarmente importante in caso di zone ad elevata concentrazione di stabilimenti.

In sintesi le dimensioni dell'area di studio risultano dal considerare aree circolari di almeno 1 km dal confine degli stabilimenti (e di fasci di smistamento e altro ovvero di tutte le sorgenti di rischio considerate ai fini dell'analisi), nel caso in cui i top events coinvolgano esclusivamente sostanze infiammabili, e di almeno 7 km dal confine degli stabilimenti, quando i relativi top event coinvolgano il rilascio di nubi tossiche. L'area di studio è quindi fissata in base all'involuppo delle aree coperte dai singoli stabilimenti (nonché dalle altre sorgenti). La figura 1 mostra l'area di indagine che sarà assunta a riferimento per il caso di studio e sulla quale sarà tracciato l'involuppo complessivo. Le informazioni fornite dal Dipartimento e da altre fonti certificate hanno consentito la georeferenziazione, nel GIS messo a disposizione, di tutti gli stabilimenti "Seveso". Nella sua espansione, che sarà richiesta per dettagliare la grande area industriale, saranno inserite le altre sorgenti di rischio caratteristiche al fine di definire l'involuppo complessivo e cioè l'area oggetto di pianificazione.



Figura 1. Mappa dell'area che sarà adottata per il caso di studio (il sito industriale di Ravenna).

Volendo considerare anche gli effetti domino tra stabilimenti, ovvero la formazione di catene incidentali a partire dall'incidente primario (vedi anche par. 3.1) si può affermare che, in linea di principio, la possibilità di effetti domino non modifica sostanzialmente l'ampiezza dell'area di studio, essendo questa definita a partire dal confine degli stabilimenti. E inoltre anche eventuali interazioni domino tra stabilimento e vie di trasporto ricadrebbero nell'area di studio. Si sottolinea tuttavia fin da ora come, in presenza di un effetto domino, acquistano importanza anche altri elementi territoriali: dalle attività produttive presenti nelle zone a rischio, peraltro citate in [1], ad ulteriori elementi che, presenti sul territorio e configurandosi come strutture vulnerabili, sono in grado di propagare a maggiore distanza ulteriori danni. Tra questi elementi si citano, a titolo di esempio, quelli facenti parte della produzione e distribuzione dell'energia elettrica e di altri servizi di pubblica utilità, come acqua e gas.

2.2 Censimento della vulnerabilità riferita alle persone

La parte più importante di queste informazioni è costituita dalla distribuzione della popolazione residente a cui devono far seguito le conoscenze dei centri vulnerabilità, così come già previsto dalle Linee guida del Dipartimento. La gestione da parte CONPRICI dei progetti 1 e 2 ha consentito di mettere a punto per entrambi un elenco dei centri di vulnerabilità da considerare in relazione alle loro caratteristiche e di definire una semplice procedura per il calcolo del numero di persone che si stimano coinvolte per l'area di studio noto che l'sia l'involuppo di riferimento (un pulsante ad hoc nel GIS predisposto rende rapidamente

utilizzabile la procedura). E' evidente l'importanza per il Dipartimento della Protezione Civile di conoscere preliminarmente (o in tempo reale) l'entità complessiva dei potenziali coinvolti, in assenza di informazioni specifiche sul sito; per una stima delle persone danneggiate sono necessarie, come è noto, valutazioni di maggior dettaglio delle aree di danno quali quelle che derivano dalla stima delle conseguenze a seguito di ipotesi incidentali precise.

La tabella 1. sottostante riporta i centri di vulnerabilità che si propone di considerare in funzione di una capienza predefinita.

Tabella 1. centri di vulnerabilità

CENTRO DI VULNERABILITÀ	
Ospedali	Supermercati e grandi magazzini
Scuole	Stadi, palazzotti, ippodromi
Università	Centri sportivi
Biblioteche	Luoghi di culto
Monumenti e/o musei	Caserme di Carabinieri e Polizia
Centri commerciali	Cinema, teatri, teatri d'opera, sale concerti
Centri convention e auditorium	Stazioni ferroviarie e della metropolitana
Fiere	Aeroporti
Sedi comunali e uffici pubblici	Imbarchi marittimi
Tribunali	Stabilimenti balneari
Carceri	

Una riflessione ulteriore può essere svolta in merito alla determinazione del numero di persone coinvolte poiché non vi è dubbio che la rilevanza dei centri di vulnerabilità sia maggiore o minore in relazione alla densità abitativa del luogo. Per una discussione più approfondita di tali aspetti si rimanda al Progetto 1; si sottolinea in questa sede che un elevato numero di residenti rende inutile ai fini del calcolo l'inserimento dei centri di vulnerabilità la cui collocazione resta invece importante in relazione alla tipologia di individui in essi presenti (bambini, anziani, ospedalizzati). In caso di flussi di traffico di entità rilevante potrà diventare importante considerare, ai fini dell'indagine, anche la popolazione in transito su strade e linee ferroviarie (densità di popolazione espressa in persone/km).

Da ultimo si segnala che, ai fini di una pianificazione efficace delle emergenze, è apparso molto importante fornire l'informazione relativa alla localizzazione sul territorio delle forze che intervengono nella fase di gestione, quali i vigili del fuoco, le forze dell'ordine (primariamente polizia e carabinieri), la polizia municipale, la protezione civile locale, nonché i presidi ospedalieri (già censiti tra i centri di vulnerabilità).

2.3 Censimento della vulnerabilità riferita ad attività industriali e infrastrutture

Ci si riferisce principalmente alla distribuzione delle zone occupate da attività industriali, alla localizzazione delle infrastrutture relative al trasporto (stazioni, porti, aeroporti) a quella relativa ai collegamenti stradali e ferroviari. Si tratta di caratteristiche che, qualora siano all'interno delle distanze di danno già discusse, costituiscono sia sorgenti di rischio sia potenziali bersagli di danno.

Per quanto riguarda la possibilità che si esplicino effetti domino, l'ampiezza dell'area di studio da considerare è di fatto più modesta alla luce del criterio adottato (distanza di 1 km dal perimetro degli stabilimenti, dovendosi escludere i rilasci di sostanze tossiche come sorgenti primarie) e quindi la quantità di informazioni di maggior dettaglio da reperire localmente (ad esempio, localizzazione di condotte di servizi, ecc.) diminuisce di molto, rendendo meno onerosa questa attività. Va ribadito che la possibile presenza di effetti domino comporta un'estensione dell'analisi anche ad altri elementi territoriali [1], e non soltanto relativamente alla presenza di siti produttivi ma anche ad altri elementi in grado di propagare i danni quali, ad esempio, impianti di produzione e distribuzione dell'energia elettrica e di altri servizi di pubblica utilità, come acqua e gas, impianti e linee dei sistemi di telecomunicazioni, ecc.. Si noti che il coinvolgimento di infrastrutture in effetti domino causati da impianti a rischio di incidente rilevante è relativamente probabile, poiché con una certa frequenza, sono entrambi collocati all'interno di "zone industriali". Il reperimento dei

dati relativi non è, tuttavia, semplice e il lavoro svolto ha dimostrato che strumenti quali i database TeleAtlas e Corine Land Cover, pur utili, non appaiono quindi sufficienti e debbono essere integrati con informazioni di maggior dettaglio da reperire localmente.

2.4 Censimento della vulnerabilità riferita all'ambiente

Gli elementi territoriali e ambientali vulnerabili entrano, come noto, in esplicito nella definizione di incidente rilevante "un evento quale un'emissione, un incendio o un'esplosione di grande entità, dovuto a sviluppi incontrollati che si verificano durante l'attività di uno stabilimento, di cui art.2 comma 1, 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". Appare pertanto indispensabile, nel contesto di una grande area, fornire gli elementi essenziali di caratterizzazione dell'ambiente. Estruendo dal database Corine Land Cover, si possono caratterizzare gli usi del suolo, con riferimento a terreni agricoli (seminativi, colture permanenti, prati stabili, zone agricole eterogenee); territori boscati e ambienti semi naturali (zone boscate, caratterizzate da vegetazione arbustiva, aperte); zone umide (zone umide interne e zone umide marittime).

3. GLI SCENARI INCIDENTALI DELLA PIANIFICAZIONE D'EMERGENZA ESTERNA D'AREA (PEEA)

I presupposti di una pianificazione richiedono che, per ogni scenario incidentale ipotizzabile a seguito di un incidente, la modellazione predittiva fornisca una stima della distribuzione degli effetti fisici che colpiscono i bersagli (uomo e strutture). L'origine degli eventi incidentali, le tipologie di scenari e la loro modellazione fisico-matematica sono temi tecnico-scientifici che debbono costituire la base sia della formazione specialistica degli analisti di rischio, cui spetta tipicamente il compito di predisporre i rapporti di sicurezza, sia della cultura tecnica di coloro che, per ruolo istituzionale o meno, attuano o sovrintendono all'attuazione di misure gestionali e/o tecnologiche di riduzione del rischio e pianificazione dell'emergenza. Per queste ragioni nel contesto del Progetto qui riferito è apparso necessario rivisitare questi temi, puntualizzandone alcuni aspetti specifici di definizione e valutazione delle *aree di danno* che hanno valenza generale indipendentemente dal contesto di lavoro. Il tracciamento di tali aree può essere effettuato sia adottando le relazioni tra soglie di riferimento dell'effetto fisico e danno proposte in [1] sia avendo a riferimento, per gli individui, alcuni livelli di probabilità di decesso desunti dall'utilizzo delle equazioni di probit, ben note nel contesto delle QARA (Quantitative Area Risk Analysis) [2, 3] e recentemente utilizzate anche per il cedimento di strutture: a titolo esemplificativo si citano le equazioni di probit per cedimento di serbatoi a causa di incendio esterno [4].

Con riferimento ad una grande area, le sorgenti di rischio - gli stabilimenti industriali e le infrastrutture dei trasporti pericolosi - sono la sede dei possibili incidenti rilevanti e in localizzazioni specifiche di essi hanno la loro origine le sorgenti degli scenari incidentali. Per quanto attiene agli stabilimenti, per ciascuno la norma di legge prevede l'obbligo di rapporto di sicurezza e a i rapporti di sicurezza si deve quindi fare riferimento per avere informazioni sugli incidenti e sugli scenari incidentali conseguenti ritenuti probabili. La mutua influenza tra stabilimenti a causa di incidenti è tipica del vasto contesto considerato: lo studio dell'effetto domino esterno si presenta perciò fondamentale e critico per queste aree.

3.1 Zone di impatto di eventi di propagazione (effetto domino)

Per "effetto domino" nell'analisi dei rischi industriali si intende in generale un effetto di propagazione di un incidente, a cui normalmente è associata un'amplificazione dei danni causati. In generale all'analisi dell'effetto domino interno (le cui conseguenze, cioè, ricadono all'interno dello stabilimento) si associano difficoltà di natura tecnica, in particolare legate alla disponibilità di metodologie QRA sufficientemente semplici ed affidabili. L'analisi degli effetti domino esterni allo stabilimento pone però anche problemi di natura gestionale, poiché richiede necessariamente uno scambio di informazioni tra aziende potenzialmente concorrenti. E' evidente perciò che lo studio dell'effetto domino tra stabilimenti contigui è strettamente connesso agli studi di rischio d'area ed alle strategie di pianificazione del territorio e se ne ha autorevole testimonianza nelle norme di legge: infatti la Direttiva della Comunità Europea per la prevenzione dei rischi dovuti ad incidenti rilevanti (Direttiva 96/82/EC), recepita in Italia con il D.Lgs. 334/99, richiede esplicitamente l'individuazione dei potenziali effetti domino, in particolare all'esterno dello stabilimento

(articolo 12 del D.Lgs.334/99) e l'effetto domino deve essere considerato anche ai fini dell'analisi della pianificazione territoriale (D.M. 9/5/2001).

Da questa premessa emerge con chiarezza l'importanza dello sviluppo di procedure specifiche che guidino alla preparazione della gestione delle emergenze in caso di incidenti in cui si verifichi "effetto domino" in aree industriali e non vi è dubbio che l'identificazione e valutazione degli stessi è presupposto fondamentale per prepararsi alla sua gestione. A tal fine sono temi da affrontare nelle Linee guida specifiche: - la definizione completa e corretta di "effetto domino", - l'identificazione degli scenari primari, dei vettori di propagazione e dei bersagli secondari ponendo in evidenza l'influenza delle tipologie di effetti. Di essi si fornisce un quadro sintetico.

La definizione più condivisa è la seguente: "la propagazione di un singolo evento incidentale a causarne altri con una severità complessiva maggiore rispetto all'evento primario". L'effetto domino si può quindi schematizzare come un incidente (*evento primario*) che genera un *vettore di effetti fisici* (conseguenze dell'effetto primario) che, investendo uno o più *bersagli secondari* provocano uno o più incidenti secondari (eventi secondari); dai ogni incidente secondario potrebbero poi, a volte, discendere ulteriori *bersagli terziari*. In ogni caso perché si abbia "effetto domino" occorre che la severità complessiva dell'incidente (normalmente valutata con il numero di decessi attesi, N) sia superiore a quella del solo evento primario (in caso contrario, gli eventi secondari possono essere trascurati).

I vettori di propagazione tipici sono tre: - la *sovrapressione* (un'esplosione -evento primario- provoca un'onda di pressione che investendo un'apparecchiatura -bersaglio secondario- la danneggia, generando un evento secondario); - *irraggiamento* (un incendio -evento primario- genera energia termica che investendo un'apparecchiatura -bersaglio secondario- la danneggia, generando un evento secondario); - *proiezione di frammenti* (un'esplosione di un'apparecchiatura -evento primario- proietta frammenti della stessa su di un'apparecchiatura adiacente -bersaglio secondario- provocando un evento secondario). I rilasci tossici non possono causare direttamente "effetto domino", in quanto non provocano il danneggiamento di altre apparecchiature. Tuttavia, possono provocare incidenti secondari se il personale, nel reagire al rilascio, applica procedure non corrette per la messa in sicurezza degli impianti. La possibilità di propagazione di incidenti dovuta a rilasci tossici costituisce un problema a sé. Si deve comunque notare che in Europa e negli Stati Uniti da vari decenni non sono riportati effetti domino causati da rilasci tossici.

Va inoltre notato che la severità dell'evento primario può essere dovuta ad effetti fisici diversi da quelli responsabili della propagazione dello scenario e ciò determina la necessità di tener conto di una differenziazione tra vettori di propagazione degli scenari primari e valutazione della vulnerabilità dovuta agli scenari primari, introducendo un'ipotesi di contemporaneità di effetti fisici diversi che normalmente viene rifiutata nell'analisi di rischio. Quale esempio emblematico si citano "fireballs" dovuti a BLEVEs: il vettore di propagazione è normalmente costituito dalla proiezione di frammenti, mentre la severità dello scenario primario è dovuta all'irraggiamento termico.

In generale, tutti gli scenari primari identificati in una normale analisi di sicurezza hanno la potenzialità di generare un effetto domino. La matrice della tabella 2. identifica, per ogni tipologia di scenario, i possibili vettori di propagazione da considerare quali causa di danneggiamento di apparecchiature secondarie.

Tabella 2. Vettori di escalation e possibili scenari incidentali primari

Scenario primario	Vettore di propagazione
Incendio da pozza	Radiazione, fire impingement
Getto incendiato	Radiazione, fire impingement
"Fireball"	Radiazione, fire impingement
"Flash fire"	Fire impingement
Esplosione meccanica	Frammenti, pressione
Esplosione confinata	Pressione
BLEVE	Frammenti, pressione
VCE	Pressione, fire impingement

Per quanto riguarda gli scenari secondari, la loro tipologia può essere identificata mediante l'applicazione di alberi degli eventi che possono condurre ad una molteplicità di scenari secondari. Fanno eccezione alcune tipologie di incendio (flash fire e fireball) che hanno durata troppo breve per causare il danneggiamento di apparecchiature di processo, con l'eccezione di grandi serbatoi atmosferici, normalmente utilizzati per lo stoccaggio di idrocarburi. Queste apparecchiature sono altamente vulnerabili dal punto di vista strutturale. Per questi scenari, l'unico evento secondario credibile è l'incendio di idrocarburi liquidi a causa del danneggiamento di questi serbatoi.

I bersagli secondari di interesse sono normalmente costituiti da apparecchiature o linee che contengano notevoli quantità di sostanze pericolose (serbatoi, condotte o tubazioni di grande diametro). La loro *identificazione* è normalmente effettuata mediante l'applicazione di criteri basati su soglie di danno, ovvero l'effetto è da ritenersi possibile solo se il valore dell'effetto fisico dovuto al vettore di propagazione è superiore ad un valore di soglia. Tuttavia non c'è nessun accordo in letteratura sui valori di soglia da utilizzare: ad esempio per la sovrappressione, questi variano da 5 a 70kPa e per l'irraggiamento da 5 a 37kW/m²; ancor più vario è il panorama riferentesi alla proiezione dei frammenti; in sintesi attualmente nella letteratura tecnica c'è una grande ambiguità sul tema.

Sul versante normativo il D.M. 15/5/1996 relativo agli stoccaggi di GPL ha introdotto soglie per l'effetto domino che sono state lasciate pressoché inalterate nel successivo D.M. del 9/5/2001 sulla pianificazione territoriale. Ma recenti lavori di ricerca hanno segnalato che le soglie riportate in tabella possono essere, a seconda delle situazioni, largamente conservative o invece assolutamente non conservative. Recentemente un esteso lavoro di ricerca, che ha esaminato i dati su incidenti riportati in letteratura, i risultati di modellazioni specifiche condotte con modelli ad elementi finiti, e risultati sperimentali relativi all'intensità massima dei vettori di propagazione ha portato a suggerire un diverso approccio alla valutazione delle soglie per effetto domino, riassunto nella tabella 3.

Tabella 3. Criteri di escalation e distanze di sicurezza per differenti scenari primari, vettori di propagazione e apparecchiature target.

Scenario primario	Vettore di propagazione	Apparecchiatura Target	Criterio di escalation	Distanza di sicurezza (R _{inh})
"Flash fire"	Radiazione termica	Serbatoio tetto flottante	Ignizione dei vapori	0 m dal bordo ½ LFL
BLEVE (Fireball)	Radiazione termica	Atmosferica	$I > 100\text{kW/m}^2$	25m dal bordo fireball
Getto incendiato*	Radiazione termica	Atmosferica	$I > 15\text{kW/m}^2$	50m dal bordo fiamma
	Radiazione termica	Pressurizzata	$I > 40\text{kW/m}^2$	25m dal bordo fiamma
Incendio da pozza*	Radiazione termica	Atmosferica	$I > 15\text{kW/m}^2$	50m dal bordo fiamma
	Radiazione termica	Pressurizzata	$I > 40\text{kW/m}^2$	15m dal bordo fiamma
VCE	Sovrappressione	Atmosferica	$ME F \geq 6; M_f \geq 0.35$ $P > 22\text{kPa}$	Energy-scaled: 1.75
		Pressurizzata; Colonna	$ME F \geq 6; M_f \geq 0.35$ $P > 16\text{kPa}$	Energy-scaled: 2.10
	Radiazione termica	Serbatoio tetto flottante	Ignizione dei vapori	0.5LFL
Esplosione confinata	Sovrappressione	Tutte	-	20m dall'apparecchiatura
Esplosione meccanica	Sovrappressione	Atmosferici	$P > 22\text{kPa}$	Energy-scaled: 1.80
		Pressurizzati; Colonne	$P > 16\text{kPa}$	Energy-scaled: 2.00
\	Proiezione frammenti	Tutte	Impatto	Distanza: 300m*
BLEVE (esplosione)	Sovrappressione	Atmosferici	$P > 22\text{kPa}$	Energy-scaled: 1.80
		Pressurizzati, Colonne	$P > 16\text{kPa}$	Energy-scaled: 2.00
	Proiezione frammenti	Tutte	Impatto	300m**
Esplosione Solidi, point-source	Sovrappressione	Atmosferici Pressurizzati, Colonne	$P > 22\text{kPa}$ $P > 16\text{kPa}$	Energy-scaled: 1.80 Energy-scaled: 2.00

I: intensità della radiazione termica; P: sovrappressione massima di esplosione. ME = Metodo Multi-Energetico [5]. M_f = Flame Mach number definito nel metodo Baker & Sthrelow per le esplosioni [6]. Energy-scaled = distanza scalata per l'energia dell'esplosione, come da metodologie ME e B&S.

* Propagazione/Amplificazione sempre possibile per apparecchiature target colpite direttamente dalla fiamma, anche parzialmente.

** Valore corrispondente ad una probabilità di impatto inferiore a $5 \cdot 10^{-2}$.

Emerge dalla tabella che le apparecchiature pressurizzate sono più soggette a generare scenari secondari di "effetto domino" rispetto alle apparecchiature atmosferiche. Infatti, la maggiore resistenza strutturale, che rende più difficile il danneggiamento, è compensata dalla capacità di produrre scenari secondari anche a seguito di lievi danni strutturali rispetto a quelli necessari per produrre forti perdite di contenimento nel caso di apparecchiature atmosferiche.

La valutazione dell'effetto domino è di fatto possibile, in termini *deterministici*, utilizzando le distanze di sicurezza riportate nella tabella 3. Si deve ricordare che tali valori rappresentano valori di soglia minimi per la generazione di scenari incidentali e sono quindi da considerarsi conservativi. Pertanto, la procedura è da ritenersi valida per analisi di tipo "Worst Case" e di "Maximum Credible Accident", ma anche, più in generale, per valutazioni di sicurezza intrinseca. I valori di soglia (ultima colonna, distanze di sicurezza) consentono, infatti, di determinare le distanze di separazione tra le apparecchiature, o le zone di impianto, o gli impianti limitrofi tali da poter definire intrinsecamente sicura (i.e. permanentemente presente e con costi nulli) l'assenza di effetto domino, nonché le zone, più vicine alla sorgente primaria, dove sono necessarie barriere passive e/o attive per la mitigazione di fenomeni di propagazione in termini di mitigazione e di prevenzione. D'altro canto, la pianificazione dell'emergenza di aree industriali necessita di ulteriori approfondimenti sugli *aspetti probabilistici* della possibilità di propagazione, a partire dal dato fondamentale della resistenza strutturale dell'apparecchiatura in esame all'energia termica (intensità della radiazione) e all'energia meccanica (pressione d'onda, massa del frammento) delle apparecchiature target nei confronti del vettore di propagazione dell'incidente primario (di cui è nota la probabilità di accadimento). Tali aspetti saranno trattati in un approfondimento successivo.

Gli scenari incidentali secondari possono, come già detto, essere determinati utilizzando alberi dei guasti o degli eventi, ma è importante riconoscere preliminarmente che un incidente dovuto all'effetto domino può caratterizzarsi per: - propagazione di evento iniziatore di limitata gravità, - interazione di "top-events" distinti. Le due tipologie hanno caratteristiche distinte: gli effetti domino del primo tipo, essendo causati da eventi di limitata severità, hanno in generale un ridotto raggio di effetto e in genere contribuiscono ad aumentare il numero di top-events credibili o le relative frequenze all'interno di un singolo impianto; quelli del secondo tipo, essendo causati da eventi già in sé rilevanti, hanno maggiore raggio di danno potenziale. Un esempio di questi ultimi è schematizzato nella Figura 2, che fornisce, per una sezione realistica di impianto, l'entità del vettore di propagazione (e la probabilità) tra due top event distinti.

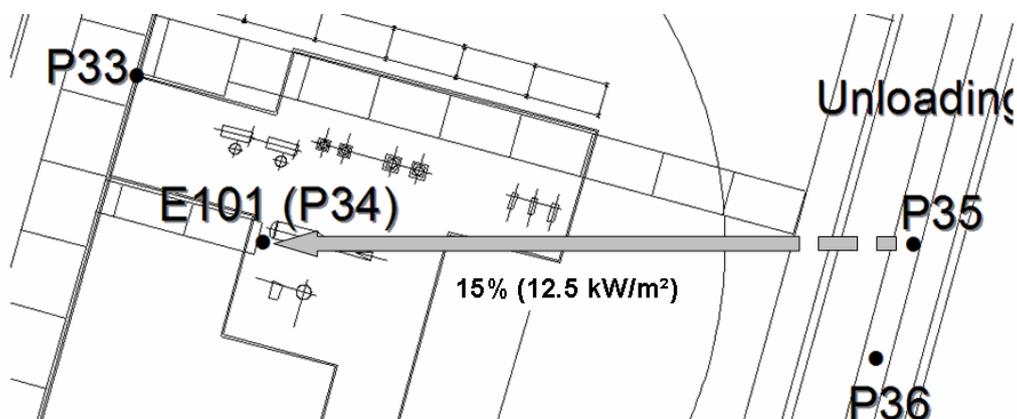


Figura 2. Evento domino del secondo tipo

I metodi per l'identificazione dei due tipi sono diversi: nel primo caso (*propagazione di eventi primari di limitata gravità*) è necessario identificare tutti i possibili eventi iniziatori di limitata gravità (EILG) e occorre perciò ricorrere nuovamente all'analisi di operabilità dell'impianto, revisionando tutti i top-events identificati nell'analisi e considerati di importanza trascurabile dal punto di vista delle conseguenze primarie. Quelli più credibili da questo punto di vista sono in generale i getti incendiati (es. dalla rottura di linee di piccolo diametro) e gli incendi di pozze di liquido (es. dalla perdita di tenute) di limitate dimensioni. Un approfondimento sugli effetti mostra che in larga parte si tratta di cause ulteriori di scenari che dovrebbero essere già stati considerati nei rapporti di sicurezza e quindi trascurabili nell'ottica di nostro interesse.

L'identificazione di scenari incidentali causati da *effetti domino del secondo tipo* derivanti da interazione di più top-events richiede l'individuazione degli incidenti rilevanti "primari" che possono causare effetti domino. Come detto in precedenza, la propagazione dell'incidente primario può avvenire principalmente a causa di tre fattori: l'irraggiamento, la sovrappressione e la proiezione di frammenti. La possibilità di generare un evento secondario deve essere valutata, anche in questo caso, sulla base di "soglie di danno". E' importante notare che, una volta stimata la probabilità di propagazione dell'evento primario, l'analisi delle conseguenze dell'evento secondario può essere effettuata con tecniche convenzionali.

Come è noto, ogni scenario incidentale, una volta che se ne sia eseguita la modellazione, determina un'area di impatto sul territorio di interesse. Nel contesto dell'effetto domino, l'approccio alla determinazione delle zone di impatto è analogo, ma deve tener conto non solo dell'incidente primario, ma anche delle zone di impatto degli incidenti secondari credibili. La zona di impatto di un incidente in cui abbia luogo un effetto domino dovrà quindi essere determinata secondo *l'inviluppo delle zone di danno* dell'evento primario e di tutti gli eventi credibili che ne derivano. La zona inviluppo è di immediata determinazione quando gli eventi secondari sono dello stesso tipo (incendi di pozza, "fireballs", etc.), poiché i valori delle soglie di danno necessari per effettuare la mappatura sono omogenei. Nel caso di scenari diversi, appare invece opportuno introdurre una tabella di equivalenza tra effetti fisici diversi sulla base delle analogie degli effetti. A tal fine potrebbero essere utilizzata la tabella presente nelle Linee Guida [1], avendo cura, per evitare risultati eccessivamente conservativi e non realistici, di determinare la "credibilità" degli eventi secondari secondo modelli specifici di propagazione (questo aspetto sarà affrontato nella parte successiva del Progetto).

3.2 Zone di impatto da emissione di composti anomali di decomposizione e combustione

Secondo la normativa europea sui rischi di incidente rilevante (e la sua trasposizione italiana) i prodotti "che possono ragionevolmente ritenersi generati in caso di incidente" debbono essere inclusi nell'inventario dell'impianto in esame. Si riconosce cioè che la severità di alcuni incidenti può aumentare significativamente anche e soprattutto a causa di prodotti generati aventi una pericolosità maggiore di quella dei reagenti. Necessariamente l'argomento riveste importanza nel contesto di un Progetto che richiede una conoscenza quantitativa degli scenari incidentali.

Secondo il classico approccio scientifico, si è provveduto ad esaminare dapprima la letteratura specialistica, ottenendone che: - sono disponibili in letteratura informazioni di dettaglio relative a sperimentazioni su alcune sostanze pericolose formate in condizioni accidentali; - sono stati effettuati in passato diversi studi finalizzati allo sviluppo di metodologie sistematiche per l'identificazione delle sostanze pericolose la cui formazione è possibile in un sistema chimico di cui sia nota la composizione iniziale.

Sulla base delle informazioni acquisite, la procedura di lavoro definita e tuttora in svolgimento prevede 3 fasi:

fase 1: analisi e sistematizzazione delle informazioni acquisite. Consta di:

- 1.a definizione preliminare delle voci specifiche di una scheda informativa di dettaglio,
- 1.b riempimento della medesima per:
 - sostanze pericolose di cui è stata reperita una documentazione informativa sulla letteratura specialistica;
 - sostanze pericolose nominate nella Parte I dell'all.1 della SEVESO III.

fase 2: definizione di un metodo predittivo per la generazione di sostanze pericolose:

trattasi di un metodo basato sulla schematizzazione dei sistemi chimici mediante un numero limitato di macro-componenti reagenti e da un numero limitato di sostanze o macro-componenti pericolosi potenzialmente prodotti dalla perdita di controllo del sistema. Le informazioni predittive ottenibili, la cui procedura sarà descritta in dettaglio, consentono da un lato di formare una base semplificata utile per uno screening di massima del mutamento dello scenario incidentale eventualmente previsto nell'analisi e dall'altro di completare la scheda informativa di ciascuna delle sostanze di cui alla fase 1.

fase 3: sviluppo di un protocollo sperimentale di riferimento per l'identificazione e stima quantitativa delle sostanze pericolose prodotte a seguito di incidenti o di deviazioni di processo che coinvolgano quali reagenti le sostanze/miscele definite pericolose ai sensi della normativa vigente.

In generale, è possibile ipotizzare che la sostanza sperimentalmente indagata possa dare origine accidentalmente ad una decomposizione termica o prendere parte ad un processo di combustione. La caratterizzazione dei prodotti per queste due tipologie incidentali richiede approcci e impegno diversi, dal momento che, a differenza della combustione che origina in massima parte sostanze gassose, la decomposizione termica di sostanze organiche comporta in genere la formazione sia di gas sia di miscele di composti in fase condensata di più difficile separazione e identificazione. Nell'ambito del protocollo stesso sarà prevista la possibilità di effettuare preliminarmente uno screening, basato sull'impiego di misure di tipo tossicologico (o anche ecotossicologico) globale, che possa consentire di stabilire in quali casi è effettivamente necessario procedere alla risoluzione analitica delle miscele di composti ottenute dalla decomposizione delle sostanze di interesse.

Ad indicazione del procedere del Progetto, si dettagliano, con riferimento alla fase 1.a sopra descritta, i campi della scheda proposta per censire le sostanze di interesse. Il suo riempimento è attualmente in itinere. Riferendosi alla scheda, i diversi campi contengono:

identificazione della sostanza: numero CAS, nome (anche commerciale essendo sufficiente il numero CAS per l'identificazione univoca della sostanza)

uso della sostanza (si tratta dell'uso principale)

classificazione ai sensi del DLgs 238/05

elenco dei prodotti di decomposizione (D)

elenco dei prodotti di combustione (C)

e loro inquadramento secondo il D.Lgs.238/05 dei prodotti D e C

Elenco dei prodotti di combustione previsti con approccio ai macro-componenti

Prodotti decomposizione (D) e combustione (C) come desunti dalla scheda di sicurezza (sezione 10): si fa riferimento a schede specifiche fornite.

Nel caso di diversità tra i contenuti reperiti vale necessariamente quanto desunto dalla letteratura specialistica; le informazioni della scheda di sicurezza possono essere completate, in assenza di dati specifici, da quelle fornite dal metodo previsionale di cui si è detto.

4. SCENARI INCIDENTALI E TRASPORTO DI SOSTANZE PERICOLOSE

Il tema trasporti di sostanze pericolose in una grande area industriale presenta diversi sottotemi, ciascuno riferito ad un tipologia specifica di trasporto: stradale, ferroviario e navale. Ad essi deve essere aggiunto il sottotema trasporto in condotte anche se, poggiando su di una struttura fissa in cui scorre un fluido, può essere considerato una sorta di "impianto" distribuito sul territorio.

Pur se no sono oggetto specifico di un'analisi del rischio nei trasporti finalizzata alla pianificazione dell'emergenza tuttavia anche gli aspetti normativi della sicurezza nei trasporti debbono essere patrimonio culturale degli analisti, per lo meno per quanto attiene agli elementi di base, poiché forniscono importanti conoscenze sulle caratteristiche dei vettori utilizzati e sulle regole di trasporto. Con riferimento più specifico agli aspetti tecnici dell'analisi del rischio connesso al trasporto di merci pericolose su di un'area, la raccolta dati sul territorio ne costituisce una fase fondamentale. L'analisi completa comprende l'identificazione e la valutazione di frequenze e conseguenze degli scenari incidentali probabili per tutte le sostanze pericolose trasportate, qualunque sia la tipologia di trasporto considerata. Le relative zone di impatto risultano in tal

modo caratterizzate anche dalla corrispondente frequenza di accadimento e di ciascuna di esse può essere determinata l'importanza in termini probabilistici.

Sia che si voglia considerare o meno la frequenza incidentale, il censimento consente di elencare i *vettori di trasporto*, le *sostanze trasportate* e le *rotte percorse nell'area di indagine* fornendo una base dati indispensabile per il successivo lavoro. In dipendenza della tipologia di trasporto in esame è importante inoltre che il contesto territoriale sia descritto considerando anche la presenza di aree attrezzate per smistamenti o soste quali autoparchi, scali ferroviari, attracchi o porti. Vale la pena sottolineare come, per rendere efficace questa attività iniziale non sia sufficiente utilizzare documentazione già predisposta, ma sia indispensabile la collaborazione concreta con i servizi di Protezione Civile ed altri enti collegati al trasporto di merci (Capitaneria di Porto, Polizia Stradale, Vigili del fuoco, Provincia), oltre che con i gestori degli stabilimenti industriali e le ditte di trasporto.

Venendo ai contenuti specifici, lo scopo del censimento è di creare un database contenente dettagli sulle sostanze pericolose che sono movimentate nell'area di studio presa in esame. Sulla base dell'esperienza pregressa di alcune U.O. di CONPRICI è stata considerata una struttura portante delle informazioni sull'area costituita da nove tabelle tra loro relazionate contenenti rispettivamente informazioni su: stabilimento, stoccaggio, impianto, identificazione sostanze, 334/99, trasporto stradale, ferroviario, navale in condotta. A queste nove tabelle, collegate tra loro, si legano le tabelle di immissione dati, che possono essere adattate alla tipologia dei dati disponibili. Senza entrare nel dettaglio del lavoro si sottolinea tuttavia una tipicità del trasporto stradale ovvero l'importanza della corretta definizione del percorso O-D: non vi sono difficoltà nel caso del trasporto ferroviario stante l'unicità del gestore dell'infrastruttura, mentre assai più delicata appare la definizione nel caso del trasporto stradale soprattutto se si considerano aree caratterizzate da una rete stradale complessa. Questo è anche il caso dell'area industriale scelta a esemplificazione del presente lavoro (l'area ravennate). Altre informazioni possono risultare importanti quali ad esempio le caratteristiche del trasporto: bulk o altro.

Il censimento identifica in generale un numero rilevante di sostanze pericolose; per evitare l'analisi di rischio di dettaglio di ciascuna senza perdere in significatività delle valutazioni si deve procedere ad un *accorpamento delle sostanze* identificando quelle di riferimento per le quali saranno eseguiti i calcoli delle aree di danno. Si ritiene prioritario procedere alla scelta innanzitutto utilizzando quale primo parametro di interesse l'entità dei flussi: le sostanze cui compete un elevato flusso sul territorio sono da intendersi prioritarie e sono certamente da considerarsi quali sostanze di riferimento. Per le altre si considera utile adottare accorpamenti che consentano un risparmio di tempo di calcolo senza perdere in significatività fisica del problema. Nel caso specifico è stato adottato il metodo di cui al riferimento [7] comunemente adottato in Olanda a tale scopo e basato su criteri pienamente condivisibili. Infatti la classificazione poggia sulla conoscenza di stato di aggregazione, volatilità, infiammabilità e tossicità delle sostanze e, per il trasporto in condotta o navale, su altre proprietà quali ad esempio solubilità, reattività con acqua e densità relativa. L'obiettivo, considerando primariamente i trasporti stradali e ferroviari, è di suddividere le sostanze in un insieme complessivo di 17 classi costruite partendo dalle 4 categorie di cui all'ADR (gas infiammabile, liquido infiammabile gas tossico, liquido tossico) e suddividendo ciascuna di esse sulla base di intervalli specifici per proprietà chimico-fisiche e di pericolosità. Infine ad ogni classe si associa una sostanza di riferimento (vedi tabella 4).

Tabella 4. Sostanze rappresentative per categoria di sostanze

Categorie Sostanze	Sostanze rappresentative	Categorie Sostanze	Sostanze rappresentative
LF1	Nonano	LT6	(non trasportato in bulk)
LF2	n-Pentano	GF0	Non considerato in una QRA
LT1	Acrilonitrile	GF1	Metilmercaptano (**)
LT2	Acido Nitrico (70%) (*)	GF2	n-Butano
LT3	Acroleina	GF3	n-Propano
LT4	Metilisocianato	GT0	Non considerato in un QRA
LT5	(non trasportato in bulk)		
GT2	Cloroetano (***)		(*) Quando usato per lo studio di trasporti su acqua e non considerato affondabile e solubile
GT3	Ammoniaca		(**) Considerato soltanto infiammabile
GT4	Anidride solforosa		(***) Trasportare la sostanza a 293 K
GT5	Cloro		

La classificazione descritta non è ovviamente esente da semplificazioni e si presenta assai utile quando le sostanze trasportate costituiscono un vasto insieme e si vuole fare riferimento, come nella maggior parte degli studi di rischio, a 10-15 sostanze di riferimento. Va da sé che qualora l'insieme delle sostanze fosse poco numeroso tutte potrebbero essere considerate nell'analisi.

5. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Nell'articolo sono stati presentati, in forma assai sintetica, alcuni degli argomenti trattati nel Progetto di ricerca n.2 previsto dalla convenzione di ricerca tra il Consorzio CONPRICI e il Dipartimento della Protezione Civile con l'obiettivo di predisporre una procedura che consenta la corretta e completa pianificazione dell'emergenza in aree industriali complesse, fornendo inoltre gli elementi di base per la gestione della medesima.

In tali aree la localizzazione limitrofa di impianti a rischio determina la necessità di considerare scenari incidentali multipli le cui zone di impatto derivano dal concatenarsi di eventi incidentali (effetto domino) e assume anche maggior rilevanza la possibilità che, a causa di incidenti, si sviluppino composti anomali più pericolosi di quelle presenti durante la fase di operatività degli stabilimenti. Si aggiunga che la dimensione dell'area industriale richiede una movimentazione significativa di sostanze pericolose e quindi l'uso promiscuo di infrastrutture, quali scali ferroviari, porti, linee ferroviarie e stradali che divengono anch'esse sorgenti di rischio di incidente rilevante.

Più numerosi sono quindi gli scenari incidentali di riferimento da valutare al fine di porre correttamente i presupposti della pianificazione d'emergenza d'area, ed inoltre, in ragione dell'ampiezza del territorio potenzialmente coinvolto, richiede particolare attenzione la vulnerabilità del medesimo.

Primariamente occorre conoscere la distribuzione territoriale degli individui sia in quanto residenti sia in quanto utenti di strutture scolastiche, sportive, turistiche, di culto, ...per essere in grado di salvaguardare la loro vita durante un'emergenza e di tutelare la qualità della vita futura non compromettendo in via definitiva le infrastrutture di servizio e l'ambiente. Va da sé che presupposto del successo è il reperimento rapido di informazioni corrette anche sulle infrastrutture e strutture vulnerabili presenti: lo strumento GIS, che costituisce la dotazione di base indispensabile, deve essere arricchito di strati specifici che consentano di disporre di grande dettaglio informativo.

Questi sono i principali temi trattati nel Progetto la cui operatività sarà testata mediante l'applicazione ad una grande area delle Linee Guida risultanti. Il Dipartimento ha esercitato fino ad ora, e così farà in seguito, la supervisione e, ove e se necessario, il reindirizzamento dei lavori al fine di contribuire a garantire al Progetto quella concretezza ed efficacia che sono indispensabili per il suo pieno successo.

RIFERIMENTI

- [1] DPCM 25.02.2005, Linee guida per la predisposizione del piano di emergenza esterna di cui all'art.20, comma 4, del decreto legislativo 17 agosto 1999, n.334, Supplemento alla G.U. n. 62 del 16 Marzo 2005.
- [2] Egidi, D., Foraboschi, F.P., Spadoni, G., Amendola, A., The ARIPAR Project: Analysis of the Major Accident Risks Connected with Industrial and Transportation Activities in the Ravenna Area, Reliability Engineering and System Safety, 49, 1995, pp. 75-89.
- [3] Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana, Analisi del rischio per l'area di Livorno e strategie di intervento, 2000, Litografia I. P., Firenze.
- [4] Cozzani, V., Gubinelli, G., Salzano, E., Escalation thresholds in the assessment of domino accidental events, Journal of Hazardous Materials, 129, 2003, pp. 1-21.
- [5] Eggen, J.B.M.M., GAME: development of guidance for the application of the multi-energy method, 1998, TNO Prins Maurits Laboratory for the Health and Safety Executive, The Netherlands.
- [6] Baker, W.E., Cox, P.A., Westine, P.S., Kulesz, J.J., Strehlow, R.A., Explosion Hazards and Evaluation, 1983, Elsevier, Amsterdam.
- [7] AVIV99, Methodology for categorising substance in risk calculations of the transport of hazardous materials, 1999, AVIV, Enschede.