

# **IL RISCHIO DI INCIDENTI RILEVANTI E L'EVOLUZIONE TECNOLOGICA DEGLI IMPIANTI CONSEGUENTE ALL'ADEGUAMENTO ALLE DIRETTIVE EUROPEE IN MATERIA AMBIENTALE**

**Bragatto P.A.<sup>1</sup>, Gnoni M.G.<sup>2</sup>, Marangio M.<sup>2</sup>,**

**<sup>1</sup> Centro Ricerche ISPESL, via Fontana Candida, 00040 Monteporzio (Roma)**

**<sup>2</sup> Dip. di Ingegneria dell'Innovazione, Università di Lecce, Via per Monteroni, 73100 Lecce**

## **SOMMARIO**

L'applicazione della Direttiva IPPC, recepita con il D.Lgs. 372/99, sostituita dal D.Lgs 59/05, sta avendo un impatto rilevante sui diversi settori industriali interessati; molto spesso tali attività industriali sono soggetti anche all'applicazione del D. Lgs. 334/1999 aggiornato dal D. Lgs. 238/2005 relativo alla prevenzione degli incidenti rilevanti, connessi a determinate sostanze pericolose. L'approccio della Direttiva IPPC è fortemente incentrato sulla scelta delle migliori tecniche disponibili (le cosiddette Best Available Technologies - BAT), che costituiscono i riferimenti istituzionali relativi allo stato dell'arte dello sviluppo tecnologico nello specifico settore industriale.

Nella fase di individuazione delle BAT particolare interesse è dedicato alla sicurezza degli apparecchi e degli impianti; pertanto l'applicazione della direttiva IPPC ai diversi settori industriali dovrebbe avere ricadute positive indirette anche da questo punto di vista. Và però sottolineato che la Direttiva IPPC, incentrata sull'aspetto tecnologico connesso con le attività industriali, assegna in modo implicito una minore importanza agli effetti indotti nel territorio circostante. In particolare, tali problematiche possono risultare significative nei territori a forte vocazione industriale, i quali grazie al loro assetto organizzativo-logistico attirano con maggiore frequenza nuovi investimenti industriali.

In tale ambito assume notevole importanza integrare la valutazione della cosiddetta "sicurezza intrinseca" - uno dei capisaldi nella definizione delle BAT - con metodologie per la valutazione del rischio complessivo in zone interessate da interventi relativi a procedure IPPC sia nel caso di nuovi insediamenti sia di adeguamento di impianti esistenti.

Nel lavoro in questione si presenta un approccio semplificato per la valutazione del rischio in un'area caratterizzata da forte connotazione industriale, intense attività portuali e dalla presenza di stabilimenti a rischio di incidente rilevante che ricadono nell'applicazione della direttiva IPPC, soggetti al rinnovamento impiantistico derivante dall'adozione delle migliori tecnologie disponibili.

I risultati proposti dal modello relativi alla valutazione della situazione attuale consentiranno di svolgere un'efficace valutazione del livello di sicurezza complessiva dell'area una volta che le modifiche impiantistiche nei diversi impianti saranno completamente operative.

## **INTRODUZIONE**

L'approccio contenuto dalla Direttiva IPPC è fortemente incentrato sullo stato dell'arte dello sviluppo tecnologico e sta avendo un impatto enorme sui settori industriali considerati "pesanti" quali raffinazione, chimica, siderurgia, carta e cemento. Questo orientamento induce senz'altro un grande miglioramento nel parco industriale italiano ed europeo. Poiché la sicurezza degli apparecchi e degli impianti è uno dei fattori che vengono considerati per individuare le BAT, l'applicazione dell'IPPC dovrebbe avere ricadute positive anche da questo punto di vista.

Il D. Lgs. 334/1999, insieme con il suo recente aggiornamento - il D. Lgs. 238/2005 - sono finalizzati alla prevenzione degli incidenti rilevanti, che possono avere origine in stabilimenti caratterizzati dalla presenza di determinate sostanze pericolose, nonché alla limitazione delle conseguenze di eventuali incidenti per l'uomo e per l'ambiente. In tale quadro, un caso sicuramente critico è rappresentato dalle aree di concentrazione di diverse attività industriali, nelle quali diventa significativa la possibilità di amplificazione del rischio incidentale, rispetto ai livelli di base generati dai singoli stabilimenti, a causa delle caratteristiche dei luoghi, del grado di vicinanza degli stabilimenti stessi, della tipologia di impianti e di sostanze pericolose presenti all'interno ed all'esterno di essi. Lo studio e la necessità di gestione del rischio d'area sono peraltro richiamati esplicitamente dal DM 9 Maggio 2001 (Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione

urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante) e, in forma più generale, dagli artt.8 e 12 della stessa Direttiva Seveso II.

L'applicazione della direttiva 96/61/CE sulla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento (direttiva IPPC) sta determinando un notevole impatto nei diversi settori industriali: particolare rilievo riveste la definizione delle migliori tecniche disponibili (le Best Available Techniques - BAT), a livello comunitario e nazionale. Di fatto la scadenza ormai prossima per l'applicazione della direttiva (ottobre 2007) sta inducendo un adeguamento tecnologico degli impianti industriali, secondo lo schema della BAT.

L'approccio IPPC, incentrato sull'aspetto tecnologico, potrebbe implicitamente portare ad una minore importanza allo studio del territorio. In questo senso, la vulnerabilità del territorio rispetto ai potenziali incidenti industriali potrebbe non essere adeguatamente valutata nelle procedure IPPC. In particolare, questi problemi potrebbero emergere nei territori a forte vocazione industriale, che per il loro assetto organizzativo attirano inevitabilmente nuovi investimenti industriali.

Riveste, dunque, una importanza notevole, in tali ambiti, integrare la valutazione della sicurezza "intrinseca" - già presente nella definizione delle BAT - con metodologie, anche semplificate, per la valutazione del rischio nelle zone interessate dalle procedure IPPC sia nel caso di insediamento di nuovi impianti sia per l'adeguamento degli impianti esistenti. Lo studio e la valutazione dell'impatto all'interno delle aree potenzialmente interessate, ed in particolare delle comunità in essa presenti, è richiesto sia dalle direttive Seveso, che dalla direttiva IPPC. L'obiettivo del presente lavoro è ricomporre i due aspetti - sicurezza e ambiente - evitando che una trattazione non completamente integrata possa determinare per il sistema "sociale" nel suo complesso un aggravio in termini di sicurezza complessiva.

Il lavoro è così organizzato: nel capitolo 1 sono sintetizzate le peculiarità d'intervento delle due direttive - IPPC ed Incidenti Rilevanti - permettendo così di valutare le interazioni; nel capitolo 2 sono illustrate le principali misure di valutazione del rischio tecnologico; nel capitolo 3 è illustrata l'approccio proposto al fine di integrare sia a livello di impianto sia a livello di area le valutazioni inerenti la direttiva IPPC con le valutazioni relative al rischio indotto nell'ambiente circostante. Infine, nel capitolo 4 è descritta un'applicazione ad un caso reale di studio inerente l'area industriale di Taranto.

## CAPITOLO 1

### **L'impatto delle Direttive IPPC e SEVESO sulle attività industriali**

Di frequente - principalmente nei settori chimico, petrolifero e siderurgico - gli insediamenti produttivi sono interessanti allo stesso tempo dalle direttive SEVESO sul rischio di incidente rilevante e dalla direttiva IPPC sulla prevenzione ed il controllo integrato delle diverse forme di inquinamento industriale. Nell'ambito IPPC le scelte tecnologiche risultano fortemente condizionate dalla definizione delle cosiddette BAT (Best Available Technologies). Di fatto, le principali tecnologie disponibili per i settori industriali interessati sono state analizzate, in prima analisi a livello europeo - dove sono state definite le BAT di riferimento, le cosiddette BREF-; in seguito, in modo ancora più dettagliato, a livello nazionale, in Italia come negli altri Paesi dell'Unione Europea. Il sistema di definizione delle BAT, inoltre, prevede meccanismi di continuo aggiornamento, sia a livello europeo che nazionale in modo da aggiornare dinamicamente le BAT rispetto al progresso tecnologico. Considerando il buon livello di accuratezza e completezza raggiunto nei documenti europei e nazionali e la relativa lentezza dell'evoluzione tecnologica - in generale relativamente bassa nei settori industriali interessati- si può pensare che le scelte d'implementazione restino all'interno dello schema definito dalle BAT: dall'altra parte la direttiva prevede la possibilità di introdurre nuove soluzioni tecnologiche, sempre a patto di dimostrare la loro equivalenza o superiorità rispetto alle BAT già definite.

I criteri di valutazione delle BAT tengono conto dei possibili effetti negativi sull'ambiente - a scala locale, regionale e globale - valutando essenzialmente per ciascun tipo di tecnologia nel settore d'interesse:

- gli effetti sulle matrici ambientali aria-acqua-suolo;
- il consumo di energia e di risorse idriche;
- il rischio intrinseco di incidente.

La ristrutturazione in corso degli impianti industriali, indotta dalla necessità di applicare le BAT per adeguarsi alla legislazione IPPC è un fatto estremamente positivo; ma occorre prestare attenzione ad alcuni aspetti che potrebbero risultare sottovalutati. Partendo dalla considerazione che in alcuni settori industriali è accaduto che soluzioni tecnologiche innovative trasformino problemi ambientali in più rilevanti problemi di sicurezza complessiva, nei criteri per la definizione delle BAT si è cercato di evitare il ripetersi di tale pratica in settori industriali soggetti nella direttiva IPPC. Di fatto, la scelta delle tecnologie intrinsecamente "meno

pericolose” non dovrebbe essere disgiunta da quella della tecnologia “meno inquinante”, sempre a condizione che sia economicamente sostenibile nel contesto di interesse. La questione della scelta delle soluzioni intrinsecamente più sicure è presente nei criteri di definizione delle BAT, seppure subordinata rispetto alla ricerca delle prestazioni ambientali.

Un esempio significativo è quello relativo alle tecnologie di denitrificazione dei fumi con sistema SCR (Selective Catalytic Reduction): tale sistema risulta uno dei più efficaci nel ridurre le emissioni di NO<sub>x</sub> degli impianti. Nel sistema SCR, gli NO<sub>x</sub> vengono ridotti cataliticamente, per mezzo di ammoniaca (NH<sub>3</sub>) in N<sub>2</sub> ed H<sub>2</sub>O. Il catalizzatore può essere pentossido di vanadio (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) o ossido di tungsteno supportato su ossido di titanio (TiO<sub>2</sub>). L'applicazione di tali sistemi può presentare numerosi problemi in fase di esercizio: ad esempio sul catalizzatore può formarsi il nitrato di ammonio (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) che ha caratteristiche esplosive, e determina inoltre insieme al particolato, un decadimento dell'efficienza di conversione del sistema. Inoltre l'ammoniaca in eccesso trascinata dal reattore può reagire con gli ossidi di zolfo contenuti nei fumi di processo, portando alla formazione di particelle di solfato o bisolfato di ammonio, che possono provocare fouling, erosione e corrosione delle superfici degli impianti. Va ricordato che la presenza di ammoniaca di per se determina rischi aggiuntivi sia nelle fasi di trasporto sia nelle fasi di lo stoccaggio. Nella fase di confronto fra le diverse tecnologie disponibili, il sistema SCR per alcuni settori (e.g. siderurgico) non è stata annoverata fra le BAT: questo perché, considerando il livello di sicurezza complessivo della stessa – è stata definita intrinsecamente “più pericolosa” delle soluzioni concorrenti, sebbene essa sia caratterizzata da prestazioni ambientali migliori. Va però sottolineato come nel processo di definizione delle BAT, la questione della valutazione della sicurezza complessiva del sistema sia meno stressata, rispetto alle questioni ambientali. Si ammette, infatti, che possano comunque permanere dei rischi significativi per la sicurezza, purché inferiori rispetto alle altre opzioni: ciò invece non avviene se si considerano le emissioni nelle varie matrici ambientali per le quali si pretende che non determinino effetti diretti sulla salute umana e danni significativi all'ambiente. Per quanto riguarda le direttive Seveso, anche per gli stabilimenti non specificatamente di processo, i criteri di approvazione di nuovi impianti fanno sì che, comunque, le scelte tecnologiche si orientino verso soluzioni tecniche definibili “più sicure” in relazione sia alla sicurezza del singolo stabilimento sia dell'ambiente circostante.

Va inoltre sottolineato che la direttiva IPPC dedica poco spazio alla valutazione dell'effetto del sistema sul territorio circostante basandosi sulla considerazione che sarà possibile definire comunque una soluzione tecnologicamente valida; dall'altra parte le direttive Seveso si basa su un presupposto completamente diverso: spesso la sola risposta tecnologica, per quanto sofisticata, non risulta essere in grado di eliminare del tutto i potenziali pericoli sia a livello di singolo impianto sia a livello di area. Tale concetto è ripreso nei suoi principi costitutivi (artt.8 e 12), in cui è assegnata una notevole rilevanza alle interazioni con il territorio al fine del controllo degli incidenti rilevanti.

Questi differenti approcci presenti nelle due direttive sono ulteriormente acuiti dalla diversa percezione del pubblico in relazione alle questioni ambientali ed alle questioni di sicurezza connessi con le attività industriali. Pertanto, nelle decisioni in materia di insediamenti industriali, tali dicotomie potrebbero essere compensati tenendo conto in maniera integrata anche degli aspetti territoriali - quali il rischio di incidente rilevante - non completamente considerati nella fase di applicazione delle BAT.

## CAPITOLO 2

### **Le principali misure del rischio tecnologico**

Le installazioni a rischio di incidente rilevante sono installazioni in cui vi è un potenziale per il rilascio accidentale di materiali tossici, esplosivi o infiammabili che conducono a effetti potenzialmente gravi sulle Comunità ed sugli ambienti vicini. Tale rischio potenziale è stato, purtroppo, realizzato anche in disastri molto recenti, quali AZF Toulouse (Francia 2001), Conoco Humberstone (UK 2001), Respol Puertollano (Spagna 2003), Bouncefield (UK 2005), Texas City (USA 2005).

In prima analisi, gli incidenti potenziali vengono considerati con metodi qualitativi, ma un'analisi più profonda è necessaria per avere una comprensione migliore degli effetti generali degli eventi potenziali sulla popolazione e sul territorio ed assicurare la compatibilità di tutte le installazioni industriali. L'analisi quantitativa di rischio (QRA, Quantitative Risk Analysis) valuta l'effetto degli incidenti potenziali come pure la probabilità. Questo sforzo è mirato a guidare materie quali l'approvazione di nuovi impianti industriali, l'installazione dei sistemi tecnici della salvaguardia e di controllo, l'approvazione da parte del gestore dell'impianto e dalle autorità competenti delle procedure di sicurezza, la pianificazione dell'uso del territorio, la pianificazione urbanistica e della pianificazione di emergenza.

La ricerca di base in questo campo è iniziata negli anni settanta, quando le autorità competenti nel Regno Unito hanno capito il bisogno della progettazione e di controllo nel senso della sicurezza della enorme zona industriale nell'isola di Canvey, alla foce del Tamigi. Gli studiosi olandesi hanno dato inoltre un contributo importante, basato su esperienza di zona della foce del Reno, presso Rotterdam, adottando anche criteri più stringenti di quelli introdotti dagli inglesi, ritenuti forse non sufficientemente cautelativi. Pure il contributo italiano in questo settore è importante. Le esperienze sulle aree industriali di Ravenna e Livorno portarono allo sviluppo di uno strumento software chiamato ARIPAR, che rappresenta uno strumento efficace al fine di una valutazione integrata del livello di rischio di un'area.

In linea generale, in una QRA si definiscono due categorie principali di rischi valutabili: rischi sociali e rischio individuale. Il rischio individuale rappresenta il pericolo cui un individuo ipotetico è esposto dentro ad una posizione particolare. È calcolato partendo dai dati concernenti il pericolo, la relativa probabilità del caso, il relativo limite probabile ed i relativi effetti conosciuti o valutati sui potenziali esposti (residenti e operatori industriali). Stabilendo che cosa costituisce le zone tollerabili di profilo di rischio, possono essere definite aree intorno ai luoghi pericolosi per aiutare la pianificazione di emergenza o per esprimere il parere alle autorità competenti per l'assetto territoriale sull'assegnazione dei permessi di progettazione per modifiche e sviluppi. La metodologia basata sulle zone di esclusione è semplice da usare ma poco flessibile; pertanto, potrebbe risultare inadatta in condizioni di incertezza: ad esempio, in presenza di zone molto estese caratterizzate da bassi livelli del rischio, in condizioni in cui non esiste un'unicità di visione circa l'ubicazione delle nuove installazioni pericolose, in aree dove preesistono altre installazioni pericolose. Un secondo strumento analitico per la misura del livello di sicurezza si basa sulla stima del livello del cosiddetto "rischio sociale". Il rischio sociale rende esplicito il livello di avversione verso un potenziale evento disastroso che possa interessare gruppi vulnerabili di persone. In generale, il rischio sociale valuta il pericolo per l'intera popolazione che si trova a contatto di "una zona a rischio". Di seguito, sono proposti alcuni riferimenti per la quantificazione del rischio individuale e sociale.

Il Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (Olanda) [1] definisce il rischio individuale come "la probabilità che una persona senza dispositivi di protezione, presente in modo permanente in un dato luogo, perda la vita". Tale parametro è pari a:

$$IR = P_f \cdot P_{d/f} \quad (1)$$

dove  $P_f$  è la probabilità dell'incidente e  $P_{d/f}$  è la probabilità di morte di un individuo in seguito all'accadimento dell'incidente. L'IR così calcolato costituisce un elemento caratterizzante lo specifico territorio in analisi: è applicato, pertanto, per la valutazione di interventi di pianificazione territoriale. In coerenza con questa definizione, i limiti di accettabilità del rischio nel caso di aree popolate risultano essere pari a [2]:

$$IR < 10^{-6} \quad (2)$$

L'Health and Safety Executive, HSE, (Regno Unito) definisce l'IR come "il rischio a cui è sottoposto un individuo medio se esposto ad una dose nociva di sostanza, al rilascio di calore o a sovrappressione". In questo caso, una dose dannosa può causare gravi ferite e conseguenze rilevanti, ma non implica necessariamente il decesso.

L'HSE stabilisce tre differenti livelli di accettabilità del rischio [3]:

- rischio inaccettabile;
- rischio tollerabile: con  $IR \geq 10^{-3}$  nel caso di personale presente nel sito industriale; con  $IR \geq 10^{-5}$  per la popolazione;
- rischio ampiamente accettabile: in generale se  $IR > 10^{-6}$ .

Il metodo proposto dal Technical Advisory Committee on Water Defences [4] introduce nella valutazione del rischio individuale un ulteriore parametro che correla la volontarietà da parte dell'individuo esposto alla sollecitazione all'attività che genera il rischio. Secondo tale metodo l'IR deve essere pari a:

$$IR < \beta \cdot 10^{-4} \quad (3)$$

dove  $\beta$  indica il grado di partecipazione volontaria all'attività potenzialmente pericolosa.

Per quanto riguarda il rischio sociale, l'Institute of Chemical Engineering (Usa) [5] definisce l'SR come una funzione della frequenza (annua) e del numero di morti in una data popolazione a causa dell'accadimento di un incidente, ampliando - rispetto alla stima dell'IR - l'area interessata oltre la sorgente dell'incidente. Piers [6] propone una stima del rischio sociale in funzione del livello di rischio individuale: si definisce il parametro di "rischio aggregato pesato" (Aggregated Weighted Risk, AWR) relativo ad una area di estensione pari a:

$$AWR = \int \int_A IR(x, y) \cdot h(x, y) dx dy \quad (4)$$

dove  $h(x,y)$  rappresenta il numero di abitazioni nell'area ed  $IR$  il valore del rischio individuale stimato in  $(x,y)$ .

In [7] gli autori propongono, in alternativa, di stimare il "valore atteso di numero di decessi",  $E(N)$ , che è posto pari a:

$$E(N) = \int \int_A IR(x, y) \cdot m(x, y) dx dy \quad (5)$$

dove  $m(x,y)$  è la densità di popolazione nell'area.

Per quantificare il rischio sociale molto spesso si ricorre alle "curve F-N", dove  $N$  rappresenta il numero di decessi in base agli incidenti ipotizzabili ed  $F$  la frequenza cumulata con la quale, a seguito di tutti gli incidenti ipotizzabili, si ha nell'area considerata un danno di riferimento pari ad  $N$ . Vale, pertanto, la relazione (6):

$$1 - F(N) = P(N > x) = \int_x^\infty f_N(x) \quad (6)$$

dove  $f_N(x)$  è la funzione densità di probabilità relativa ai decessi stimati a seguito dello scenario incidentale in un anno.

In [8] gli autori propongono una stima del valore atteso di decessi pari a:

$$E(N) = \int_0^\infty x \cdot f_N(x) dx \quad (7)$$

In [9] è proposta la stima del rischio sociale tramite un parametro integrale di rischio,  $RI_{COMAH}$ , che permetta di assegnare maggior peso alle conseguenze di un evento incidentale (come avviene in generale per gli incidenti rilevanti):

$$RI_{COMAH} = \int_0^\infty x^\alpha \cdot f_N(x) dx \quad (8)$$

dove  $\alpha$  (posto  $\geq 1$ ) rappresenta "l'avversione" nei confronti di incidenti con un elevato numero di vittime. Sulla base di una campagna sperimentale, gli autori propongono per  $\alpha$  un valore di riferimento pari a 1.4.

In [10] gli autori hanno proposto per il calcolo della disutilità del sistema la seguente formula:

$$U_{sys} = \int_0^\infty x^\alpha \cdot P(x) \cdot f_N(x) dx \quad (9)$$

Và sottolineato che nell'equazione (9) si è tenuto in maggiore considerazione la gravità di un incidente rispetto alla probabilità di accadimento dello stesso: ciò grazie all'introduzione del cosiddetto fattore di avversione,  $P(x)$ , che individua la funzione "disutilità attesa" come funzione del numero di decessi prevedibili. Le equazioni (8) e (9) sono entrambe misure di disutilità attesa, distinte solo per la maggiore importanza – nella (9) - assegnata alla magnitudo grazie alla presenza contemporanea sia del parametro  $\alpha$  sia del fattore di avversione.

### CAPITOLO 3

#### L'approccio proposto per la valutazione degli effetti indotti nell'applicazione della direttiva IPPC

Tutte le volte in cui diverse attività in cui siano presenti sostanze pericolose risultino relativamente contigue, o più semplicemente insistano su una stessa area industriale o territorio comunale, c'è la possibilità che tutte o alcune tra esse costituiscano un cluster di attività a Rischio di Incidente Rilevante (RIR) che siano interessate da effetti di interazione e/o propagazione incidentale (cosiddetti effetti domino) e quindi da una potenziale amplificazione dei livelli complessivi rischio presenti nell'area.

Come già evidenziato nel capitolo 1, spesso tali attività industriali rientrano anche nel campo di applicazione della direttiva IPPC. L'obiettivo del presente lavoro è definire una metodologia - seppur semplificata - per la valutazione integrata del livello di sicurezza indotto dall'applicazione delle BAT sia a livello di singolo impianto industriale sia del territorio circostante. I risultati ottenibili con tale approccio sistematico potrebbero consentire di superare la ridotta valutazione delle conseguenze indotte a livello di aree industriali dall'applicazione della direttiva IPPC. L'approccio proposto consente di valutare in modo quantitativo i diversi fattori di rischio presenti all'interno di un'area industriale ricorrendo, però, ad un approccio comunque semplificato rispetto ai modelli completi di analisi quantitativa del rischio; ciò consente

di ottenere risultati efficaci con un ridotto sforzo computazionale senza dover implementare, almeno nella fase preliminare di valutazione delle diverse alternative tecnologiche, una metodologia completa.

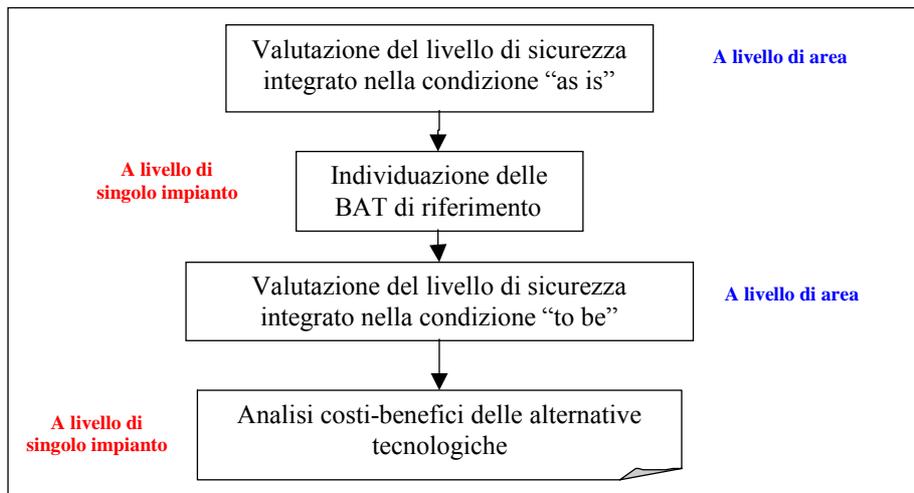


Figura 1. Schema della metodologia proposta per la valutazione integrata del rischio

In figura 1 è riportata una schematizzazione delle principali fasi che compongono la metodologia proposta. Nella fase iniziale, a livello di singolo impianto soggetto alla direttiva IPPC devono essere individuate le alternative tecnologiche all'interno delle BAT di riferimento; a livello di area si svolgerà un'analisi di rischio d'area tenendo conto delle condizioni impiantistiche prima della introduzione dei adeguamenti impiantistici tecnologici (situazione "as is"). Nella fase successiva le diverse alternative implementabili a livello di singolo impianto costituiranno il riferimento per la stima a priori del livello di sicurezza integrato nell'area in analisi (situazione "to be"). A questo punto i diversi interventi saranno valutati considerando sia i potenziali benefici ambientali ottenibili insieme con le eventuali variazioni del livello di sicurezza integrato indotto. A tal proposito, al fine di stimare il livello di sicurezza integrato – sia a livello dei singoli impianti sia a livello di area si propone un modello di stima basato sulla stima congiunta del livello di rischio individuale e sociale definiti in precedenza. La stima del livello di rischio individuale, infatti, consentirà di valutare l'efficacia dell'intervento di adeguamento impiantistico all'interno degli impianti soggetti alla direttiva IPPC, mentre la stima del livello di rischio sociale consentirà la valutazione dei potenziali effetti indotti dagli adeguamenti sull'intera area in analisi. Il metodo proposto per la stima del livello di sicurezza integrato è un metodo "speditivo" ma completo in quanto considera tutte le potenziali fonti di rischio includendo sia le sorgenti fisse (gli impianti) sia le sorgenti mobili (le infrastrutture di servizio).

Per quanto riguarda la stima del rischio sociale, si è utilizzato il parametro di rischio integrato ARICOMAH che rappresenta l'approssimazione del parametro RICOMAH [9] proposto nella review del capitolo 2. La stima del parametro ARICOMAH, basata nella formulazione originale sull'ipotesi del "worst case"; utilizzando valori tipici di curve F-N stimate per classi di incidenti rilevanti, ne deriva che, per eventi incidentali del tipo omni-direzionale (p.e. fire-ball), il parametro può essere calcolato tramite l'equazione (10), mentre, per eventi monodirezionali (p.e. flash-fire), si può fare ricorso alla eq. (11):

$$ARI_{COMAH} = f(N_{max}) \cdot N_{max} \cdot \left[ \sum_{N=1}^{N_{max}-1} \frac{N^{a-1}}{N+1} + N_{max}^{a-1} \right] \quad (10)$$

$$ARI_{COMAH} = f(N_{max}) \cdot N_{max}^2 \cdot \sum_{N=1}^{N_{max}} N^{a-2} \quad (11)$$

dove  $N_{max}$  è pari al numero massimo di decessi conseguenti agli scenari incidentali ipotizzati,  $f(N_{max})$  è la frequenza (annua) cumulata che determina un danno di riferimento pari a  $N_{max}$ , ed a il cosiddetto parametro di avversione (pari a 1.4).

Le fasi dell'applicazione possono così sintetizzarsi nel caso di sorgenti fisse:

- o il valore di frequenza di accadimento dell'incidente è ricavato dalle informazioni fornite dal gestore dello stabilimento (in funzione delle condizioni meteorologiche locali, della distribuzione di popolazione nell'intorno del sito, della distribuzione della rosa dei venti) o, in mancanza di esse, da dati reperiti in letteratura;

- o il numero di decessi  $N_{max}$ , funzione dell'estensione dell'area di danno, è pari a:

$$N_{max} = N_{indoor} + N_{residenti} + N_{vul\_out} + N_{mobili} + N_{altri\_stabilimenti} \quad (12)$$

dove  $N_{indoor}$  è il contributo dell'organico fisso sul luogo di lavoro;  $N_{residenti}$  rappresenta la popolazione residente;  $N_{vul\_out}$  il contributo degli elementi vulnerabili - p.e. scuole, ospedali, case di cura, centri sportivi;  $N_{mobili}$  il contributo degli elementi mobili - p.e. i possibili passeggeri di treni, di auto e di sistemi di trasporto marittimi;  $N_{stab\_est}$  il personale di altre aziende nel caso in cui gli effetti dovessero coinvolgere stabilimenti limitrofi;

- o noto l'end-point per i diversi scenari, per stimare l'entità del danno nell'area in esame, si ipotizza una letalità del 100% delle persone presenti nell'area.

Per le sorgenti mobili, non essendo in possesso di alcuna informazione fornita dal gestore, si è ricorso alla seguente ipotesi: l'area di danno della sorgente mobile è calcolata come sovrapposizione delle singole aree di danno istantanee, associate al t-esimo istante temporale, di una ipotetica sorgente fissa che si sposta lungo l'infrastruttura in esame. Pertanto, i modelli di stima delle aree di danno proposti per le sorgenti fisse sono stati riproposti per le sorgenti mobili in coerenza con tale ipotesi. Come sorgenti mobili di pericolo, sono stati individuate i trasporti all'interno dello stabilimento, nella cinta di interazione<sup>1</sup> ed, infine, i trasporti all'esterno. Per i secondi si ipotizza un valore del parametro ARICOMAH pari a quello calcolato per i trasporti all'interno; mentre per gli ultimi il rischio va calcolato in relazione alla merce trasportata nell'intorno dello stabilimento (posto pari a 1 km per il caso in analisi).

In particolare:

- o la frequenza relativa allo scenario  $k$  di entità  $i$  nel tratto di infrastruttura  $h$  è data da:

$$F_{h,i,k} = T \cdot A \cdot R_i \cdot L_h \cdot PF_{i,k} \quad (13)$$

dove  $T$  è il numero di viaggi all'anno;  $A$  è il tasso incidentale per chilometro;  $R_i$  è la probabilità associata al singolo scenario;  $L_h$  è lunghezza del tratto di infrastruttura in analisi;  $PF_{i,k}$  è la probabilità di fatalità della popolazione nell'area di danno a seguito dell'incidente  $k$  di entità  $i$ -esima [12].

- o il numero di fatalità,  $N_{h,i,k}$  è definito dall'equazione (14):

$$N_{h,i,k} = (N_{indoor} + N_{trasp\_indoor}) + (CA_{i,k} \cdot PD_h \cdot PF_{i,k} + N_{residenti} + N_{vul\_out} + N_{mobili} + N_{stab\_est}) \quad (14)$$

Il parametro  $CA_{i,k}$  rappresenta l'area di danno associata con la conseguenza  $k$ -esima;  $PD_h$  è la densità abitativa nell'area.

In coerenza con quanto proposto da [9] per valutare l'accettabilità del rischio si è ricorsi alla metodologia ALARP (As Low As Reasonably Practicable): si individua un limite superiore di completa inaccettabilità (posto pari 500,000 a cui corrisponde una classe di rischio 3); un limite inferiore di ampia accettabilità (posto pari a 2,000 a cui corrisponde la classe di rischio 1); mentre, nella zona intermedia (classe di rischio 2) possono essere introdotte misure di riduzione del rischio, purché l'incremento di costo sia comparabile al miglioramento raggiunto in termini di sicurezza dell'area.

Per quanto riguarda la stima del rischio individuale associato alla presenza delle sorgenti fisse e mobili, si è utilizzato la modellazione proposta da Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment [1] illustrata nel capitolo 2, il rischio individuale (IR) è definito come la probabilità che un qualunque uomo non protetto, presente in modo permanente in una data posizione, perda la vita in seguito all'accadimento di un incidente.

$$IR_i = P_f \cdot P_{d/f} \quad (15)$$

dove la  $P_f$  è la probabilità di accadimento dell'incidente, mentre  $P_{d/f}$  è la probabilità di decesso dell'individuo a seguito dell'incidente, ipotizzando la presenza permanente dell'individuo privo di protezioni.

Per le sorgenti fisse la  $P_f$  sarà quindi ricavata dai rapporti di sicurezza o dalle notifiche preliminari, mentre per  $P_{d/f}$  si assumeranno i valori riportati in Tabella 1 in relazione ai valori disponibili in fase di analisi.

Tabella 1. Valori proposti per la stima del parametro  $P_{d/f}$

Tipologia di esposti	$P_{d/f}$ 1zona	$P_{d/f}$ 2zona	$P_{d/f}$ 3zona
Lavoratori all'interno degli stabilimenti	0.7	0.35	0.175
Individui presenti all'esterno degli stabilimenti	1	0.5	0.25

Come si evince dalla tabella, per la prima zona di danno - che verrà considerata in modo preferenziale in relazione alle informazioni acquisite dai gestori -, si distinguono due categorie di individui a cui si associa

<sup>1</sup> Si definisce "cinta di interazione" l'area al di là dei confini dello stabilimento di larghezza pari a 200 m in cui, un eventuale incidente da trasporto avrebbe comunque delle ripercussioni all'interno dell'impianto.

un diverso valore di probabilità di decesso: per i lavoratori presenti all'interno degli stabilimenti si suppone un probabilità di morte pari a 0.7: questo perchè gli operatori all'interno degli stabilimenti sono mediamente più protetti (ad esempio tramite dispositivi di protezione individuali) e maggiormente formati al riconoscimento ed alla gestione delle emergenze.

All'esterno degli stabilimenti, si suppone che gli individui, privi di qualunque protezione e formazione per fronteggiare le emergenze, subiscano le maggiori conseguenze in seguito all'accadimento di un incidente. Per le sorgenti mobili si è valutato in modo analogo il parametro: pertanto, si suppone una probabilità unitaria di morte in seguito all'accadimento di un incidente ipotizzando la presenza di individui privi di qualunque dispositivo di protezione individuale o di formazione. Il livello di rischio tollerabile è stato considerato pari a  $IR \geq 10^{-3}$  nel caso di personale presente nel sito industriale ed  $IR \geq 10^{-5}$  per la popolazione, in conformità a quanto definito in [3].

## CAPITOLO 4

### Il caso studio: un'area pilota nel distretto industriale di Taranto

In questo paragrafo è proposta un'applicazione preliminare del metodo proposto ad un caso reale in piena scala: l'obiettivo è stimare il livello di vulnerabilità indotto in un territorio in cui è presente un cluster di siti a rischio di incidente rilevante insieme con infrastrutture di servizio e aree residenziali nelle vicinanze. L'area è soggetta ad un piano di adeguamento impiantistico, finalizzato anche ad un risanamento ambientale e guidata dai criteri delle BAT. Inoltre, per la sua posizione geografica e per le sue infrastrutture, la zona è stata recentemente oggetto di alcune proposte per nuovi impianti industriali, per i quali si attendono le decisioni delle Autorità Competenti. La valutazione dell'effettivo coinvolgimento della collettività in eventuali scenari incidentali, quindi, è uno dei criteri da avere presente in sede territoriale. Per l'area in esame saranno stimati sia i differenti livelli di rischio individuale sia il livello di rischio sociale relativo alle sorgenti fisse ed alle sorgenti mobili presenti nell'area al fine di valutare in modo efficace il livello complessivo di sicurezza nella condizione attuale, prima degli interventi di adeguamento richiesti dalla direttiva IPPC a cui alcuni importanti stabilimenti presenti nell'area sono soggetti.

L'area pilota oggetto dello studio ricade nella zona industriale di Taranto in cui sono presenti cluster di siti a rischio di incidente rilevanti in prossimità di infrastrutture di servizi e zone residenziali. In particolare, sono state prese in analisi sette potenziali *sorgenti fisse*, di cui quattro stabilimenti rientranti nell'articolo 8 del D. Lgs.334/99, e tre nell'articolo 6 del sopraccitato articolo: A è un impianto complesso di processo, il sito B coincide con una raffineria, i siti C e D sono dei depositi di prodotti petroliferi, E è una centrale termoelettrica, F e G sono depositi di sostanze petrolifere. Per motivi di riservatezza non sono riportati maggiori dettagli relativi alle caratteristiche dei siti in analisi.

In tabella 2 è riportata una sintesi di alcuni dei risultati ottenuti dall'analisi: considerati per ciascun sito top event significativi di differente tipologia incidentale (jet-fire, pool-fire, rilascio, UVCE, VCE, flash-fire, etc.), si è quantificato, con la metodologia descritta nel capitolo 3, il livello di rischio sociale relativo. Come si può evincere, il limite di inaccettabilità (corrispondente a un valore del parametro ARICOMAH di 500,000), non è in alcun caso superato.

Tabella 2. Livelli di rischio sociale stimati per le sorgenti fisse nell'area pilota.

Impianto	Top event	Tipologia	Rischio sociale
(A)	Top 2-7	UVCE	1.031E+5
	Top 4-9	VCE	1.031E+5
	Top 11	VCE	1.031E+5
	Top 4.1	Jet-fire	4.603E+4
(B)	Top 1	Rilascio	5.433E+2
(C)	Top 1	Incendio	1.170E+2
	Top 2	Incendio	1.170E+2
(D)	Top 1	Jetfire	8.573E+3
		Flashfire	8.734E+3
		Uvce	8.573E+3
		Poolfire	8.573E+3
	Top 6	Jetfire	1.559E+5
		Flashfire	2.709E+5
Uvce		1.559E+5	

		Poolfire	1.559E+5
	Top 8	Jetfire	2.143E+3
		Flashfire	7.813E+4
		Uvce	2.143E+3
		Poolfire	2.143E+3
	Top 9	Flashfire	1.895E+4
		Uvce	4.287E+4
		Flashfire	1.391E+4
(E)	Top 1	Jetfire	4.767E+2
(F)	Top 1	Tankfire	3.639E+1
	Top 2	Poolfire	3.639E+1
	Top 3	Jetfire	3.639E+1
(G)	Top 1	UVCE	1.5E+1

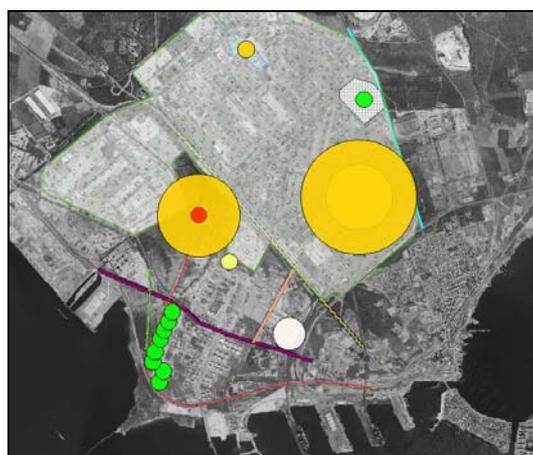
Per il calcolo del livello di rischio individuale si procede con la metodologia descritta in precedenza: per ogni sito si considerano  $n$  aree concentriche centrate nel baricentro dell'impianto (di raggio pari a  $n \times x$  e passo pari a 100 m) e si stima per ciascun top event (le cui sorgenti ricadono nell' $n$ -esimo cerchio) il valore del rischio individuale come prodotto della probabilità di accadimento dell'evento per la probabilità di decesso dell'individuo a seguito dell'incidente. Quindi, si associa a ciascun impianto il più alto tra i valori di rischio individuale calcolati in precedenza per i top event relativi.

Nella tabella 3 sono riassunti i risultati dell'analisi effettuata, riportando, per motivi di sintesi, per i singoli impianti il top event a cui corrisponde il massimo valore di rischio individuale. Anche in questo caso il limite di accettabilità del rischio per personale presente nel sito industriale – indicato nel capitolo 3- non risulta superato.

Tabella 3. Livelli di rischio individuale stimati per le sorgenti fisse nell'area pilota.

Sorgente	Top event <sub>i</sub>	IR
(A)	Top 4.1	1.68E-4
(B)	Top 1	E-6
(C)	Top 1	2.50E-7
(D)	Top 6	4.00E-4
(E)	Top 1	E-5
(F)	Top 2	E-5
(G)	Top 1	3.75E-6

In figura 3 si riporta l'immagine su supporto GIS delle variazioni del rischio individuale nei dintorni dei siti analizzati: in particolare si utilizza una scala cromatica per rappresentare i diversi livelli di IR in prossimità degli impianti.



IR	
E-3 ≤ IR < E-4	Red
E-4 ≤ IR < E-5	Orange
E-5 ≤ IR < E-6	Yellow
E-6 ≤ IR < E-7	Green
E-7 ≤ IR < E-8	Light Green

Figura 3. Rappresentazione su base GIS della variazione del livello di IR nell'area

Nell'area in analisi, inoltre, sono state prese in considerazione le tre principali infrastrutture stradali (*sorgenti mobili*). Considerati gli eventi incidentali più significativi per ciascuna di esse (connessi essenzialmente con

il trasporto di GPL, cioè jettfire, fireball, UVCE), le relative aree di danno sono state stimate, in base all'ipotesi riportata nel capitolo 3, come sovrapposizione di  $n$  aree di danno statiche - a loro volta calcolate in funzione della tipologia di sostanza coinvolta, della relativa quantità, della tipologia incidentale.

In tabella 4, sono riportate le stime dei livelli di rischio individuale e sociale stimati per le principali sorgenti mobili. Il livello complessivo risulta per entrambi i parametri al di sopra della rispettiva soglia di inaccettabilità.

Tabella 4. Livelli di rischio stimati per le sorgenti mobili nell'area pilota.

Infrastruttura	Tipologia	Top event	Rischio Individuale	Rischio Sociale
(1)	Autostrada	Jetfire	1.1E-3	5.1E+4
		Fireball	6.4E-4	3.4E+4
		UVCE	1.36E-3	1.2E+5
(2)	Strada provinciale	Jetfire	5.6E-4	2.6E+4
		Fireball	3.2E-5	3.7E+3
		UVCE	7.4E-5	7.0E+3
(3)	Strada statale	Jetfire	1.1E-3	5.1E+4
		Fireball	6.4E-4	3.4E+4
		UVCE	1.36E-3	1.2E+5

In definitiva, nell'analisi preliminare proposta l'utilizzo combinato delle valutazioni puntuali relative ai due parametri di rischio, individuale e sociale, consente di valutare l'effetto indotto sul livello di sicurezza complessivo dall'applicazione delle tecnologie ai fini della direttiva IPPC. Tale attività è in corso di implementazione nei siti in analisi. Pertanto, tali risultati possono costituire dei valori di riferimento relativi alla condizione attuale "as is" da confrontare con la condizione "to be" realizzabile alla fine dell'attività di revamping in corso di attuazione.

## Conclusioni

Il processo di adeguamento impiantistico degli insediamenti industriali italiani in determinati ambiti industriali ha subito negli ultimi anni una notevole accelerazione. Uno dei fattori trainanti nei settori industriali ricadenti nella direttiva IPPC è stata certamente la necessità di rientrare nei criteri ambientali definiti dalle BAT cercando di mantenere la competitività in settori strategici non più oggetto di vincoli protezionistici. Il criterio alla base della definizione delle BAT – scegliere la migliore tecnologia che garantisca livelli elevati di prestazioni ambientali - può in molti casi necessitare nella fase di applicazione di ulteriori approfondimenti in particolare in relazione agli aspetti della sicurezza del territorio. È quindi opportuno inserire fra i criteri di accettazione di nuove installazioni industriali o di ampliamenti di siti già esistenti anche un'ulteriore valutazione del cosiddetto "rischio d'area"; per il quale esistono diversi indicatori che permettono di avere valutazioni "condivise" fra i diversi soggetti interessati all'analisi.

La metodologia proposta nel lavoro si pone come obiettivi l'integrazione delle valutazioni relative al miglioramento ambientale imposte per determinati settori dalla direttiva IPPC con le valutazioni inerenti la sicurezza a livello sia di singolo impianto sia di area imposte dalle direttive Seveso. L'approccio proposto per la valutazione del livello di sicurezza integrato si basa sulla stima di due parametri: il rischio individuale che costituisce una valutazione efficace a livello di singolo impianto ed il rischio sociale che consente di dare indicazioni in relazione al rischio nell'intera area in analisi. In particolare, l'indicatore "rischio sociale" rappresenta bene l'effettivo coinvolgimento della collettività rispetto al rischio incidentale. In passato questo indicatore, almeno in Italia, era stato applicato solo ad alcune aree industriali: ciò era da imputare essenzialmente all'incertezza relativa ai criteri di accettabilità e all'eccessivo dispendio di risorse connesso con l'analisi.

La sperimentazione sviluppata su area pilota rappresentativa di molti poli industriali italiani, dimostra come sia possibile giungere ad una rapida valutazione del rischio d'area. Il metodo applicato si presta per essere condiviso fra i vari soggetti aventi causa con le decisioni in merito alle nuove installazioni industriali. Questa valutazione, sebbene basata su metodologie di tipo speditivo, può essere inserita nell'iter di valutazione della compatibilità ambientale e territoriale dei nuovi insediamenti industriali. In questo modo si può controllare che nell'evolversi di un'area non avvenga uno sbilanciamento fra miglioramento ambientale, perfettamente guidato ed orientato dalle BAT, e coinvolgimento della comunità locale nel rischio di incidente rilevante.

Il dilemma “sicurezza o ambiente” è senz’altro annoso. Su un piano tecnologico restano alcune contraddizioni, non completamente superate dallo sforzo di ricerca compiuto per la messa a punto delle BAT. Le residue contraddizioni non vanno dimenticate ma possono essere, nei casi reali, ricomposte trattando le diverse forme di coinvolgimento del territorio e delle comunità in esso presente. La valutazione speditiva dei rischi collettivi, sperimentata in questa ricerca, è uno strumento particolarmente utile a questo scopo.

#### **Ringraziamenti**

*La ricerca è stata parzialmente finanziata nell’ambito del Progetto Finalizzato Ministero della Salute PMS/022/2002.*

#### **RIFERIMENTI**

- [1] P.H. Bottelberghs, “Risk analysis and safety policy developments in the Netherlands”, *Journal of Hazardous Material*, Vol. 71, pp. 59–84, 2000.
- [2] Bedford P.H., Cooke R.M., *Probabilistic Risk analysis: Foundations and methods*, Cambridge University Press, 2001.
- [3] Health and Safety Executive, “The tolerability of risks from nuclear power station”, HSE Books ISBN 0-11-886368-1, 1992.
- [4] TAW, Technical Advisory Committee on Water Defences, “Some considerations of an acceptable level of risk in The Netherlands”, TAW, 1985.
- [5] Institute of Chemical Engineering, “Nomenclature for hazard and risk assessment in the process industries”, 1985.
- [6] Piers M., “Methods and models for the assessment of third party risk due tot aircraft accidents in the vicinity of airports and their implications for societal risk”, In: R.E. Jorissen, P.J.M. Stallen (Eds.), *Quantified Societal Risk and Policy Making*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1998.
- [7] Laheij G.M.H., Post J.G., Ale B.J.M., “Standard methods for land-use planning to determine the effects on societal risk”, *Journal of Hazardous Materials*, Vol.71, pp. 269–282, 2000.
- [8] Ale B.J.M., Laheij G.M.H., Uijt de Haag P.A.M., “Zoning instruments for major accident prevention”, in: C. Cacciabue, I.A. Papazoglou (Eds.), *Probabilistic Safety Assessment and Management*, ESREL, Crete, 1996.
- [9] Hirst I.L., Carter D.A., “A “worst case” methodology for obtaining a rough but rapid indication of the societal risk from a major accident hazard installation”, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 92 A, pp. 223–237, 2002.
- [10] Kroon I.B., Hoej N.P., “Application of Risk Aversion for Engineering Decision Making”, *Safety, risk and reliability—trends in engineering*, Malta, ISBN 3-85748-102-4, 2001.
- [11] EPA, “Risk management program guidance for offsite consequences analysis”, *Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office*, EPA 550-B-99-009, April 1999.
- [12] Bubbico R., Ferrari C., Mazzarotta B., “Risk analysis of LPG transport by road and rail”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol.13, pp. 27–31, 2000.