

**CONVENZIONE UNECE SUGLI EFFETTI TRANSFRONTALIERI DEGLI INCIDENTI
INDUSTRIALI - PROGETTO TEIAMM
SESSIONE: “METODI QUALITATIVI E QUANTITATIVI PER L’ANALISI DI RISCHIO E
RELATIVE VALUTAZIONI”**

Neil Manning*, Bruno Frattini*, Anna Borroni*, Fabrizio Bucci*, Antonio Triglia#, Davide de Dominicis°,
Loris Tomiato°, Laura Armanini°, Fabio Zulato°, Cristiano Piacente♦

*ICARO srl, Vicolo Boni, 7 – 52044 Cortona (AR)

n.manning@icarocortona.it

FORMEZ Centro di Formazione Studi, Via Salaria, 229, 00199 Roma

atriglia@formez.it

°ARPA Veneto, Dipartimento Provinciale di Venezia, Via Lissa n° 6, 30175 Mestre (VE)

ddedominicis@arpa.veneto.it

♦ Ministero dell’Ambiente e Tutela del Territorio, Via Capitan Bavastro, Via Capitan Bavastro 174,
00147 Roma (RM)

piacente.cristiano@minambiente.it

SOMMARIO

Nel contesto della co-operazione internazionale, il Ministero dell’Ambiente e tutela del territorio ha da tempo lanciato un programma di sviluppo di una metodologia rapida per l’analisi di rischio per l’ambiente ed il territorio connesso a determinate attività industriali; *Rapid Environment and Health Risk Assesment* (REHRA).

La metodologia si è sviluppata nel periodo 2000-2002, con l’obiettivo di fornire uno strumento di pianificazione ai paesi dell’Europa Orientale, per facilitare il loro processo di ingresso nell’Unione Europea. Per tale motivo la metodologia è fondata sulle principali Direttive Europee inerenti le attività industriali (con particolare riferimento alla Direttiva 96/82/CE “Seveso 2”) e fornisce una base per cominciare a strutturare le organizzazioni governative e le aziende al fine di affrontare i temi connessi a tali Direttive.

La crescente attenzione Internazionale verso la prevenzione degli incidenti industriali che possano avere effetti transfrontalieri, ha portato nel 1992 all’elaborazione della Convenzione TEIA (*Convention on the Transboundary Effects of Industrial Accidents*), con l’obiettivo di promuovere la cooperazione attiva tra i paesi contraenti prima, durante e dopo un incidente industriale.

Allo scopo di tenere in considerazione gli aspetti transfrontalieri, è stata sviluppata la metodologia REHRA – TEIAMM (*Transboundary Effects of Industrial Accidents Management Model*), basata su un supporto informatico idoneo a georeferenziare l’analisi (GIS).

La metodologia è in fase di test in Romania grazie ad una co-operazione del Ministero dell’Ambiente e Tutela del Territorio con le autorità ministeriali rumene.

I risultati complessivi sono previsti per fine settembre, nei quali saranno inserite le valutazioni in merito agli esiti di una simulazione di emergenza esterna prevista nella zona circostante un grande stabilimento petrolchimico, e che coinvolgerà tutte le parti coinvolte (industria, autorità locali, vigili del fuoco, forze dell’ordine).

1. INTRODUZIONE

A seguito dell’incidente avvenuto nel gennaio 2000 a Baia Mare (Romania) che ha determinato un consistente rilascio di cianuri nel Tibisco e che ha successivamente interessato il Danubio, il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio Italiano, in cooperazione con l’Istituto Mondiale della Sanità, ha lanciato un progetto pilota di valutazione rapida dei rischi per l’ambiente e la salute connessi alle attività industriali nel medio e basso bacino del Danubio. Scopo del progetto ‘*Environment and Health Rapid Risk Assessment in Secondary Rivers of the Mean and Lower Danube Basin*’ è stato quello di definire un *background* di conoscenze e di procedure per le autorità competenti degli Stati interessati, funzionale ad avviare un’attività ordinaria di prevenzione e controllo dei rischi e delle prevedibili emergenze per la salute e per l’ambiente.

In questo contesto il ministero dell’Ambiente Italiano e ICARO srl, avvalendosi anche del contributo di tecnici esperti (UE JRC Ispra, Hungarian Natilonal Institute for Environment and Health, Florida State University, Danish Toxicological Centre) hanno sviluppato la metodologia *Rapid Environment and Health Risk Assesment* (REHRA) basata su modelli di valutazione di rischio diffusi a livello internazionale, finalizzata a fine 2000 e testata nel corso del 2001-2002 in tre paesi del bacino del Danubio: Bulgaria, Romania e Ungheria (Frattini e Manning, 2002).

La crescente attenzione Internazionale verso la prevenzione degli incidenti industriali che possano avere effetti transfrontalieri, ha portato nel 1992 all’elaborazione della Convenzione TEIA (*Convention on the*

Transboundary Effects of Industrial Accidents), con l'obiettivo di promuovere la cooperazione attiva tra i paesi contraenti prima, durante e dopo un incidente industriale.

Il modello di sviluppo metodologico REHRA – TEIAMM ha seguito alcune linee principali:

- ampliamento dello spettro di analisi del rischio connesso ad eventi incidentali;
- introduzione di un modulo specifico di valutazione del rischio connesso alle emissioni continue;
- inserimento delle analisi sotto modello di gestione GIS.

Questa struttura aggiornata consente di definire un quadro più completo dell'effettivo livello di rischio associato a una attività industriale; particolare attenzione è stata posta a tutti quegli elementi di analisi che permettessero di

- inserire gli elementi che consentano di fornire una valutazione di rischio sia a livello di singolo impianto che nel complesso dello stabilimento;
- considerare la possibilità di incremento delle conseguenze di un incidente a seguito dello sviluppo del 'Effetto Domino', attraverso la valutazione del *layout* dello stabilimento e degli impianti, nonché delle sostanze pericolose utilizzate al loro interno;
- analizzare le conseguenze immediate e acute degli incidenti sull'ambiente e la salute;
- valutare in modo approfondito la vulnerabilità delle componenti ambientali e umane all'interno dell'area di studio attorno ad uno stabilimento.

2. STRUTTURA DI BASE

La struttura di base del REHRA – TEIAMM può essere suddivisa negli elementi principali riportati di seguito:

Modulo 'Selezione ed analisi preliminare dello stabilimento' che rappresenta la fase di selezione dello Stabilimento su cui applicare l'analisi di rischio in base a criteri stabiliti a livello internazionale (convenzioni e direttive europee) a cui segue una prima analisi dello stabilimento e suddivisione in impianti, sulla base dei criteri di selezione stabiliti dalla Direttiva 96/82/CE (Seveso II) e della logica di produzione (Fig 2.1).

Modulo 'Valutazione rapida del rischio dovuto a incidenti rilevanti' che rappresenta la fase di stima del rischio complessivo per uno stabilimento, legato agli incidenti rilevanti che possono verificarsi al suo interno. Tale analisi si basa sulla combinazione di indici descrittivi della pericolosità di ogni impianto (IHI) ovvero della probabilità di sviluppo di un incidente rilevante, con indici che rappresentano la valutazione della gravità degli effetti sull'ambiente e la popolazione determinata dai singoli incidenti analizzati (EPGI).

Modulo 'Valutazione rapida della vulnerabilità del territorio circostante lo stabilimento' che rappresenta la fase di valutazione della vulnerabilità del un territorio (riferita sia alle componenti ambientali che antropiche) in cui è inserito lo stabilimento analizzato, allo scopo di definire e descrivere per mezzo di un indice semplificato e immediato la vulnerabilità generale di un territorio, mediante un'analisi rapida delle caratteristiche/importanza delle componenti ambientali presenti, che permetta di:

- soddisfare alcune delle problematiche relative alla gestione/pianificazione delle attività industriali, stimando il grado di idoneità del territorio ad accogliere tali attività;
- individuare situazioni critiche dal punto di vista di compatibilità ambientale.

2.1 Modulo 'Selezione ed analisi preliminare dello stabilimento'

L'identificazione e la classificazione delle attività industriali pericolose vengono fatte sulla base delle linee guida e dei criteri disponibili a livello internazionale:

- Selezione sulla base delle sostanze pericolose utilizzate o immagazzinate all'interno dello stabilimento in accordo alla Direttiva Europea 96/82/CE
- Selezione sulla base dei criteri adottati nella Convenzione UN/ECE Helsinki del 1992 (Convenzione sugli effetti transfrontalieri degli incidenti industriali).

La seconda fase del modulo, prevede un'analisi più dettagliata della struttura produttiva dello stabilimento, al fine di individuare e suddividere il complesso generale delle attività nelle singole attività produttive, costituite dagli impianti di processo.

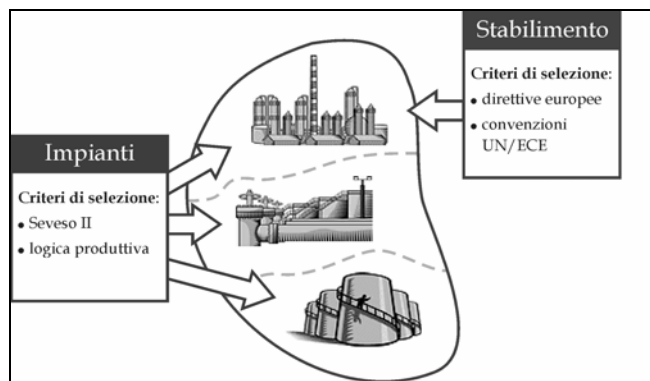


Figura 1. Rappresentazione schematica di uno stabilimento ai fini dell'applicazione della metodologia.

La suddivisione in impianti è basata sostanzialmente su una logica di produzione; pertanto, in aggiunta a quanto riportato precedentemente, la suddivisione è fatta sulla base della tipologia di prodotto, sia che esso sia un intermedio destinato ad altri impianti, sia che costituisca un prodotto finito dello stabilimento.

2.2 Struttura del modulo 'Valutazione rapida del rischio dovuto a incidenti rilevanti'

Uno stabilimento industriale è costituito da diversi impianti che processano differenti sostanze chimiche pericolose. Un incidente rilevante è collegato alla perdita di contenimento di una sostanza pericolosa all'interno di un impianto. Nel REHRA – TEIAMM, quindi, la stima del rischio complessivo di stabilimento passa attraverso la combinazione dei valori di rischio connessi a ciascun incidente considerato per ciascun impianto.

La definizione numerica del rischio di stabilimento, attraverso un indice composito, si basa, pertanto, sulla definizione di un indice di rischio relativo a ciascun incidente (come composizione di frequenza e conseguenze), sul passaggio all'indice di impianto e sulla composizione finale di un indice di stabilimento.

La struttura metodologica è rappresentata nell'albero logico illustrato nella figura 2.2.

Lo schema indica tutte le connessioni operative che consentono di partire dalle operazioni di base (riportate sulla parte inferiore dell'albero), per giungere alla definizione degli indici di pericolosità e di rischio, calcolati a livello di:

- Possibilità di guasto all'interno dell'impianto (IGI);
- Pericolosità di ciascun impianto (IHI);
- Gravità degli effetti sull'ambiente e la popolazione (EPGI);
- Rischio connesso a ciascun incidente all'interno di un impianto (ARI);
- Rischio associato a ciascun impianto (IRI);
- Rischio complessivo di stabilimento (ERI).

Tutti gli indici sono normalizzati e concatenati in maniera logica al fine di poter combinare le informazioni dei singoli indici per ottenere un indice di livello superiore.

Lo schema logico di funzionamento della metodologia è rappresentato dal Diagramma di figura 2.2.

Le informazioni di base vengono inserite per comporre gli indici di livello inferiore (posizionati sulla parte inferiore dell'albero). La composizione degli indici tra di loro consente di passare ad un livello superiore, fino a raggiungere l'indice rappresentativo dell'intero stabilimento.

Nel seguito si forniscono le principali informazioni relative a ciascun indice.

Albero logico della valutazione di ERI

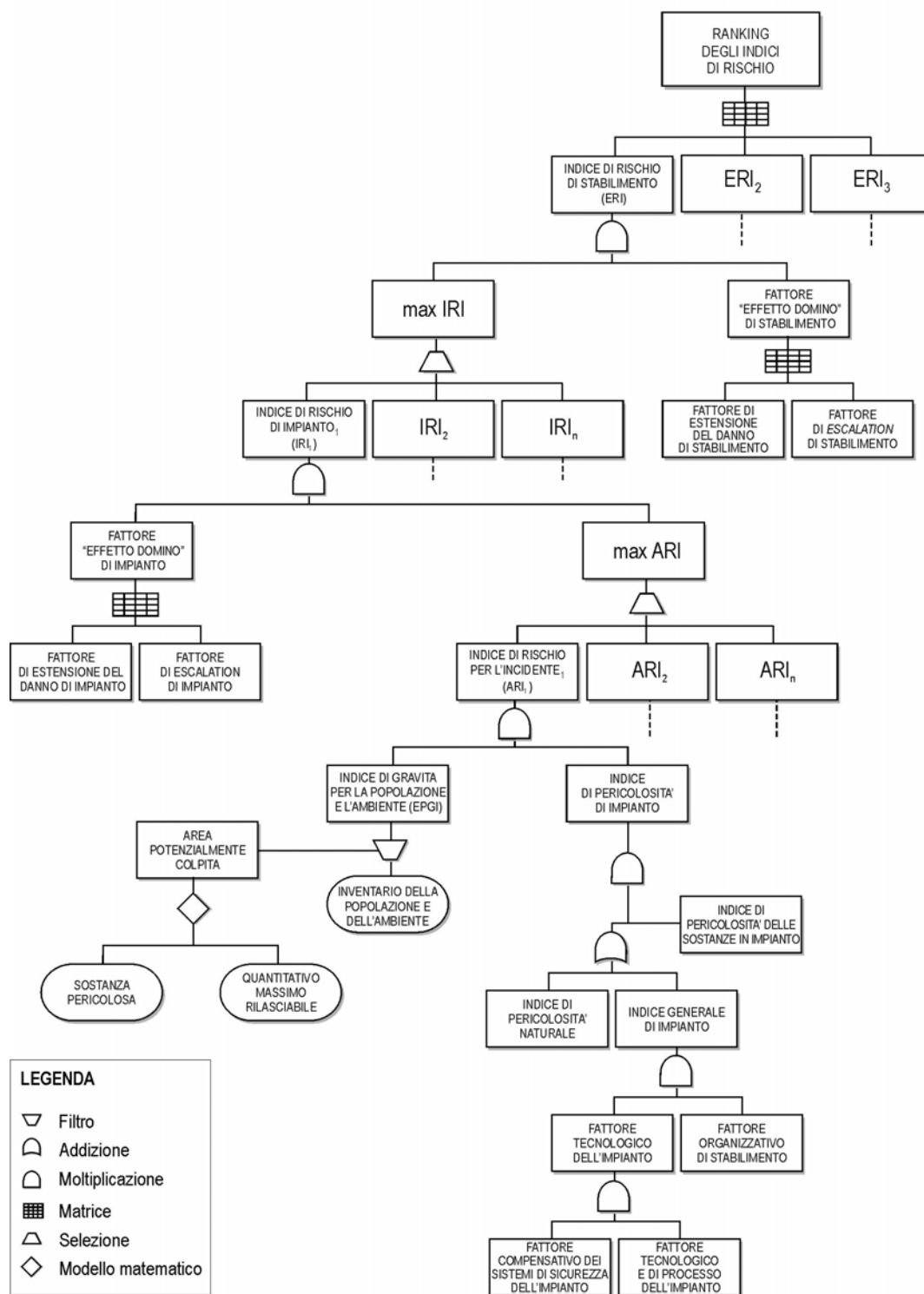


Figura 2. Rappresentazione grafica delle relazioni tra gli indici che compongono l'Indice di rischio associato allo stabilimento (ERI).

2.2.1 L'indice generale di impianto (IGI)

L'indice generale di impianto, IGI, descrive la possibilità di guasto all'interno dell'impianto, selezionato per mezzo dei criteri di cui sopra, sulla base di caratteristiche tecnologiche, di processo e di compensazione, definite per mezzo del *fattore tecnologico di impianto* (ITF) e del fattore umano, inteso come livello organizzativo nella gestione dell'ambiente e della sicurezza nello stabilimento, definito per mezzo del *fattore organizzativo di stabilimento* (EOF), legati da una moltiplicazione in quanto entrambi i fattori sono necessari per lo sviluppo di un eventuale incidente (1):

$$IGI = \sqrt{ITF \cdot EOF} \quad (1)$$

IGI varia tra 0,84 e 10. Ai fini della normalizzazione è stata usata la radice quadrata del prodotto.

Fattore tecnologico di impianto (ITF)

ITF, a sua volta, è composto da due fattori: il *fattore tecnologico e di processo dell'impianto* (ITPF), che considera i pericoli derivanti dalle caratteristiche tecniche e di processo (temperatura e pressione di processo, livello di controllo del processo, ecc.) e il *fattore compensativo determinato dai sistemi di sicurezza dell'impianto* (ISCF), che valuta l'importanza dei sistemi e delle misure di sicurezza adottate nell'impianto per la riduzione della pericolosità dello stesso (sistemi antincendio, sistemi di rilevamento di perdite di gas, sistemi di contenimento, ecc.).

Di seguito sono riportati gli elementi che concorrono al computo di ciascun fattore:

ITPF	Età dell'impianto
	Data dell'ultimo <i>revamping</i>
	Sistema di controllo di processo
	Tipologia di operazione condotta
	Condizioni operative dell'impianto
	Reazioni chimiche presenti
	Operazioni di carico/scarico
ISCF	Sistemi di rilevamento di perdite di gas e vapori
	Sistemi di contenimento
	Sistemi di isolamento
	Sistemi di raccolta per gli scarichi di emergenza
	Sistemi antincendio

Tabella 1. Elementi utilizzati per il calcolo del ITF.

Fattore organizzativo di stabilimento (EOF)

L'EOF è un indice che illustra la capacità di assicurare una gestione adeguata dei sistemi di sicurezza e protezione dell'ambiente presenti nello stabilimento. Esso è quindi definito a livello di 'Stabilimento', non a livello dei singoli 'Impianti'. Tuttavia, EOF è applicato a ciascun impianto, in quanto una gestione inadeguata dei sistemi di sicurezza può contribuire allo sviluppo di un incidente in un impianto. I fattori che influenzano l'indice sono riportati in tabella 2.2

EOF	Addestramento alla sicurezza
	Piano di Emergenza dello stabilimento
	Manutenzione
	Ispezioni Programmate delle apparecchiature critiche
	Sistemi di Gestione "Sicurezza e Ambiente"

Tabella 2. Elementi utilizzati per il calcolo del EOF.

2.2.2 L'indice di pericolosità di ciascun impianto (IHI)

L'indice di pericolosità di ciascun impianto, IHI, descrive la frequenza di accadimento di incidente rilevante attesa all'interno dell'impianto ed è dato dalla combinazione di tre indici distinti: *l'indice di pericolosità associato alle sostanze contenute nell'impianto* (IDSI), *l'indice di pericolosità naturale* (NHI) e *l'indice generale di impianto* (IGI). IHI è calcolato sulla base dell'equazione riportata nella formula (2):

$$IHI = \sqrt{\left[\frac{(IGI + NHI) \times 10}{12} \right]} \times IDSI \quad (2)$$

L'indice di pericolosità di ciascun impianto combina NHI e IGI per mezzo di una logica "OR", mentre la connessione finale con IDSI è definita da una logica "AND", a sottolineare che fenomeni naturali di entità

rilevante possono causare un danno alle strutture, e di conseguenza portare a un possibile sviluppo di incidente, a prescindere dagli aspetti tecnici e organizzativi di un impianto/stabilimento. Alla fine del processo, comunque, l'incidente avviene esclusivamente in presenza di sostanze pericolose (parametro IDSI), pertanto il collegamento con questo indice è definito da una logica "AND".

IHI varia tra 0 e 10. Ad un valore elevato dell'indice, corrisponde una maggiore probabilità di incidente nell'impianto. Ai fini della normalizzazione è stata usata la radice quadrata del prodotto. Visti i propri elementi costitutivi, l'indice IHI non è correlabile ad un evento incidentale specifico, ma è rappresentativo della probabilità complessiva che si sviluppi un incidente rilevante all'interno dell'impianto analizzato.

L'indice di pericolosità naturale (NHI)

L'indice è normalizzato tra 0 e 2; di seguito sono riportati gli elementi che concorrono nel computo di NHI:

NHI	Possibilità di alluvioni frequenti
	Rischio sismico
	Possibilità di eventi franosi frequenti, smottamenti o instabilità del suolo
	Possibilità di condizioni meteorologiche particolarmente avverse (Tornado, Uragani, ecc)
	Possibilità di sviluppo di incendi che possano interessare almeno due lati dello stabilimento (da considerare solo nel caso in cui la distanza tra i lati dello stabilimento e il bosco sia inferiore a 50 metri)

Tabella 3. Elementi utilizzati per il calcolo del NHI.

L'indice di pericolosità associato alle sostanze contenute nell'impianto (IDSI)

Il calcolo di IDSI si basa sul quantitativo totale delle sostanze pericolose utilizzate e/o immagazzinate nell'impianto. Attraverso la formula sotto riportata (3) si calcola uno specifico fattore chiamato *Fattore associato alle sostanze pericolose relativo all'impianto* (IDSF):

$$IDSF = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_i} \quad (3)$$

dove:

- qi: quantità di sostanza/composto_i pericolosi (o la categoria di sostanze/composti pericolosi presenti), come elencato all'interno dell'Annesso 1 (Parti 1 e 2) della Direttiva 96/82/CE (Seveso II), presenti all'interno di un impianto;
- Qi: quantità limite prevista per la sostanza/composto_i pericolosi come definiti nelle Parti 1 o 2 (colonna 2) dell'Annesso sopra citato;
- n: numero totale di sostanze pericolose utilizzate in un impianto.

La scelta di questa formula per il peso delle sostanze pericolose è stata fatta nell'ottica di allineare la metodologia con i criteri analitici della Direttiva 96/82/CE (Seveso II), al fine di rendere gli utenti più familiari con tali criteri.

IDSI è ottenuto confrontando il valore di IDSF con la tabella sottostante:

VALORE DI IDSF	VALORE DI IDSI
0 < IDSF ≤ 1000	IDSI = (IDSF) ^{1/3}
IDSF > 1000	IDSI = 10

Tabella 4. Fattori di correzione per IDSF.

2.2.3 L'indice della gravità degli effetti sull'ambiente e la popolazione (EPGI)

L'indice EPGI quantifica il rischio di conseguenze acute e immediate nell'area potenzialmente colpita da un incidente rilevante (PEA). Si basa sull'analisi degli effetti potenziali di un incidente sulle componenti ambientali e antropiche da esso minacciate. La stima di questo indice è effettuata sulla base dei passaggi seguenti:

Step 1: identificazione dell'area di rischio potenziale (PTA)

Area definita da un cerchio di 10 km di diametro attorno al centro dello stabilimento estesa di km 24 qualora sia presente un vettore naturale o artificiale (es. un fiume, un canale artificiale, un lago, ecc) nel quale si possa ipotizzare un rilascio accidentale. In tal caso, l'inventario dovrà interessare anche un'area localizzata lungo il percorso del vettore per un'estensione di km 24 per un fiume, o un semicerchio di raggio km 24 nel caso di un lago, di una laguna, di un bacino idrico o del mare.

Step 2: raccolta delle informazioni relative alle componenti ambientali e antropiche presenti all'interno dell'area di rischio potenziale

Le componenti da censire e classificare sono state individuate sulla base dei criteri proposti *dal Major Accident Reporting System* (MARS). Ogni componente è, inoltre, pesata sulla base della sua importanza/vulnerabilità. Di seguito sono riportate le componenti considerate:

FATTORE C	COMPONENTE
Vite umane (C_P)	Dipendenti dello stabilimento
	Abitanti
Componenti ambientali (C_E)	Acque dolci superficiali
	Acque sotterranee vulnerabili
	Mare
	Aree Protette
	Flora e Fauna
Componenti economiche (C_{EC})	Agricoltura
	Allevamenti
	Acquacoltura
	Industrie e Terziario
Componenti storico-culturali (C_C)	Componenti storico-culturali

Tabella 5. Componenti considerate per il calcolo di EPGL.

Step 3: valutazione rapida dell'estensione dell'area potenzialmente colpita (PEA) da un dato incidente rilevante, dei volumi o delle superfici di acqua eventualmente minacciati

Sulla base dei dati relativi all'impianto (sostanze e tipologie di processo) è possibile individuare un certo numero di incidenti potenziali. Il concetto adottato prevede la stima del quantitativo massimo di sostanza che può essere rilasciata nel caso peggiore, il cosiddetto *worst case scenario*. La stima dell'area potenzialmente colpita da un incidente e delle sue conseguenze viene valutata per mezzo di modelli diversi a seconda della matrice ambientale in cui avviene il rilascio (corpo idrico superficiale, suolo o atmosfera).

a) Rilascio di liquidi nel terreno

Nel caso di un rilascio al **suolo** la superficie di area potenzialmente colpita non viene quantificata e utilizzata per il calcolo delle conseguenze. Il rilascio nel terreno è comunque preso in considerazione, in quanto il suolo costituisce il mezzo che un eventuale liquido deve attraversare per raggiungere la falda sottostante. Tenendo conto sia della distanza tra falda e piano campagna, delle caratteristiche del terreno e delle proprietà chimiche delle sostanze, il modello permette di avere una stima dei tempi di arrivo degli inquinanti in falda. Il risultato finale è dato dal volume di acque sotterranee potenzialmente minacciate da un incidente.

b) Rilascio di liquidi in acqua

In questo caso l'area potenzialmente colpita (PEA) è così definita:

- Fiumi o canali artificiali: PEA coincide con l'intero corpo idrico per un percorso di 24 chilometri dal punto di rilascio di una sostanza, nella direzione della corrente;
- Laghi, acque di transizione, mare, bacini artificiali: PEA coincide con un settore circolare di raggio 24 km a partire dal punto di rilascio di una sostanza, per la porzione del settore circolare compresa all'interno dei confini del corpo idrico in questione.

La valutazione delle conseguenze terrà conto sia dei volumi e/o delle superfici di acqua minacciate, che di tutti i siti vulnerabili presenti all'interno del corpo idrico o lungo le sue sponde e localizzati nel *range* considerato, di cui sopra.

Le formule di valutazione del volume o della superficie idrica minacciata sono state tratte dal EU/JRC *Major Accident Reporting System* (MARS). La stima è basata sul quantitativo massimo rilasciabile in acqua e considera una serie di parametri chimico-fisici della sostanza (LC50 per organismi acquatici, persistenza, biodegradabilità).

Il quantitativo massimo rilasciabile nelle acque è una frazione del quantitativo massimo rilasciabile da un'apparecchiatura di processo. Tale frazione è stimata sulla base della volatilità della sostanza e dei sistemi di contenimento disponibili nell'impianto (bacini, barriere, impianti di trattamento).

c) Incendi, esplosioni e rilasci tossici in atmosfera

I seguenti effetti sono inclusi nel modello:

- Livelli di irraggiamento per gli incendi;
- Valore di sovrappressione per le esplosioni non confinate;
- Concentrazioni di sostanze pericolose a seguito della dispersione in atmosfera.

Il metodo applicato per la valutazione rapida degli effetti di un incidente in atmosfera si basa sul metodo speditivo per la pianificazione delle emergenze esterne (Presidenza del Consiglio dei Ministri, 1994) basato sulla metodologia IAEA *Method for classification and prioritisation of risk due to major accidents in process and related industries*, la cui ultima edizione risale al 1996.

Step 4. valutazione rapida della gravità delle conseguenze dell'incidente considerato sulle componenti ambientali e antropiche

A seguito del calcolo delle distanze di danno e dell'estensione dell'area potenzialmente colpita da ogni evento incidentale (PEA), tali valori sono riportati nelle mappe tematiche del territorio sviluppate in GIS, con l'obiettivo di identificare le componenti ambientali e antropiche potenzialmente coinvolte, ossia localizzate all'interno della PEA.

Le componenti utilizzate per il calcolo dell'*Indice di gravità degli effetti per l'ambiente e la popolazione* (EPGI) sono divise in quattro categorie principali:

- Vite umane (C_P);
- Componenti ambientali (C_E);
- Componenti socio-economiche (C_{EC});
- Componenti storico-culturali (C_C).

Per ognuna di queste categorie è stimato un fattore generale di gravità, C e EPGI è stimato come la somma ponderata del contributo di ciascuno dei quattro fattori.

EPGI rappresenta, in sostanza, il contributo in termini di **gravità** delle conseguenze, alla definizione del rischio associato a un incidente.

2.2.4 L'indice di Rischio connesso a ciascun incidente all'interno di un impianto (ARI)

L'indice di rischio connesso a ciascun incidente all'interno di un impianto (ARI) descrive l'entità del rischio associato a ciascun evento incidentale ed è dato dalla combinazione dell'indice di frequenza di incidente (IHI) e della gravità delle conseguenze (EPGI) (4):

$$ARI = \sqrt{IHI \cdot EPGI} \quad (4)$$

Occorre sottolineare che per la definizione della frequenza di sviluppo di un incidente si è utilizzato l'indice IHI, rappresentativo di tutto l'impianto e quindi uguale per qualsiasi evento incidentale. L'indice EPGI è invece specifico di ciascun incidente.

2.2.5 Rischio associato a ciascun impianto (IRI)

Un impianto può essere origine di differenti eventi incidentali, è quindi necessario pervenire alla definizione di un indice di rischio che tenga conto del contributo di ciascun incidente e degli effetti che ciascuno può determinare nell'impianto. Un evento incidentale, infatti, può essere causa di ulteriori eventi, che si sviluppano per Effetto Domino. Per tenere conto di questo fattore la metodologia prevede l'utilizzo di un fattore di incremento (IDEF) dell'indice di rischio legato a un incidente (ARI) e quindi all'impianto. Il calcolo segue la formula (5):

$$IRI = IDEF \cdot \max(ARI_i) \quad (5)$$

dove:

IRI: Indice di rischio di impianto;

$\max(ARI_i)$: valore massimo dell'indice di rischio relativo all'incidente selezionato tra tutti gli incidenti ipotizzati nell'impianto, vale a dire valore relativo al più grave incidente ipotizzato;

IDEF: fattore di incremento in relazione all'effetto domino, calcolato per l'impianto. Varia tra 1 e 1,2.

Riguardo alla selezione degli incidenti per il calcolo del fattore di effetto domino (IDEF), si deve sottolineare che gli 'incidenti iniziali' considerati, sono esclusivamente quegli incidenti che si possono sviluppare nell'impianto e che coinvolgano rilasci di energia (esplosioni, incendi), in quanto sono gli unici in grado di determinare danni consistenti alle apparecchiature limitrofe. L'impatto, in termini di incremento delle conseguenze, è riportato, invece, sul massimo incidente identificato, che potrebbe risultare connesso alla dispersione di sostanze tossiche.

Fattore di Effetto Domino per l'impianto (IDEF)

Il calcolo di IDEF è condotto mediante l'applicazione di una specifica matrice, che mette in correlazione l'estensione dell'area di danno attesa per l'incidente con la sua potenzialità di determinare un *escalation*. In particolare i fattori considerati sono:

- Fattore di estensione del danno (IDEF) – il quale considera che l'effetto domino sarà tanto più probabile quanto più è esteso l'incidente iniziale; l'indice è calcolato direttamente dal GIS in relazione alla posizione del potenziale punto di rilascio;

- Fattore di capacità di *escalation* (IEF) – il quale considera che l’effetto domino sarà tanto più grave quanto più è vulnerabile l’impianto in termini di sostanze presenti e di *lay-out*.

2.2.6 Rischio complessivo di stabilimento (ERI)

Uno stabilimento può comprendere al proprio interno una serie di impianti distinti, per ciascuno dei quali è possibile definire un indice di rischio. Il passaggio dal livello di ‘impianto’ a quello di ‘stabilimento’ prevede l’inserimento di un fattore che consideri le possibili interazioni tra gli impianti.

In sostanza, il concetto di ‘effetto domino’, già applicato all’interno di ogni impianto considerato viene esteso a livello di stabilimento, in modo da valutare la possibilità che un incidente di dimensioni rilevanti, originatisi all’interno di un impianto, possa determinare ulteriori incidenti su altri impianti.

Il calcolo avviene per mezzo della formula (6):

$$ERI = EDEF \cdot \max(IRI_i) \quad (6)$$

dove:

ERI: Indice di rischio di stabilimento;

max (IRI_i): valore massimo assunto dall’indice di rischio di impianto, selezionato tra tutti quelli calcolati per gli impianti analizzati in uno stabilimento;

EDEF: fattore di incremento in relazione all’effetto domino, calcolato per lo stabilimento. Varia tra 1 e 1,2.

La valutazione del fattore Effetto Domino è funzione ancora una volta della ubicazione dell’evento iniziale e dei quantitativi di sostanze pericolose presenti nello stabilimento.

2.2.7 Classificazione finale degli indici di rischio degli stabilimenti (ERI)

L’indice ERI è anche il punto di riferimento per l’approntamento di analisi volte all’identificazione delle misure impiantistiche e gestionali estese all’intero stabilimento, in grado di ridurre il rischio.

Gli indici IHI, IRI e ERI sono classificati per mezzo di uno stesso metodo riportato di seguito:

VALORE DELL’INDICE	GRADO DI RISCHIO O PERICOLOSITÀ
0 ≤ indice < 1.6	BASSO
1.6 ≤ indice < 3.6	MODERATO
3.6 ≤ indice < 6.4	ALTO
6.4 ≤ indice ≤ 10	MOLTO ALTO

Tabella 6. Classificazione degli indici di pericolosità/rischio di impianto e di stabilimento.

Gli indici sono normalizzati tra 0 e 10 secondo una distribuzione di classi non lineare, ma quadratica, adottata per mantenere la necessaria conformità con le formule non lineari utilizzate per il calcolo dei sub-indici. La scelta degli intervalli si è basata su un test preliminare basati sui risultati in termini di rischio della applicazione su di un campione rappresentativo di stabilimenti

2.3 Modulo ‘Valutazione rapida della vulnerabilità del territorio circostante lo stabilimento’ (GEHVI)

La stima della vulnerabilità è stata condotta per mezzo della definizione di un apposito indice, denominato GEHVI (Indice di vulnerabilità della popolazione e dell’ambiente).

COMPONENTE GENERALE	COMPONENTE	INDICE DI RIFERIMENTO
Componente antropica	Dipendenti dello stabilimento	PVI
	Abitanti	
Componente ambientale	Acque dolci superficiali	EVI
	Acque sotterranee vulnerabili	
	Mare	
	Aree Protette	
	Flora e Fauna	
Componente socio-economica	Agricoltura	ECVI
	Allevamenti	
	Acquacoltura	
	Industrie e Terziario	
Componenti storico-culturali	Componenti storico-culturali	ECI

Tabella 7. Componenti considerate per il calcolo del GEHVI.

L’indice è calcolato sulla base del censimento delle componenti ambientali e antropiche presenti all’interno dell’area di rischio potenziale (PTA) e alle informazioni sulla loro vulnerabilità e importanza

(considerate per mezzo di specifici fattori di incremento). Le componenti considerate nell'analisi sono suddivise in 4 categorie che danno luogo a 4 indici, come riportato in Tabella 2.7.

L'indice generale, GEHVI, che valuta la vulnerabilità complessiva del territorio circostante lo stabilimento, è definito come la somma pesata dei quattro indici sopra citati.

2.3.1 Classificazione dell'indice di vulnerabilità del territorio (GEHVI)

La classificazione della vulnerabilità del territorio circostante uno stabilimento è condotta in accordo alla seguente tabella:

VALORE DI GEHVI	GRADO DI VULNERABILITÀ
$0 \leq \text{GEHVI} < 1.6$	BASSO
$1.6 \leq \text{GEHVI} < 3.6$	MODERATO
$3.6 \leq \text{GEHVI} < 6.4$	ALTO
$6.4 \leq \text{GEHVI} \leq 10$	MOLTO ALTO

Tabella 8. Classificazione dell'indice GEHVI.

Anche in questo caso, la scala del grado di vulnerabilità non è lineare.

Nell'ambito dello sviluppo della metodologia REHRA – TEIAMM il GEHVI fornisce uno strumento di supporto alle valutazioni derivanti dall'indice di rischio connesso agli incidenti rilevanti di stabilimento, ERI. Il GEHVI fornisce un quadro generale della vulnerabilità intrinseca del territorio ed individua particolari criticità ambientali, a prescindere dall'effettivo valore del rischio. A parità di indici di rischio ERI, uno stabilimento inserito in un contesto territoriale ad elevata vulnerabilità richiede maggiore cautela a livello di gestione complessiva del rischio, soprattutto nel campo delle modifiche agli impianti.

3. IL SOFTWARE

Per l'applicazione di tale metodologia è stato sviluppato un software che permette in maniera semplice di coniugare le necessità di calcolo e archiviazione delle informazioni, con una visione in tempo reale delle caratteristiche della zona interessata sia per finalità di pianificazione che di simulazione modellistica.

Il programma è suddiviso essenzialmente in due parti tra loro interconnesse:

- un sistema di gestione dei dati e di calcolo degli indici sviluppato in Visual Basic®
- un'applicativo GIS sviluppata in ambiente ARCVIEW®

Le funzionalità del software prevedono tra l'altro:

- l'archiviazione e la gestione dei dati e delle informazioni sui siti industriali che potrebbero generare incidenti industriali gravi, con possibili effetti transfrontalieri;
- l'archiviazione e la gestione dei dati e delle informazioni relativi all'ambiente ed alla popolazione potenzialmente interessabili da gravi incidenti;
- la valutazione rapida e la classificazione della vulnerabilità generale ambientale del territorio circostante;
- la definizione delle aree e degli elementi sensibili coinvolti dalle conseguenze degli eventi incidentali ipotizzabili, ai fini della pianificazione e gestione delle emergenze;
- la rappresentazione su base cartografica degli elementi informativi selezionati, generati dalla metodologia, sia in termini di rischio valutato che in termini di prime indicazioni per la gestione delle emergenze

Oltre ai parametri per il calcolo è quindi possibile, attraverso la parte GIS, l'inserimento della corretta planimetria degli impianti e la loro localizzazioni spaziale all'interno del territorio circostante, magari integrato dalla presenza di rilevamenti aerei.

Partendo quindi dalla cartografia della zona è possibile inserire anche tutte le informazioni utili come la distribuzione della popolazione, la presenza e l'affollamento di varie strutture urbane tra cui ospedali, scuole e luoghi di culto, la distribuzione sul territorio dei centri di emergenza e altre informazioni importanti nella stesura dei piani per la gestione delle emergenze.(fig. 2.3)

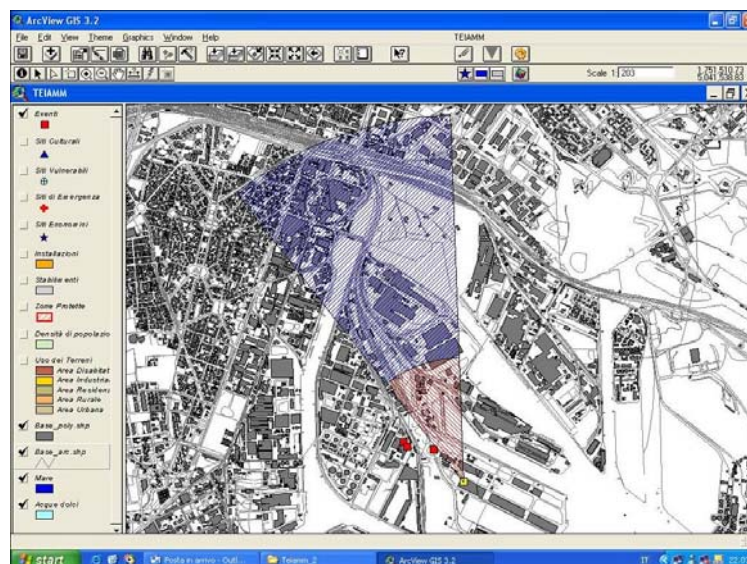


figura 3 – Rappresentazione degli scenari incidentali sulle mappe del territorio

Per permettere inoltre di studiare in maniera più libera i possibili scenari e il loro impatto ambientale, è stata prevista una modalità di simulazione che permette di impostare liberamente le distanze calcolate dalla metodologia scientifica.

La stessa fase di pianificazione è coadiuvata dalla possibilità di studiare l'impatto sulla popolazione di un insieme liberamente definibile di eventi inseriti, suddividendo l'ambiente circostante lo/gli stabilimenti in base al numero di vittime ipotizzate. (sulla base delle indicazioni derivate dall'analisi delle mappe, come in fig.2.4). Questi risultati possono essere utili non solo in fase di pianificazione delle emergenze ma anche in fase di pianificazione urbanistica in quanto sono indicate tutte le fonti di rischio, le zone di impatto, i bersagli sensibili, le infrastrutture.

Nella fase di sviluppo del software è stata tenuta in considerazione anche la scalabilità dell'applicazione e sono quindi state predisposte funzioni per integrare in maniera facile anche dati provenienti da altri database. Questo permette a gruppi di lavoro distinti, ognuno con la possibilità di utilizzo di tutte le funzionalità del software, di integrare in ogni momento le informazioni per effettuare uno studio e una pianificazione su larga scala e completamente integrato.

4. TEST IN ROMANIA

L'applicazione in Romania è iniziata nel settembre 2003, grazie ad un progetto di co-operazione internazionale lanciato dal Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio.

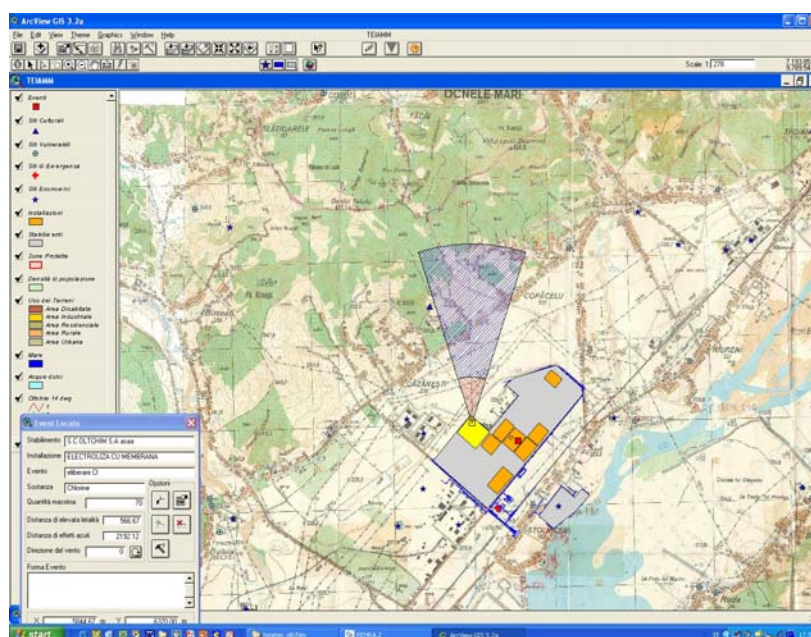


figura 4 – Aree di danno a seguito di un rilascio di cloro

Il principio che ha guidato lo sviluppo del progetto è stato quello di fornire agli utenti finali (rappresentanti del locale Ministero dell'Ambiente, degli uffici provinciali di protezione ambientale, della Protezione Civile, delle aziende interessate) tutte le informazioni necessarie a poter utilizzare il modello come strumento di lavoro quotidiano. Per tale motivo, lo sviluppo ha seguito una serie di seminari e workshops formativi volti a descrivere le principali tematiche relative alle sostanze pericolose, alle Direttive Europee, all'analisi di rischio fino alla comunicazione del rischio alla popolazione.

Il modello è stato indirizzato su due aziende chimiche ubicate in prossimità di fiumi di rilevanza nazionale ed affluenti del Danubio. Per ciascuno di tali stabilimenti si è proceduto con l'identificazione degli scenari incidentali più critici per la popolazione e l'ambiente. I risultati sono stati inseriti sulle mappe georeferenziate della zona al fine di avere una rappresentazione nel modulo GIS, come visibile nelle figure 2.4 e 2.5.

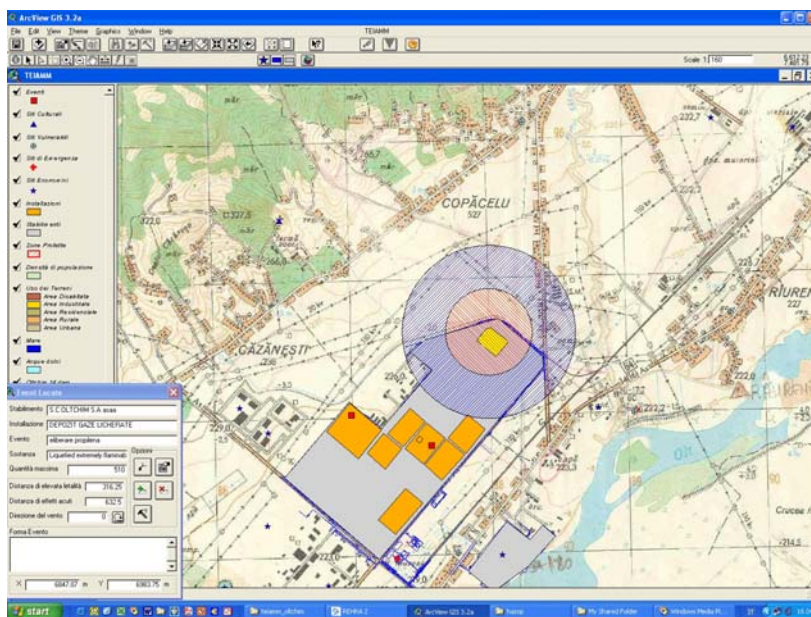


figura 5 – Aree di danno a seguito di un rilascio di GPL

Le valutazioni numeriche degli scenari incidentali hanno consentito di fornire gli elementi di base per la pianificazione dell'emergenza esterna. In particolare sono state sviluppate le analisi per il dimensionamento dei mezzi e del personale tecnico necessario a fronteggiare l'emergenza.

E' stato definito il Centro Operativo di Emergenza in termini di:

- persone che devono farne parte;
- mezzi di comunicazione necessari;
- mezzi tecnici di gestione emergenza necessari;
- collegamenti con il personale operativo esterno.

Inoltre sono state definite le necessità in termini di mezzi e personale operativo, coinvolgendo le seguenti strutture operative:

- Vigili del Fuoco (per le attività di messa in sicurezza);
- Polizia urbana (per il controllo del traffico);
- Pronto Soccorso (per l'eventuale ricezione di feriti);
- Forze dell'ordine (per attività connesse all'ordine pubblico – eventualmente l'evacuazione);
- Volontari (Croce Rossa, Misericordia, etc.);
- Operatori della comunicazione (per messaggi alla popolazione attraverso Televisioni e Radio);
- Istituti di protezione ambientale (per messa in sicurezza di elementi ambientali).

Nella progettazione del Piano di Emergenza Esterno, si è tenuto conto che nel caso più critico, relativo al rilascio di cloro, la nube tossica potrebbe raggiungere un paese di 1200 abitanti e che almeno 150 potrebbero subire effetti gravi, tali da richiedere cure e trattamenti specifici anti intossicazione).

Sulla base degli esiti di tali valutazioni, si procederà alla stesura del Piano di Emergenza Esterno, coinvolgendo le autorità locali, al fine di giungere alla conduzione di una emergenza simulata, stabilita per il 23 settembre 2004; gli esiti di tale esercitazione con la popolazione saranno utilizzati per indirizzare le possibili attività di informazione della popolazione e per migliorare il Piano di Emergenza stesso.

ELENCO DEI SIMBOLI

ARI	Indice di rischio relativo all'incidente selezionato
C	Fattore di gravità
ECI	Indice di vulnerabilità componenti storico-culturali
ECVI	Indice di vulnerabilità delle componenti socio-economiche
EDEF	Fattore di incremento in relazione all'effetto domino, calcolato per lo stabilimento
EDF	Fattore di estensione del danno, relativo allo stabilimento
EEF	Fattore di capacità di escalation, relativo allo stabilimento
EOF	Fattore organizzativo dello stabilimento
EPGI	Indice della gravità degli effetti sull'ambiente e la popolazione
ERI	Indice di rischio dello stabilimento
EVI	Indice di vulnerabilità delle componenti ambientali
GEHVI	Indice di vulnerabilità generale delle componenti ambientali e antropiche
IAEA	Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica
IEF	Fattore di capacità di escalation, relativa all'impianto
IDEF	Fattore di incremento in relazione all'effetto domino, calcolato per l'impianto
IDF	Fattore di estensione del danno, relativo all'impianto
IDSF	Fattore associato alle sostanze pericolose relativo all'impianto
IDSI	Indice di pericolosità delle sostanze contenute nell'impianto
IGI	Indice generale di impianto
IHI	Indice di pericolosità dell'impianto
IRI	Indice di rischio di impianto
ISCF	Fattore compensativo determinato dai sistemi di sicurezza dell'impianto
ITF	Fattore tecnologico dell'impianto
ITPF	Fattore tecnologico e di processo dell'impianto
LC50	Concentrazione letale – 50% della popolazione esposta
MARS	Sistema di informazioni sugli incidenti rilevanti del EU/JRC
NHI	Indice di pericolosità naturale
PEA	Area potenzialmente colpita
PTA	Area di rischio potenziale
PVI	Indice della vulnerabilità relativo alla vita umana
Q	Quantitativo massimo rilasciabile di una sostanza
REHRA	Valutazione rapida del rischio per l'ambiente e la salute
UE JRC	Centro Comune di Ricerca della Comunità Europea
UN/ECE	Commissione Economica delle Nazioni Unite per l'Europa
WHO	Organizzazione Mondiale della Sanità

BIBLIOGRAFIA CITATA

- [1] B. Frattini, M. Manning, Pilot project on environment and health rapid risk assessment in secondary rivers of the mean and lower Danube basin – Methodology and application. UN/ECE – Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes – *The Second International Conference*, (2002).
- [2] IAEA, UNEP, UNIDO, WHO, Method for classification and prioritisation of risk due to major accidents in process and related industries. IAEA, (1996).
- [3] Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile, Pianificazione di emergenza esterna per impianti industriali a rischio di incidenti rilevanti - Linee Guida. Roma, (1994). <http://www.theotes.it/metodo%20speditivo.pdf>
- [4] UN/ECE, Convenzione di Espoo. Convenzione sulla valutazione di impatto ambientale in un contesto transfrontaliero. Espoo, Finland, 25 Febbraio 1991. <http://www.unece.org/env/eia/documents/conventiontextenglish.pdf>
- [5] UN/ECE, Convenzione sugli effetti transfrontalieri degli incidenti industriali. <http://www.unece.org/env/teia/text.htm>
- [6] UNIONE EUROPEA, Direttiva 96/82/CE del Consiglio del 9 dicembre 1996 sul controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose. *Gazzetta ufficiale*, n. L 010, pp. 0013 – 0033, (1997).