

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

**CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN INGEGNERIA PER
L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali

TESI DI LAUREA SPECIALISTICA

in

Gestione integrata degli aspetti di salute, sicurezza e ambiente LS

**STABILIMENTI A RISCHIO DI INCIDENTE
RILEVANTE: VALUTAZIONE DELLA
VULNERABILITÀ AMBIENTALE**

CANDIDATO
Andraghetti Elisa

RELATORE:
Ing. Bonvicini Sarah
CORRELATORE INTERNO
Ing. Antonioni Giacomo
CORRELATORE ESTERNO
Ing. Zoppellari Paolo

Anno Accademico 2008/2009

Sessione I

Indice

1	INTRODUZIONE	4
2	INQUADRAMENTO NORMATIVO	6
2.1	Normativa europea.....	6
2.2	Normativa italiana.....	10
3.	IL PROGETTO ARAMIS	14
3.1	MIMAH	17
3.2	Identificazione e valutazione dei sistemi di sicurezza.....	28
3.3	Valutazione dell'influenza dell'efficienza della gestione della sicurezza	35
3.4	MIRAS.....	37
3.5	Valutazione del Severity Index.....	50
4.	VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ.....	55
4.1	La metodologia Saaty	57
4.2	Calcolo dell'indice di vulnerabilità	59
4.3	Quantificazione dei bersagli nell'area di studio	61
4.3.1	Bersaglio uomo.....	62
4.3.2	Bersaglio ambiente	62
4.3.3	Bersaglio beni materiali.....	63
4.4	Il software ARAMIS.....	63
4.5	La procedura per la valutazione della vulnerabilità ambientale.....	65

4.5.1	Informazioni iniziali	65
4.5.1.1	Tematismo sito industriale	66
4.5.1.2	Tematismo popolazione residente	67
4.5.1.3	Punti di vulnerabilità	68
4.5.1.4	Rete stradale	69
4.5.1.5	Rete ferroviaria	69
4.5.1.6	Canali	70
4.5.1.7	Uso del suolo	71
4.5.1.8	Aree naturali specifiche	71
4.5.2	La scelta della griglia	72
5.	CASO DI STUDIO: DATI E RISULTATI	73
5.1	Raccolta dati	73
5.2	Proiezione della griglia	75
5.3	Applicazione della metodologia	77
5.4	Risultati ottenuti	81
6.	CONCLUSIONI	90
	Bibliografia	92
	Siti consultati	93
	Ringraziamenti	94

INTRODUZIONE

In seguito al grave incidente di Seveso, gli stati dell'Unione Europea hanno deciso di dotarsi di una politica comune in materia di prevenzione dei grandi rischi industriali a partire dal 1982. Nacque così la Direttiva Seveso che impone agli Stati membri di identificare i propri siti a rischio. Nel tempo si è evoluta, inglobando al suo interno il controllo dei rischi da incidente rilevante connessi con sostanze pericolose, per limitare le conseguenze per le persone e per l'ambiente, al fine di assicurare un elevato livello di protezione in tutta la Comunità.

Si è quindi incominciato a sviluppare metodologie per la valutazione del rischio, tenendo conto che i bersagli soggetti ad un incidente possono essere: l'uomo, l'ambiente e i beni materiali (si considerano anche i beni materiali, perché un danno a questi, può provocare un danno all'uomo). L'attenzione maggiore è stata posta sul target "uomo", individuando metodi adatti alla valutazione del rischio legato a quest'ultimo. L'attenzione sul bersaglio "ambiente" è quindi una novità in questo settore ed è stata presa in considerazione proprio attraverso il progetto a livello europeo, denominato A.R.A.M.I.S. (Accidental Risk Assessment Methodology for Industries) che, come obiettivo, ha lo sviluppo di una nuova metodologia mirata a definire e stimare un indice di rischio integrato per i siti industriali soggetti alla Direttiva 96/82/EC in materia di controllo del rischio di incidente rilevante.

Nel seguente elaborato si intende illustrare i principali nodi di sviluppo della metodologia e analizzare nel particolare quanto concerne la valutazione della vulnerabilità ambientale, poiché ciò è una delle innovazioni di tale metodologia, rispetto a quelle già esistenti, infatti nelle analisi di rischio si è sempre considerato marginalmente questo aspetto. Il concetto di vulnerabilità ambientale si può definire come il "grado di perdita di un elemento soggetto a rischio dopo il verificarsi di un fenomeno di magnitudo nota". Si vuole quindi definire un indice per identificare e caratterizzare la vulnerabilità di tutti i bersagli localizzati nell'ambiente circostante il sito soggetto a rischio di incidente rilevante. Occorre

individuare l'area di studio e i bersagli di interesse, identificare e quantificare i bersagli nell'area di studio e, infine, valutare la loro vulnerabilità; per quest'ultimo aspetto è necessaria una metodologia specifica, descritta nel dettaglio in questo elaborato.

Si ricorda inoltre che questa metodologia non risulta ancora applicata ad un sito industriale appartenente a quella che è la realtà industriale italiana. L'obiettivo quindi è quello di prendere conoscenza della metodologia per applicarla ad un'area reale italiana.

Il presente elaborato è articolato in diversi capitoli: nel capitolo 2 si forniscono alcuni cenni alla Direttiva Seveso e al Dlgs 334/99, nel capitolo 3 si analizza la struttura del progetto A.R.A.M.I.S., nel capitolo 4 si sviluppa nello specifico la metodologia per la valutazione della vulnerabilità ambientale, nel capitolo 5 è stata descritta l'applicazione al caso reale e al capitolo 6 sono lasciate le conclusioni.

1 INQUADRAMENTO NORMATIVO

2.1 Normativa europea

Nel 1976 il gravissimo incidente di Seveso, che causò la formazione di una nube di diossina che ha investito tutta la città e dintorni, fece emergere in tutta la sua drammatica urgenza la necessità di una seria e rigorosa regolamentazione degli aspetti legati alla sicurezza degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante, che portò all'emanazione della Direttiva 1982/501/CE (denominata comunemente *Seveso I* e recepita in Italia con il DPR 175/88).

Il costante impegno comunitario su questo tema strategico continuò ininterrotto e nel 1996 venne emanata la Direttiva 1996/82/CE (denominata *Seveso II* e recepita in Italia con il D.Lgs. 334/99) contenente una serie di importanti ed innovative scelte tecniche e gestionali mirate alla mitigazione dei rischi di incidente rilevante, che tra le tante novità introdotte allargò ulteriormente l'ambito di applicazione a categorie di stabilimenti non comprese nella *Seveso I*.

La direttiva «Seveso II» intende prevenire gli incidenti rilevanti connessi con sostanze pericolose e limitarne le conseguenze per le persone e per l'ambiente, al fine di assicurare un elevato livello di protezione in tutta la Comunità. Sono stati apportati cambiamenti importanti e sono stati introdotti nuovi concetti. La direttiva si incentra sulla protezione dell'ambiente introducendo per la prima volta nel campo di applicazione le sostanze ritenute pericolose per l'ambiente (in particolare quelle tossiche per l'acqua). Sono stati inclusi nuovi requisiti riguardanti in particolare i sistemi di gestione della sicurezza, i piani di emergenza, l'assetto del territorio o il rafforzamento delle disposizioni relative alle ispezioni o all'informazione del pubblico.

Un ulteriore catastrofico incidente, precisamente l'evento di Tolosa del 2001, che con i suoi 28 morti, 2000 feriti e 22000 evacuati ha riportato in prima pagina il tema della sicurezza negli stabilimenti a rischio di incidente rilevante. E' in questo scenario che la Comunità europea ha pubblicato la Direttiva 2003/105/CE,

denominata Seveso III, recepita in Italia dal D.Lgs. 238/05, che integra ed aggiorna che il D.Lgs. 334/99.

In estrema sintesi ecco le ultime novità introdotte:

- modifica del campo di applicazione con estensione ad alcuni settori non ricompresi nella precedente direttiva;
- proposta di emanazione di nuove direttive collegate alle tematiche di elaborazione dei Rapporti di Sicurezza ed al controllo dell'urbanizzazione;
- informazione alla popolazione estesa a tutte le strutture frequentate dal pubblico;
- estensione degli adempimenti gestionali, già previsti per le aziende interessate, anche alle imprese subappaltatrici che lavorino nello stabilimento;
- revisione dei limiti delle sostanze per l'applicabilità della norma.

Il campo di applicazione della direttiva è ampliato e semplificato al tempo stesso. La direttiva si applica agli stabilimenti in cui sono presenti, o in cui si reputa possano essere generate in caso di incidente, sostanze pericolose in quantità uguali o superiori a quelle indicate in uno degli allegati. Le sostanze specificate sono state ridotte da 180 a 50, rispetto alla direttiva Seveso I, ma sono accompagnate da un elenco di categorie di sostanze, che conduce, in pratica, ad ampliare il campo di applicazione.

La direttiva 2003/105/CE, invece, ha esteso il campo di applicazione della direttiva Seveso II, includendo le operazioni di lavorazione e di deposito di sostanze minerali prodotte dalle industrie estrattive e contenenti sostanze pericolose e gli impianti di smaltimento degli sterili utilizzati in queste operazioni.

La normativa prevede che i gestori abbiano degli obblighi precisi, tra i quali:

- adottare tutte le misure necessarie per prevenire incidenti rilevanti e limitarne le conseguenze per le persone e l'ambiente;

- dimostrare in qualsiasi momento all'autorità competente di aver preso tutte le misure necessarie.
- l'obbligo di notifica delle sostanze pericolose presenti nello stabilimento in base al principio secondo cui sarebbe illegale per le imprese conservarne quantità ingenti senza avvisarne le autorità.

Per quanto concerne il concetto di politica di prevenzione, gli Stati membri devono:

- provvedere affinché il gestore rediga un documento che definisca la propria politica di prevenzione degli incidenti rilevanti;
- vigilare sulla corretta applicazione di tale politica.

Gli Stati membri devono inoltre provvedere affinché il gestore presenti un rapporto di sicurezza al fine di:

- dimostrare di aver messo in atto una politica di prevenzione degli incidenti rilevanti e un sistema di gestione della sicurezza;
- dimostrare che i pericoli di incidenti rilevanti sono stati individuati e che sono state prese le misure necessarie per prevenirli e per limitarne le conseguenze;
- dimostrare che la progettazione, la costruzione, l'esercizio e la manutenzione di qualsiasi impianto, deposito, attrezzatura e infrastruttura connessi con il funzionamento dello stabilimento, che hanno un rapporto con i pericoli di incidente rilevante nello stesso, sono sufficientemente sicuri e affidabili;
- dimostrare l'avvenuta predisposizione dei piani di emergenza interni;
- fornire gli elementi che consentono l'elaborazione di un piano di emergenza esterno;
- fornire alle autorità competenti informazioni sufficienti.

Il rapporto di sicurezza deve contenere diverse informazioni tra cui l'inventario aggiornato delle sostanze pericolose presenti nello stabilimento.

Tale rapporto deve essere riesaminato:

- almeno ogni cinque anni; oppure
- in qualsiasi altro momento, su iniziativa del gestore o su richiesta dell'autorità competente qualora fatti nuovi lo giustifichino; oppure
- in caso di modifica di un sito.

A talune condizioni, il gestore può essere dispensato dalle autorità competenti dal presentare alcune informazioni nel rapporto di sicurezza senza tuttavia che ciò lo sollevi dall'obbligo di presentare il rapporto stesso. Gli Stati membri trasmettono in tal caso alla Commissione un elenco motivato delle esenzioni concesse.

È stato inoltre imposto l'obbligo di presentare, oltre al rapporto di sicurezza, anche un piano di emergenza interno e trasmetterlo alle autorità competenti insieme alle informazioni che consentano loro di elaborare un piano di emergenza esterno. Tali piani di emergenza devono essere sperimentati e riesaminati almeno ogni tre anni.

Vista l'importanza della posizione reale degli impianti, l'autorità competente deve:

- individuare gli stabilimenti o i gruppi di stabilimenti per i quali sussiste una maggiore probabilità che si verifichi un incidente rilevante e per i quali le conseguenze potrebbero essere aggravate a causa del luogo, della vicinanza degli stabilimenti e dell'inventario delle sostanze pericolose in essi presenti;
- assicurarsi che lo scambio delle informazioni e la cooperazione tra gli stabilimenti abbia luogo.

Per quanto concerne le informazioni sulle misure di sicurezza, gli Stati membri provvedono affinché si tenga conto degli obiettivi di prevenire gli incidenti rilevanti nelle rispettive politiche in materia di destinazione e utilizzazione dei suoli, in particolare controllando l'insediamento di nuovi stabilimenti, le modifiche degli stabilimenti esistenti e i nuovi insediamenti (vie di comunicazione, zone residenziali, ecc.) attorno agli stabilimenti esistenti. Gli Stati membri devono tenere conto della necessità di garantire a lungo termine il

mantenimento o la fissazione di distanze adeguate tra gli stabilimenti e le zone d'abitazione. Provvedono affinché le informazioni sulle misure di sicurezza da adottare e sulle norme di comportamento da osservare in caso di incidente siano fornite d'ufficio alle persone che possono essere colpite da un incidente rilevante. Essi provvedono inoltre affinché i rapporti di sicurezza siano messi a disposizione del pubblico.

Con il progressivo aumento dell'importanza della partecipazione pubblica, anche in questo settore i cittadini devono essere consultati in determinati casi, quali:

- elaborazione di progetti relativi a nuovi stabilimenti;
- modifiche di stabilimenti esistenti;
- creazione di nuovi insediamenti intorno agli stabilimenti esistenti.

Sono, però molto importanti anche i rapporti tra i vari Stati della Comunità Europea, perciò essi devono mettere a disposizione degli Stati vicini che possono subire gli effetti transfrontalieri di un incidente rilevante; queste informazioni consentono loro di adottare le misure pertinenti.

In seguito agli incidenti industriali che si sono verificati a Baia Mare, in Romania, nel gennaio 2000 (sversamento di cianuro nel fiume Tisza), a Enschede, nei Paesi Bassi, nel maggio 2000 (esplosione in un deposito di materiale pirotecnico) e a Tolosa, in Francia, nel settembre 2001 (esplosione in una fabbrica di fertilizzanti) il Parlamento e il Consiglio hanno adottato la direttiva 2003/105/CE.

La modifica alla direttiva 96/82/CE si è resa necessaria per dettare nuove misure di prevenzione e un più efficace controllo degli incidenti negli stabilimenti a rischio.

2.2 Normativa italiana

La direttiva Seveso è stata recepita in Italia sei anni dopo la sua emanazione, con il decreto del Presidente della Repubblica del 17 maggio 1988, n. 175 “Attuazione della direttiva CEE n.501 del 24 giugno 1982 relativa ai rischi di incidenti

rilevanti connessi con determinate attività industriali”, in seguito modificato e integrato da diverse disposizioni normative e di carattere tecnico applicativo fino alla Legge n.137 del 19 maggio 1997 “Sanatoria dei decreti legge recanti modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 17 maggio 1988 n.175, relativo ai rischi di incidenti rilevanti connessi con determinate attività industriali”.

Il D.P.R. 175/88 distingueva gli impianti a rischio in due tipologie in base al grado di pericolosità:

- stabilimenti sottoposti a notifica (art. 4);
- stabilimenti sottoposti a dichiarazione (art 6).

In Italia la direttiva Seveso bis è stata recepita con il D.Lgs 334/99, che è divenuta la nuova legge quadro in materia di rischio industriale, e che introduce dei sostanziali cambiamenti rispetto la legislazione precedente:

1 lo stabilimento è controllato nel suo complesso, anziché con riferimento ad ogni singolo impianto/deposito, in relazione alla possibile presenza di quantitativi massimi di sostanze classificate come pericolose, uguali e superiori alle quantità di soglia indicate negli specifici allegati del decreto, a prescindere dalla loro eventuale ripartizione in impianti produttori o utilizzatori, nonché in unità di deposito o stoccaggio;

2 la creazione di un sistema teso alla realizzazione/applicazione di un’efficace politica di prevenzione degli incidenti rilevanti. A tal fine il decreto prevede che il gestore dello stabilimento provveda ad organizzare, realizzare e rispettare un sistema di gestione della sicurezza che, integrato nella gestione generale dell’azienda, faccia sì che ogni possibile evento incidentale che si configuri all’interno dello stabilimento possa essere affrontato, gestito e quindi posto efficacemente sotto controllo;

3 il decreto sottolinea la necessità di considerare la prevenzione degli incidenti rilevanti durante la pianificazione della destinazione e dell’utilizzo dei suoli e della loro urbanizzazione, sia a breve sia a lungo termine, con uno specifico riguardo per quei territori particolarmente sensibili, prevedendo linee di

sviluppo che concilino le esigenze degli stabilimenti già esistenti con lo sviluppo industriale e urbano dei territori circostanti;

4 nell'ottica di una maggior integrazione della matrice industriale con il territorio circostante, il decreto indica una serie di informazioni minime di cui il cittadino debba essere messo al corrente per poter poi esprimere un parere che apporti un costruttivo contributo nell'elaborazione di progetti finalizzati;

5 il decreto prevede altresì che il gestore possa esercitare il proprio diritto al segreto industriale o alla tutela delle informazioni di carattere commerciale, personale o che si riferiscano alla pubblica sicurezza, ma deve comunque fornire alla popolazione informazioni organizzate e messe a disposizione del pubblico previo controllo delle autorità competenti, in una forma ridotta ma che consenta tuttavia la conoscenza delle eventuali problematiche.

Con l'emanazione del decreto legislativo 21 settembre 2005, n. 238 che attua la direttiva 2003/105/CE (cosiddetta anche "Seveso ter") si rinnova la disciplina sul controllo dei rischi di incidenti rilevanti connessi con le sostanze pericolose di cui al Decreto legislativo 334/1999 ("Seveso bis") e che recepisce la direttiva 96/82/CE ora modificata dalla citata direttiva 2003/105/CE.

Il nuovo decreto che attua la direttiva "Seveso ter" non introduce nuove definizioni legislative: tuttavia opera notevoli modifiche anche ampliando e semplificando il campo di applicazione della disciplina dei rischi sui rischi di incidenti rilevanti. Infatti, la "Seveso ter" (e il nuovo testo di recepimento nazionale) tengono conto delle circostanze nelle quali si sono verificati gli incidenti industriali: per questo da un lato si inseriscono nuove sostanze cancerogene e dall'altro si riducono di molto le quantità di sostanze pericolose che è possibile detenere senza arrecare pregiudizio all'ambiente.

Fra le novità che il nuovo testo della "Seveso", sono in particolare da segnalare:

- l'allargamento dell'applicazione, fermo restando l'innalzamento delle soglie minime previste per gli oli pesanti ed il gasolio;
- la partecipazione al processo di adozione della pianificazione d'emergenza dei soggetti interessati, prevedendo la consultazione anche dei lavoratori delle imprese appaltatrici, nella fase dei piani di emergenza interni, nonché

delle popolazione interessata, nel caso di aggiornamento di piani di emergenza esterni;

- una maggiore informazione e nelle forme più idonee alla popolazione interessata sulle misure di sicurezza;
- individuazione di nuove categorie di elementi vulnerabili da tenere in considerazione nell'ambito delle politiche di assetto del territorio e delle relative procedure di attuazione (edifici frequentati dal pubblico, aree ricreativa e infrastrutture di trasporto principali, ad esempio);
- abrogazione degli obblighi di un regime diversificato per alcuni impianti, onde evitare una possibile distorsione della concorrenza;
- riconoscimento ai Comitati tecnici regionali il rango di autorità di controllo circa lo scambio di informazioni tra stabilimenti.
- Per quanto riguarda la mappa dei doveri- ma anche certe di certe contraddizioni che già abbiamo segnalato nella precedente news - che la "Seveso ter" comporta e per quanto riguarda i reati previsti dalla nuova disciplina saranno oggetto di prossimi approfondimenti.

3. IL PROGETTO ARAMIS

Con il verificarsi di importanti incidenti come Enschede (2000), Tolosa (2001) o Lagos (2002) si è incominciato a non fidarsi più delle decisioni in merito alla sicurezza degli impianti prese da industrie e autorità competenti. La comunità vuole essere informata e si richiede più trasparenza nei processi decisionali. È per questo motivo che è emersa l'esigenza di individuare una metodologia unica che delinea regole precise per selezionare i possibili scenari di incidenti, tenendo in considerazione l'efficacia dei sistemi di gestione di sicurezza per il controllo del rischio. Nel contesto della Direttiva Seveso bis si sottolinea inoltre il bisogno di un metodo che consenta di raggiungere un consenso tra gli esperti di rischio di tutta Europa.

L'obiettivo è quello di costruire una nuova metodologia per la valutazione del rischio dovuto a incidenti per industrie che combini la forza di un approccio sia deterministico che risk-based.

La metodologia si basa sulla definizione del rischio, che definisce gli elementi sui quali l'analisi di rischio si deve concentrare.

Il rischio si definisce come una combinazione di incertezza e danno, il rapporto tra i pericoli e le misure di protezione adottate per difendersi da essi o la combinazione tra la frequenza con cui si manifesta un evento dannoso e le sue conseguenze, cioè l'impatto che può avere sui bersagli circostanti l'area in cui si è verificato l'evento.

Si classifica nel seguente modo:

- Rischio convenzionale: è proprio di tutte le attività lavorative (e anche non lavorative) ed è oggetto della salute e sicurezza sul lavoro.
- Rischio di incidente rilevante: si definisce incidente rilevante (secondo il D.Lgs 334/99) "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 e che dia luogo a 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”.

La tipologia di rischio presa in considerazione in questo elaborato è proprio la seconda, focalizzando l'attenzione sul comparto ambiente.

Il rischio è, quindi, la probabilità che un elemento del territorio subisca un danno, la quale può essere anche espressa in termini di frequenza. Per osservare un danno, un evento pericoloso deve colpire con una determinata intensità il soggetto vulnerabile. Il livello di danno atteso è determinato dalla vulnerabilità dell'elemento e dall'intensità del fenomeno. È quindi nato il concetto di “gravità” (severity), come combinazione di frequenza e intensità. L'obiettivo è stato, perciò, quello di valutare i danni e la vulnerabilità separate, per fornire gli elementi necessari alla valutazione del rischio.

La metodologia si basa sul presupposto che la probabilità o la frequenza del verificarsi di un evento dannoso è determinata da due componenti: la frequenza dell'evento iniziale e l'affidabilità ed efficienza dei sistemi di sicurezza che prevengono il verificarsi dello scenario. Per identificare i rischi è quindi indispensabile individuare le possibili cause e le misure di sicurezza e quantificare il loro contributo alla frequenza dell'evento critico.

L'efficienza e l'affidabilità dei sistemi di sicurezza sono influenzati dalla qualità della loro gestione. Se i dispositivi di sicurezza sono progettati, installati, utilizzati, mantenuti in buone condizioni e migliorati in modo corretto, dovrebbero essere efficienti e adempire il loro scopo. Tutti questi aspetti sono determinati attraverso il sistema di gestione della sicurezza. Quest'ultimo, però, può essere efficiente solo se i dipendenti hanno una completa comprensione di come possono interagire con le misure di sicurezza.

Il progetto si divide in diverse fasi importanti:

- MIMAH: identificazione del rischio/pericolo di incidente rilevante;

- Identificazione dei sistemi di sicurezza e valutazione delle loro caratteristiche;
- Valutazione dell'efficienza della gestione della sicurezza;
- MIRAS: identificazione degli scenari di riferimento;
- Valutazione della gravità rischio relativo agli scenari;
- Valutazione della vulnerabilità dell'ambiente circostante l'impianto.

Nel seguente capitolo sono descritte tutte le fasi della metodologia, escludendo l'ultima, cioè la valutazione della vulnerabilità ambientale poiché a questa è dedicato il capitolo 4.

3.1 MIMAH

Nelle industrie di processo, l'identificazione dei possibili scenari di incidente è un punto chiave per la valutazione del rischio. Quello che succede, soprattutto se si utilizza un approccio deterministico, invece, è valutare il rischio attraverso gli scenari più pericolosi, considerati spesso senza i sistemi di sicurezza utilizzati. Tutto ciò può portare ad una sovrastima del livello di rischio e non promuove l'implementazione dei sistemi di sicurezza. Uno degli obiettivi di questo progetto è cercare di risolvere questo problema.

Verranno di seguito descritti i metodi per identificare gli incidenti rilevanti (senza considerare i sistemi di sicurezza), per studiare approfonditamente i sistemi di sicurezza (Parag. 3.1) e per individuare gli scenari di riferimento (Parag. 3.4), che tengono in considerazione anche i dispositivi di sicurezza.

MIMAH permette di identificare quali incidenti possono verificarsi all'interno dello stabilimento, avendo preliminarmente considerato quali apparecchiature sono presenti e le proprietà fisico-chimiche delle sostanze utilizzate, ed è schematizzato in breve nella Fig. 1 e nella Fig. 2. Il termine "rischio di incidente rilevante" è da intendersi come il caso peggiore che si possa manifestare all'interno dello stabilimento, assumendo che non ci siano sistemi di sicurezza installati.

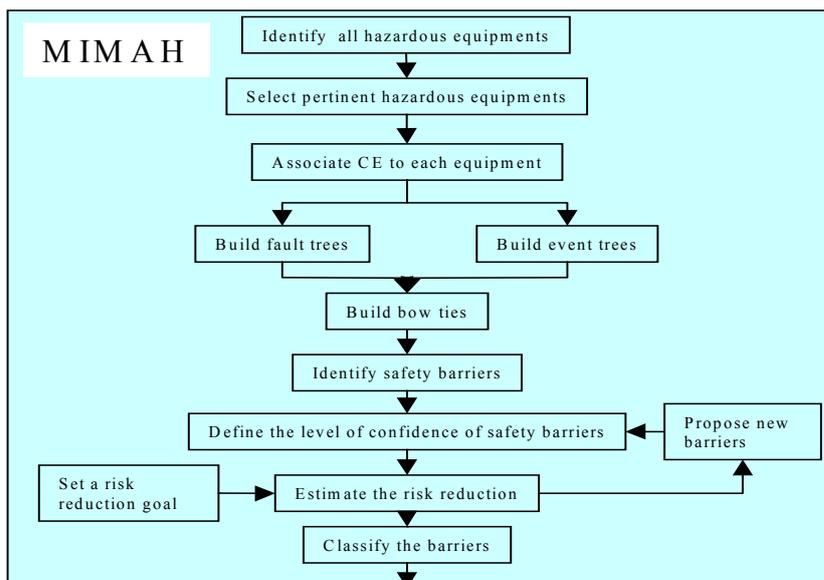


Figura 1: Schema a blocchi prima parte MIMAH

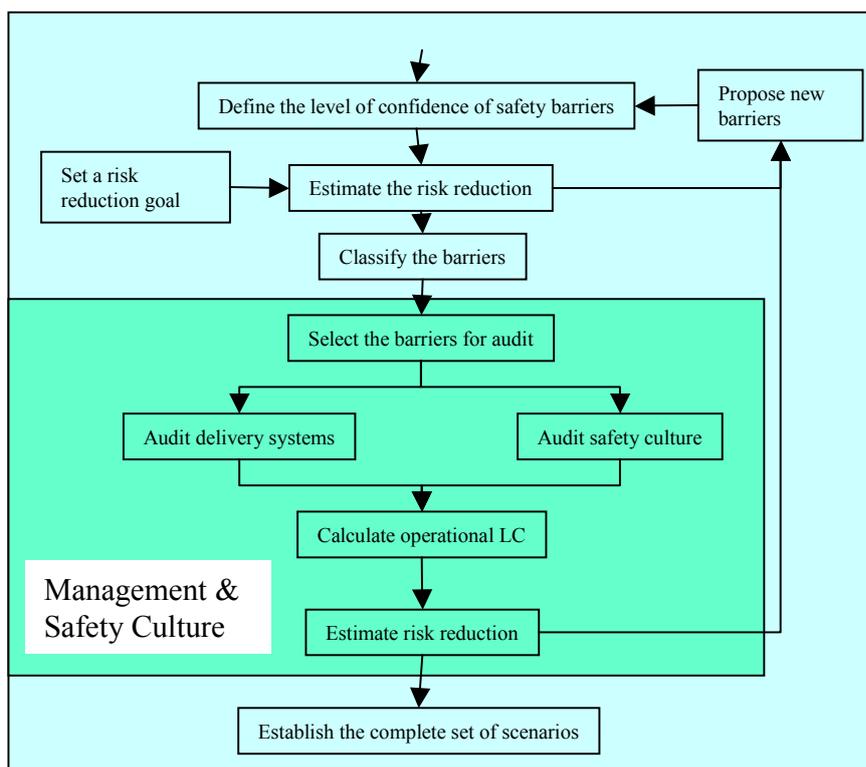


Figura 2: Schema a blocchi seconda parte MIMAH

Il metodo è basato principalmente sull'uso di diagrammi "bow-tie": sono centrati nell'evento critico (CE), definito come perdita di contenimento (LOC) o perdita di

integrità fisica (LPI), sulla sinistra è presente l'albero dei guasti, che identifica le possibili cause dell'evento critico, mentre sulla destra l'albero degli eventi, che individua le possibili conseguenze. La novità della metodologia consiste nel definire in modo preciso la struttura a "bow-tie", identificando accuratamente i dispositivi, i potenziali eventi critici e le loro conseguenze. Attraverso una descrizione accurata dell'impianto, comprendendo anche le sostanze usate, siano esse prodotte o stoccate, è possibile creare una lista di eventi che potrebbero verificarsi nel sito. La lista completa contiene dodici tipologie di eventi critici, comprese le esplosioni, i crolli e le fratture. MIMAH permette che, per ogni evento critico, si identifichino tutte le conseguenze in termini di eventi secondari e fenomeni pericolosi. Si fornisce inoltre una serie di alberi di guasto generici, basati sulle cause più frequenti e attraverso questi si costruiscono alberi di guasto specifici che tengono in considerazione le specificità dell'impianto, ad esempio il tipo di processo utilizzato o la presenza di diversi dispositivi. Gli alberi si ottengono eliminando quelle cause e conseguenze che non sono attinenti al contesto, senza nessuna considerazione sulla loro probabilità.

È importante notare che entrambe gli alberi sono impostati senza considerare i sistemi di sicurezza, poiché saranno definiti nel passo successivo della metodologia. Questo ha il vantaggio di distinguere esplicitamente tra pericolo e rischio. Questa prima fase permette di identificare i pericoli, mentre la successiva ha lo scopo di identificare i rischi, che derivano dagli scenari pericolosi e dal guasto dei sistemi di sicurezza.

Concretamente si individuano sette fasi (Fig. 3), descritte brevemente di seguito.

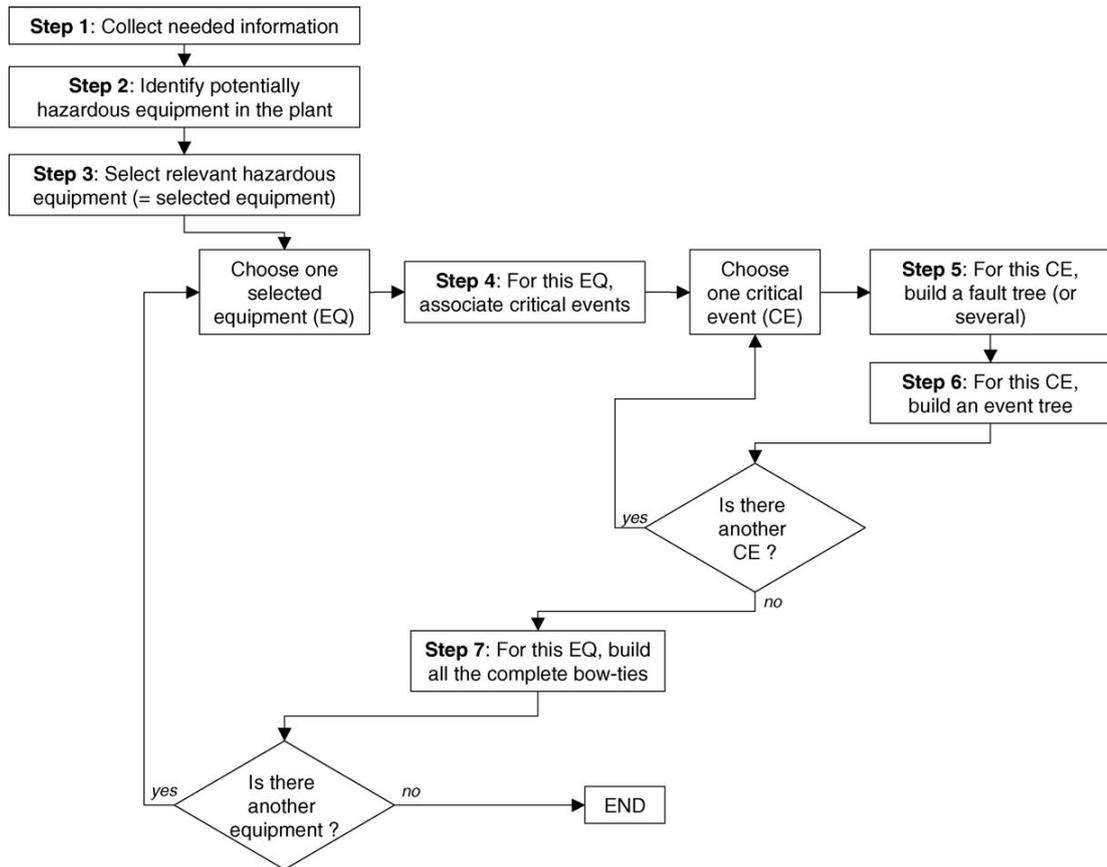


Figura 3: Fasi principali MIMAH

1. FASE 1: Raccogliere le informazioni necessarie

Per identificare gli scenari di incidente rilevante, occorre raccogliere informazioni, sia prima di iniziare al procedura, sia durante. Innanzitutto sono necessarie le informazioni sull'impianto, quali il layout, la descrizione dei processi, delle apparecchiature e delle tubazioni. Occorrono inoltre i dati relativi alle sostanze stoccate o trattate. Nella tabella seguente si mostrano le informazioni necessarie, riferite ad ogni fase della metodologia.

Tabella 1: Dati necessari per la metodologia MIMAH

FASE	DESCRIZIONE DEI DATI NECESSARI
Fase 1: raccogliere le informazioni necessarie	Dati generali sull'impianto: <ul style="list-style-type: none"> - Layout - Breve descrizione dei processi - Breve descrizione di apparecchiature e tubazioni
Fase 2: identificare le apparecchiature potenzialmente pericolose nell'impianto	<ul style="list-style-type: none"> - Lista delle sostanze stoccate o movimentate nell'impianto - Proprietà delle sostanze
Fase 3: selezionare le apparecchiature soggette a incidente rilevante	Per ogni apparecchiatura individuare: <ul style="list-style-type: none"> - Nome - Dimensioni - Pressione e temperature di servizio - Sostanze utilizzate - Stato delle sostanze - Quantità delle sostanze all'interno - Proprietà delle sostanze - Temperatura di ebollizione delle sostanze
Fase 4: associare ad ogni apparecchiatura selezionata un evento critico	Non servono ulteriori dati
Fase 5: per ogni evento critico, ostruire un albero dei guasti	Non sono necessari ulteriori dati, ma è consigliato un incontro con industriali per individuare le possibili cause di incidenti.
Fase 6: per ogni evento critico, costruire un albero degli eventi	Non servono ulteriori dati
Fase 7: per ogni apparecchiatura, costruire l'intero diagramma "bow-tie"	Non servono ulteriori informazioni.

2. FASE 2: Identificare delle apparecchiature potenzialmente pericolose nell'impianto

Sulla base delle informazioni ottenute, occorre redigere una lista delle sostanze pericolose presenti, facendo riferimento

a quanto disposto dalla Direttiva Seveso II. Successivamente si stila un elenco delle apparecchiature che le contengono; a questo scopo, si sono individuate quattro diverse tipologie di unità, ovvero parti dello stabilimento che formano gruppi fisicamente separati di apparecchiature da altre:

- Unità di stoccaggio: utilizzata per lo stoccaggio di materie prime, prodotti intermedi, prodotti finali o di scarto;
- Unità di carico e scarico: utilizzata per l'ingresso e/o l'uscita di sostanze dallo stabilimento che coinvolgono anche mezzi di trasporto;
- Rete di tubazioni: collegano le diverse unità;
- Unità di processo: utilizzate per la lavorazione delle sostanze o per la produzione di energia da consumare all'interno dello stabilimento.

Per poter definire quali di queste unità posso contenere determinate sostanze, ARAMIS propone sedici categorie di combinazioni sostanza-apparecchiatura, ciascuna individuabile da una sigla diversa (per l'intera tabella si rimanda al lavoro di Delvosalle et al.). Infine, è necessario precisare in quale stato fisico si trovano le sostanze prese in considerazione (solido, liquido, gassoso o bifasico).

Il risultato finale di questa fase è una tabella che dovrebbe contenere le seguenti informazioni:

- Nome della sostanza
- Frasi di rischio della sostanza

- Nome dell'apparecchiatura nella quale è possibile trovare la sostanza
- Tipo di apparecchiatura
- Stato della sostanza all'interno dell'apparecchiatura.

Questa tabella costituisce la lista delle apparecchiature potenzialmente pericolose nell'impianto.

3. FASE 3: Selezionare le apparecchiature a rischio di incidente rilevante

In questa fase si selezionano le apparecchiature soggette a rischio di incidente rilevante, tra quelle individuate nello step precedente; questo significa selezionare quelle apparecchiature che contribuiscono in modo significativo al rischio di incidenti dell'impianto. Il criterio da seguire è il seguente: “un'apparecchiatura contenente una sostanza pericolosa è caratterizzato come a rischio di incidente rilevante se la quantità di sostanza contenuta è maggiore o uguale ad una soglia prestabilita”. La suddetta soglia dipende dalle proprietà della sostanza, dal suo stato fisico, dalla sua tendenza a passare allo stato gassoso ed, eventualmente, la sua posizione all'interno dell'impianto, considerando le apparecchiature circostanti (si pone quindi l'attenzione anche su possibili effetti domino). Occorre quindi disporre di determinate informazioni, quali nome e tipo dell'apparecchiatura, tipo e caratteristiche della sostanza, comprese la quantità contenuta nell'apparecchiatura (in kg) o la massa rilasciata in 10 minuti, se si stanno considerando i flussi attraverso le tubazioni.

In conclusione sono state selezionate quelle apparecchiature a rischio di incidente rilevante, che verranno poi studiate nelle fasi seguenti.

FASE 4: Associare un evento critico ad ogni apparecchiatura

Il fulcro del diagramma a “bow-tie” è l’evento critico. Si sono individuate, infatti, dodici diverse tipologie di eventi critici (per la lista completa si rimanda al lavoro di Delvosalle et al.). Per individuare a quale apparecchiatura associare l’evento critico si utilizzano due matrici, una delle quali incrocia il tipo di apparecchiatura con le tipologie di evento critico, mentre l’altra incrocia lo stato fisico della sostanza con le suddette tipologie. Queste matrici permettono di associare una lista di eventi critici ad ogni apparecchiatura selezionata.

4. FASE 5: Costruire un albero dei guasti per ogni evento critico

L’obiettivo di questa fase è quello di costruire un albero dei guasti per ogni evento critico identificato durante la fase precedente. La metodologia suggerisce di utilizzare un albero dei guasti generico (Fig. 4), da considerare come una lista di possibili cause e può essere modificato per adattarlo alle effettive caratteristiche dell’apparecchiatura.

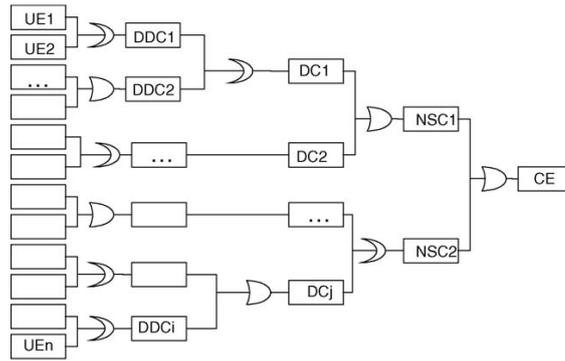


Figura 4: struttura di un albero dei guasti

Gli alberi di guasto sono limitati a cinque livelli collegati dagli operatori AND o OR, in accordo con le seguenti sequenze logiche: combinazioni di eventi indesiderati (UE) conducono a cause dirette dettagliate (DDC), che, combinate, portano alle cause dirette (DC), che scaturiscono le condizioni necessarie e sufficienti (NSC) che provocano l'evento critico (CE). Riassumendo si può dire che ogni evento critico è associato ad un albero di guasti generico e per ogni rottura/perdita si fornisce un albero dei guasti separato. Gli alberi di guasto devono essere modificati per adattarli alle effettive caratteristiche delle apparecchiature studiate. Saranno poi utilizzati come checklist e come supporto.

5. FASE 6: Costruire un albero degli eventi per ogni evento critico

La parte destra del diagramma “bow-tie”, denominata alberi degli eventi, identifica le possibili conseguenze di un evento critico (Fig. 5).

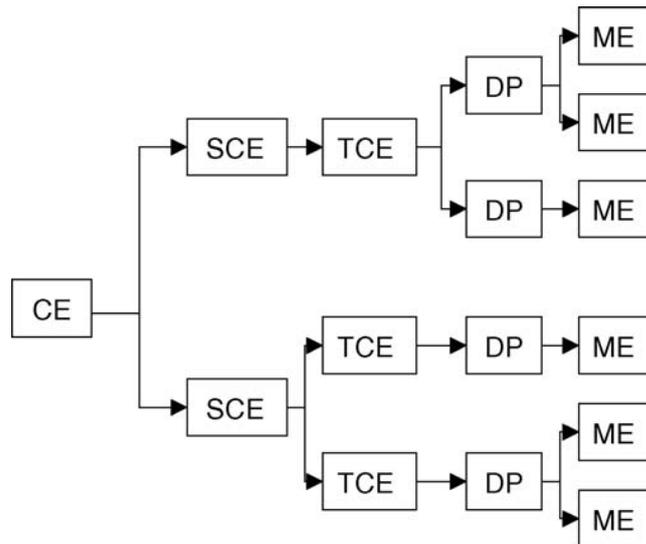


Figura 5: Struttura di un albero degli eventi

L'evento critico (CE) conduce all'evento critico secondario (SCE), che porta ad un evento critico terziario (TCE) che permette lo sviluppo del fenomeno pericoloso (DP). Si definiscono successivamente gli scenari finali (ME), rapportando il fenomeno pericoloso ad ogni bersaglio (uomo, ambiente e beni materiali). I possibili effetti sono flusso termico, sovrappressione ed effetti tossici. L'albero degli eventi di ogni evento critico è costruito con un metodo automatico, basato su matrici. Le informazioni necessarie sono l'evento critico, lo stato fisico e le proprietà della sostanza. Uno schema del metodo è mostrato in Fig. 6

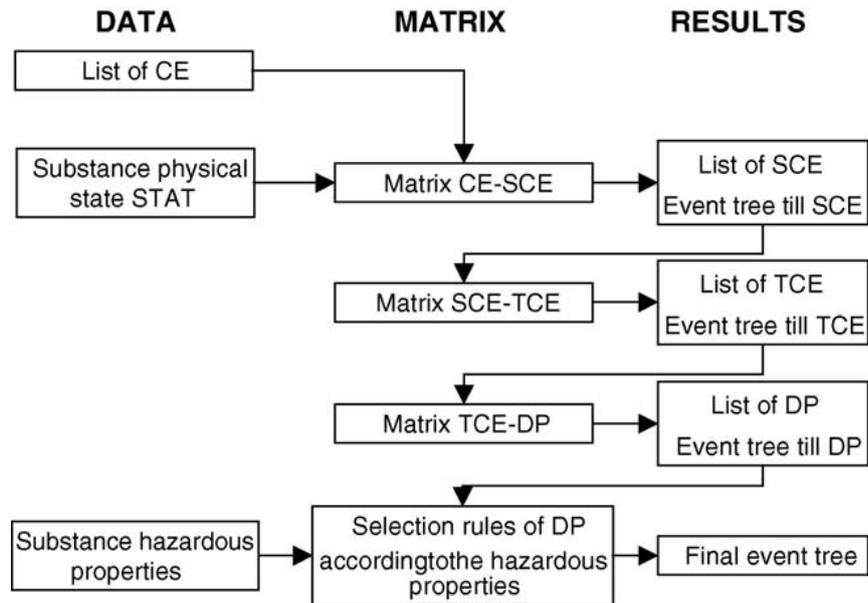


Figura 6: Metodologia per costruire l'albero degli eventi

6. FASE 7: Per ogni apparecchiatura selezionata costruire il diagramma completo “bow-tie”

La metodologia termina con la costruzione del diagramma “bow-tie” completo per ogni apparecchiatura selezionata. Ogni diagramma è ottenuto dall'unione all'evento critico del proprio albero dei guasti (sulla sinistra) e degli eventi (sulla destra). Questi diagrammi, risultato dell'intera metodologia MIMAH, individuano i possibili scenari di incidenti rilevanti, assumendo che non ci siano sistemi di sicurezza o che non siano efficienti. Si è quindi individuata la base per l'applicazione della metodologia MIRAS, descritta successivamente nel paragrafo 3.4.

3.2 Identificazione e valutazione dei sistemi di sicurezza

Il secondo step della metodologia ha come obiettivo una corretta stima del livello di rischio e deve promuovere l'implementazione dei sistemi di sicurezza; gli effetti di quest'ultimi sono considerati in termini di frequenza dell'incidente e magnitudo delle conseguenze.

La definizione dei requisiti di sicurezza è un punto chiave della metodologia. Il metodo proposto è ispirato dagli standard IEC 61508, normativa che indica i criteri di realizzazione al fine di ottenere un livello di sicurezza funzionale dei sistemi elettrici, elettronici ed elettronici programmabili per applicazioni di sicurezza.

Alcune definizioni base contenute nella norma sono le seguenti:

- *Electrical/Electronic/Programmable Electronic System* ovvero sistemi per il controllo, protezione, osservazione che hanno uno o più apparati elettrici, elettronici, elettronici programmabili. Includono tutti gli elementi del sistema come alimentazione elettrica, sensori, ed altri apparati di input, data highways (reti di comunicazione dati), ed altri sistemi di comunicazione, attuatori ed altre attrezzature di emissione comando.
- *Safety Function (funzione di sicurezza)* ovvero la funzione che deve essere implementata per ridurre un pericolo o mantenere uno stato di sicurezza per l'attrezzatura sotto controllo rispetto ad uno specifico evento pericoloso.
- *Safety Related System* ovvero il sistema progettato per ottenere, da solo o con altri sistemi E/E/SEP (dispositivi elettrosensibili) o con altre tecnologie, il livello di integrità richiesto dalle funzioni di sicurezza identificate.
- *Safety Integrity Level (SIL)* ovvero la probabilità richiesta ad un sistema di sicurezza per effettuare correttamente le sue funzioni in tutte le condizioni previste. Il SIL è funzione dell'affidabilità dei componenti selezionati e

della frequenza di prova stabilita. Quindi la funzione di sicurezza deve rientrare in una condizione di affidabilità misurata dal SIL.

Una volta valutato, quantitativamente o dimensionalmente, un rischio ci si pone l'obiettivo di ridurlo fino ad un livello accettabile. Per ottenere questo si interpongono dei livelli di sicurezza che sottraggono quantità di rischio fino ad un livello, denominato residuo, che dovrà corrispondere o, meglio ancora, superare i nostri obiettivi iniziali. Ogni livello sarà composto di elementi specifici che potranno essere inerenti, sia interni che esterni. Dimensionando a seconda delle specifiche peculiarità o necessità di ogni elemento si avranno contributi diversi e quindi quantità di rischio proporzionalmente sottratta. La sicurezza funzionale aumenta il livello di *protezione inerente*. Un tipico esempio è quello di evitare il superamento

del livello di rischio definito accettabile, come quello di una pressione ammissibile per un'attrezzatura. Questa funzione di sicurezza (o sicurezza funzionale) potrebbe essere svolta da una valvola di regolazione che assicuri un livello di pressione su una linea in determinate condizioni di rischio dell'impianto e nel contempo garantisca valori di regolazione nel funzionamento ordinario. Verificate le probabilità numeriche che la catena di sicurezza fallisca alla richiesta di intervento in caso di anomalie di esercizio (inclusi gli errori umani e di funzionamento valutati

come rischio), senza trascurare il fatto che il medesimo componente svolge numerose

operazioni nel funzionamento ordinario, questa potrebbe affiancarsi o addirittura sostituire una protezione passiva (ad esempio un riduttore di pressione a coefficiente volumetrico fisso). Si intuisce che, se da un lato l'adozione estensiva della sicurezza funzionale incentiva la sempre minor adozione di dispositivi attivi di mitigazione (esempio valvole di sicurezza, dischi di rottura, ecc.), dall'altro impone uno standard tecnologico di elevata affidabilità e costantemente in funzione per ricoprire nuove funzioni di prevenzione.

Essenzialmente il SIL è legato ai tassi di guasto de singoli componenti e la valutazione del SIL trae origine da metodologie di calcolo di affidabilità della catena

specificata adottata. Si impone pertanto l'impiego di dispositivi di qualità elevata che il mercato ha recepito con una rapida ed importante immissione di prodotti ad alta fidatezza e di informazioni sui tassi di guasto dei singoli componenti.

L'idea è quella di guidare l'utente nell'identificazione dell'obiettivo di riduzione del rischio che dovrebbe essere associato allo scenario. Questo approccio ha un triplo scopo:

- Aiutare l'utente a migliorare la gestione dei rischi, definendo in modo chiaro i bersagli;
- Aiutare l'autorità competente a controllare la riduzione del rischio;
- Provvedere ad una valutazione del rischio residuo.

Per definire i requisiti di sicurezza si sono distinte quattro classi di tipologia di conseguenze associate agli effetti più importanti, indipendentemente dall'intensità del fenomeno considerato. Le varie classi riflettono anche la possibilità di un effetto domino; in questo caso la classe attribuita ad un dato fenomeno aumenta a causa del progredire dell'incidente.

Di seguito sono spiegate le fasi principali:

4. IDENTIFICARE LE FUNZIONI E I DISPOSITIVI DI SICUREZZA

Questa fase è strettamente legata ai concetti di funzioni di sicurezza e dispositivi di sicurezza. Una funzione di sicurezza è un'azione tecnica o organizzativa, non un oggetto o un sistema fisico, intrapresa per evitare o prevenire un evento o per controllarne e limitarne le conseguenze; questa azione è implementata attraverso i dispositivi di sicurezza, definiti come sistemi fisici o azioni umane basati su procedure specifiche o controlli amministrativi. Fondamentalmente la funzione di sicurezza è "cosa" è necessario per promuovere o

migliorare la sicurezza, mentre il dispositivo di sicurezza è il “come” si implementa la funzione di sicurezza.

Per identificare ogni funzione e dispositivo di sicurezza occorre analizzare ogni evento del diagramma bow-tie, ramo per ramo, per capire se è possibile posizionare un dispositivo di sicurezza, sia esso posizionabile a monte o a valle.

5. LIVELLO DI CONFIDENZA DI UNA BARRIERA DI SICUREZZA

Il livello di confidenza di un dispositivo di sicurezza è la probabilità che il sistema non adempia correttamente quanto richiesto dalla funzione di sicurezza in accordo con una data efficienza e risposta in termini di tempo. Il livello di confidenza verrà stimato per l'intero sistema di sicurezza e non per un solo singolo dispositivo, includendo, se necessario, i sottosistemi che lo compongono, come detector o sistemi di trattamento. Occorre stimare per ogni sottosistema il livello di confidenza, l'efficienza e la risposta in termini di tempo, combinare i valori ottenuti per ricava il livello di confidenza globale del sistema. Un sottosistema può essere classificato come di categoria A o B:

- Sottosistema di tipo A: le modalità di guasto di tutti i componenti sono completamente definite e il comportamento del sottosistema in condizioni di guasto può essere completamente determinato ed esistono dati attendibili sul guasto, grazie esperienze precedenti, sufficienti a dimostrare che si è raggiunta la misura di guasto richiesta. Ne sono un esempio i dispositivi meccanici come le valvole;
- Sottosistema di tipo B: le modalità di guasto di almeno uno dei componenti non sono definite o il comportamento del sistema in condizioni di guasto non può essere

completamente determinato o non ci sono dati attendibili sui guasti derivanti da esperienze simili, tali da mostrare che si è raggiunta la misura di guasto richiesta.

Per raggiungere il livello di confidenza, il sistema di sicurezza deve essere conforme con due criteri, il primo qualitativo e il secondo quantitativo. Il criterio qualitativo corrisponde a impedimenti architettonici per i sottosistemi, mentre quello quantitativo alla probabilità di fallimento per il sottosistema.

Il livello di confidenza globale per l'intero sistema è uguale al minore tra quelli dei sottosistemi che lo compongono.

L'efficienza è l'abilità per un sistema di sicurezza di eseguire quanto indicato dalla funzione di sicurezza per un tempo fissato senza degradarsi e in determinate condizioni.

La risposta in termini di tempo è la il tempo necessario tra lo sforzo del sistema di sicurezza e il completo successo (che corrisponde all'efficienza) della funzione di sicurezza attuata attraverso il sistema di sicurezza.

L'efficienza e la risposta in termini di tempo sono forniti da dati di precedenti esperienze o da guide tecniche.

Prima di valutare le loro prestazioni, il sistemi di sicurezza devono soddisfare i seguenti requisiti minimi:

- I componenti dei sistemi di sicurezza devono essere indipendenti dai sistemi di regolazione;
- Il progetto dei sistemi deve essere conforme ai codici e alle normative e deve adattarsi alle caratteristiche delle sostanze e dell'ambiente;

- I sistemi devono basarsi su concetti già conosciuti; in caso contrario saranno necessari ulteriori test in sito per controllare la qualità del dispositivo;
- I sistemi devono essere testati con frequenze ben definite;
- I sistemi devono avere una scheda di manutenzione preventiva.

6. IMPOSTARE L'OBIETTIVO DI RIDUZIONE DEL RISCHIO

È stato creato uno strumento, chiamato grafico di rischio e basato sui principi della norma IEC 61508: per una data causa del bow-tie, in base alla sua frequenza di accadimento e alle potenziali conseguenze, si identifica il livello di rischio richiesto per la barriera di sicurezza per lo scenario studiato per ottenere un valore del rischio accettabile.

Il grafico dei rischi (Fig.7) stabilisce i livelli di confidenza relativi ai sistemi di sicurezza che dovrebbero essere applicati per raggiungere l'obiettivo desiderato.

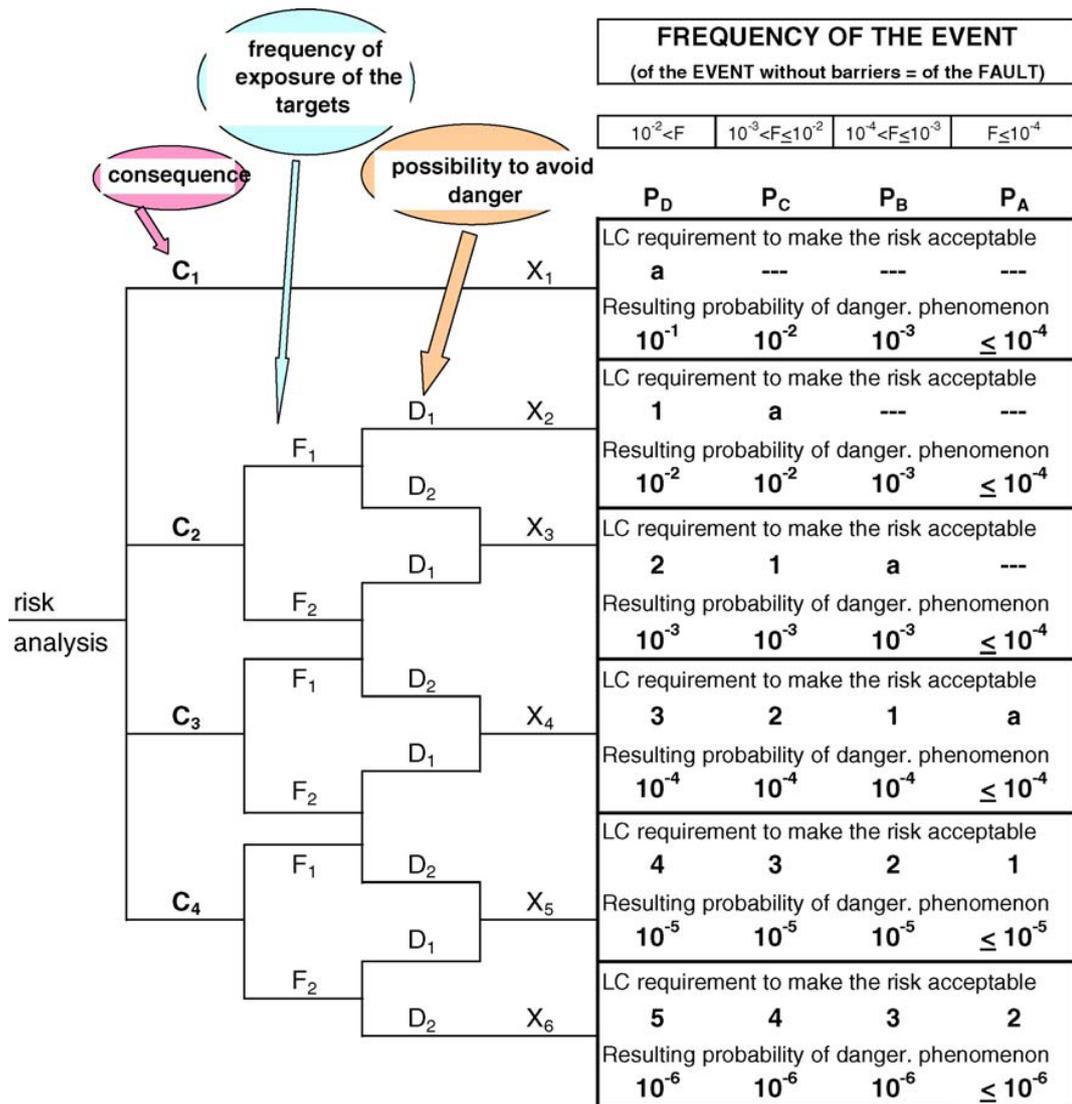


Figura 7: Grafico dei rischi

Il grafico è utile soprattutto in fase di progetto, per poter valutare l'importanza dei sistemi di sicurezza da utilizzare. Può essere usato anche per impianti già esistenti per verificare se i sistemi di sicurezza applicati sono sufficienti per proteggere i possibili scenari.

3.3 Valutazione dell'influenza dell'efficienza della gestione della sicurezza

Il sistema di gestione ha una forte influenza sulle capacità di controllo del rischio e nel campo della politica di prevenzione di incidenti rilevanti porta alla definizione di azioni legate a fattori tecnici, umani e organizzativi. L'obiettivo è quello di fornire e mantenere le barriere al loro massimo livello di efficienza, come definito nelle loro specifiche. La loro efficienza dipende dalla struttura organizzativa e di gestione (manutenzione, educazioni, audit). Lo scopo di ARAMIS è quello di fornire gli strumenti adatti ad una valutazione del sistema di gestione della sicurezza e che aiuti gli operatori a identificare le opportunità migliori per migliorarlo.

Il sistema di gestione influisce sulla probabilità che lo scenario si verifichi, quindi lo scopo della sua analisi è valutare l'efficienza dei sistemi di sicurezza per prevenire gli incidenti.

Il sistema di gestione include un'analisi dei rischi e dei pericoli per identificarli e comprenderli e la selezione, il miglioramento e il mantenimento dei dispositivi di sicurezza, intesi come mezzo per minimizzare i rischi.

Tutto questo è mostrato nel diagramma a blocchi in Fig. 8:

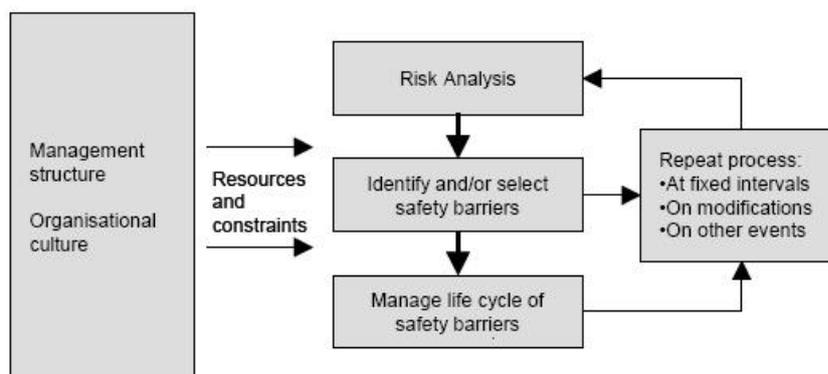


Figura 8: schema a blocchi di un sistema di gestione della sicurezza

La metodologia per la sua valutazione è basata sul concetto che stabilisce l'esistenza di un certo numero di elementi strutturali nel sistema di gestione e l'influenza dai fattori di sicurezza culturali

L'approccio consiste nel pianificare un protocollo per audit che evidenzi le attività legate al ciclo di vita dei dispositivi di sicurezza, dove per ciclo di vita si intende la progettazione, l'installazione, l'uso, la manutenzione e il miglioramento. Per ognuna di queste fasi, sono stati individuati dieci elementi strutturali importanti per l'organizzazione del sistema di gestione. I risultati dell'audit sono confrontati con un questionario posto ai dipendenti sulla sicurezza per poter individuare un livello di confidenza contestuale, soffermandosi sui dispositivi di sicurezza. I questionari sono costruiti sulla base di undici fattori culturali che caratterizzano la cultura sulla sicurezza dell'impianto.

Si è quindi assegnato un livello di confidenza generico per ogni dispositivo, in base alla propria probabilità di rottura; questi valori devono essere modificati per poterli adattare al contesto locale.

Di seguito (Fig. 9) è mostrato il diagramma a blocchi della metodologia.

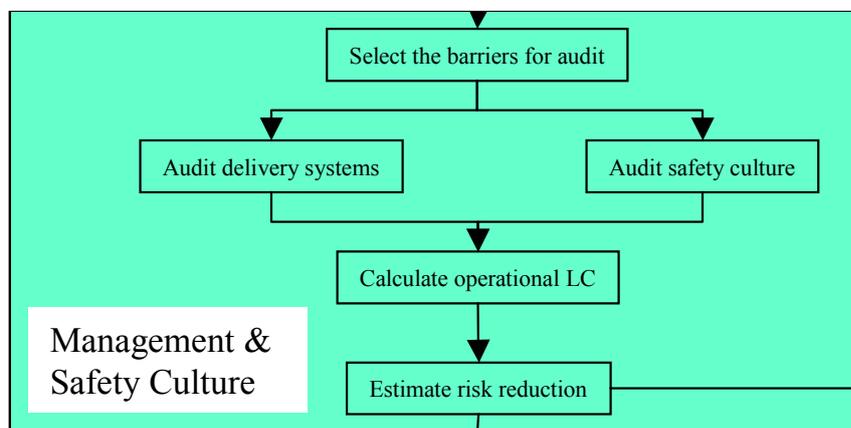


Figura 9: Schema a blocchi procedura

3.4 MIRAS

Questo metodo è stato ideato per studiare l'influenza dei sistemi e delle politiche di sicurezza sugli scenari individuati dal MIMAH. Lo studio accurato delle cause dell'incidente e dei sistemi di sicurezza permette di definire scenari più realistici, denominati scenari di riferimento (RAS, Reference accident scenario), che rappresentano il vero potenziale pericolo, considerando anche i sistemi di sicurezza e i sistemi di gestione.

La struttura della metodologia è visibile attraverso lo schema a blocchi mostrato in Fig 10

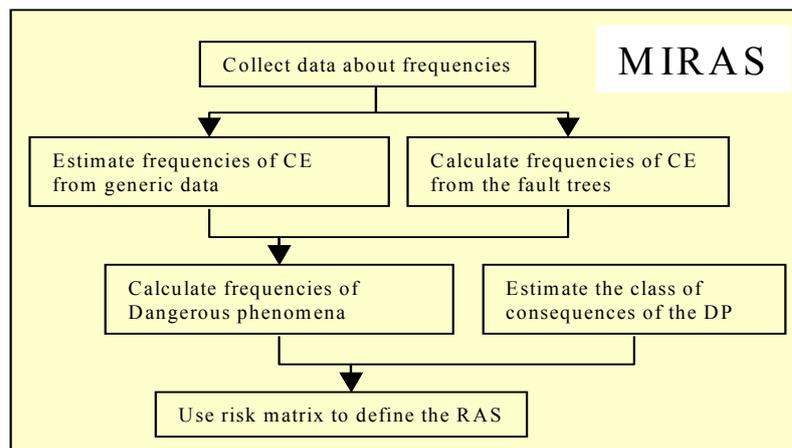


Figura 10: Schema a blocchi MIRAS

Ogni scenario di riferimento è definito da un evento iniziale che conduce all'evento critico, che può portare a diversi fenomeni pericolosi.

Una volta che gli scenari di incidente rilevante sono stati individuati e valutati (MIMAH) e che i sistemi di sicurezza sono stati determinati, e in seguito modificati per rispettare quanto dedotto dai risultati degli audit e dei questionari sulla sicurezza, si devono valutare le conseguenze. Lo scopo di questa fase è individuare i possibili scenari da tenere in considerazione per il calcolo dell'indice di danno. Il principio è selezionare solo gli scenari che corrispondono a fenomeni

pericolosi con frequenze e/o conseguenze che possono avere effetti reali sulla gravità. Si sviluppa così una matrice di rischio, utile come guida per stimare le frequenze (attraverso l'analisi dell'albero dei guasti e delle caratteristiche dei sistemi o utilizzando frequenze generiche) e la classe di appartenenza delle conseguenze dei fenomeni pericolosi.

Per poter definire gli scenari di riferimento occorre tenere in considerazione:

- I sistemi di sicurezza installati sulle apparecchiature e nelle aree circostanti;
- Il sistema di gestione della sicurezza;
- La frequenza di accadimento dell'incidente;
- Le conseguenze potenziali dell'incidente.

Per poter raggiungere lo scopo desiderato occorre affrontare una per volta le fasi mostrate in figura 11 e descritte di seguito.

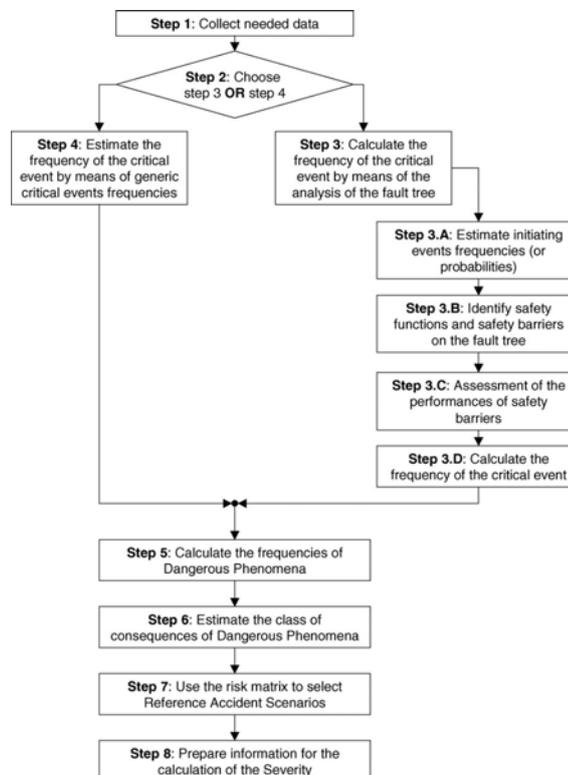


Figura 11: schema a blocchi MIRAS

1. FASE 1: Raccolta dei dati necessari

Rispetto ai dati raccolti durante la fase uno della metodologia MIMAH, sono necessarie altre informazioni, quali i valori delle frequenze/probabilità dell'evento iniziale, procedure e sistemi di sicurezza applicati alle apparecchiature studiate o informazioni sulla valutazione del livello di performance dei dispositivi di sicurezza.

2. FASE 2: Scegliere se passare alla FASE 3 o alla FASE 4

Le fasi 3 e 4 hanno lo stesso obiettivo, cioè stimare la frequenza annuale di ogni evento critico considerato nel diagramma a "bow-tie". Si può scegliere se sviluppare un'analisi completa dell'albero dei guasti, tenendo in considerazione come influiscono i dispositivi di sicurezza sulla frequenza dell'evento critico; si dovrà in questo caso scegliere la FASE 3, poiché, se si hanno a disposizione tutti i dati necessari, anche se è una procedura più lunga, permette di considerare i sistemi di sicurezza in relazione alla prevenzione degli eventi critici (parte sinistra del diagramma). Nel caso, invece, si desideri stimare direttamente la frequenza dell'evento critico, si sceglierà la FASE 4, che non considera più il livello di prevenzione dell'impianto e richiede tempistiche più contenute.

3. FASE 3: Calcolare la frequenza dell'evento critico attraverso l'analisi dell'albero dei guasti.

In questo caso è necessario seguire quattro step:

3.A Valutazione delle frequenze degli eventi iniziali:

L'obiettivo è quello di fornire i valori della frequenza per gli eventi iniziali, definiti come la prima causa a monte di ogni ramo che conduce all'evento critico nell'albero dei guasti. ARAMIS fornisce una serie di informazioni utili al calcolo delle frequenze, riportate nell'intero lavoro di Delvosalle (Delvosalle et al. 2004). Occorre,

tuttavia, specificare che c'è una scarsità di informazioni in questo campo. La sintesi delle informazioni pubblicate mostra una discrepanza tra i valori trovati e nella quantità di dati disponibili per le differenti tipologie di eventi iniziali; inoltre, dove possibile, è bene utilizzare dati precisi dell'impianto o, almeno, cercare di stimare le frequenze con i dipendenti, con l'aiuto delle frequenze qualitative mostrate in tabella 2.

Tabella 2: Definizione qualitativa delle frequenze degli eventi iniziali

FREQUENZE DI ACCADIMENTO PER ANNO		CLASSE
Definizione qualitativa	Definizione quantitativa	Classificazione
Frequenza molto bassa (evento improbabile)	$F \leq 10^{-4}/\text{anno}$	F ₄
Frequenza bassa (l'evento critico potrebbe verificarsi; si è già verificato in impianti simili almeno una volta in 1000 anni)	$10^{-4}/\text{anno} < F \leq 10^{-3}/\text{anno}$	F ₃
Frequenza bassa (l'evento critico potrebbe verificarsi; si è già verificato in impianti simili o nel sito almeno una volta in 100 anni)	$10^{-3}/\text{anno} < F \leq 10^{-2}/\text{anno}$	F ₂
Possibile/frequenza elevata (può verificarsi; si è già verificato nel sito almeno una volta in 10 anni)	$10^{-2}/\text{anno} < F \leq 10^{-1}/\text{anno}$	F ₁
Probabile/frequenza molto elevata (si è già verificato più volte all'interno del sito)	$F \geq 10^{-1}/\text{anno}$	F ₀

Una volta trovati i valori delle frequenze è necessario indicarli sul diagramma “bow-tie”.

3.B Identificare le funzioni e i sistemi di sicurezza sull'albero dei guasti

Per poter identificare i sistemi di sicurezza che possono influenzare il verificarsi di un incidente, occorre fare riferimento ai concetti di funzione di sicurezza e barriere di sicurezza, precedentemente descritti nel paragrafo 3.2.

3.C Valutazione delle prestazioni dei dispositivi di sicurezza

Una volta identificati e posizionati sull'albero dei guasti, è necessario valutare come i dispositivi di sicurezza influiscono sulla frequenza di ogni singolo evento. Prima di tutto occorre specificare che i dispositivi devono soddisfare dei requisiti minimi per poter essere considerati tali. Una volta individuati i sistemi di sicurezza, si valutano le loro prestazioni in base a tre parametri:

7. Il Livello di Confidenza (LC) legato alla sua probabilità di fallimento su richiesta (PFD)
8. La sua capacità di agire secondo quanto richiesto
9. La sua risposta in termini di tempo (RT)

In prima battuta il livello di confidenza assegnato è quello di progetto; questo significa che il dispositivo dovrà essere efficiente come se fosse stato appena installato. Questo è in disaccordo con la realtà, poiché durante il suo periodo di vita, l'efficienza del dispositivo di sicurezza cala causa diversi motivi, quali, ad esempio, un programma di ispezione non buono o una mancata conoscenza da parte degli operatori.

In seconda battuta occorre valutare il sistema di gestione della sicurezza e la sua influenza sulle prestazioni dei sistemi di sicurezza. A questo scopo vengono organizzati audit all'interno dell'impianto per controllare se è stata portata a termine un'adeguata manutenzione. Se

quanto detto non dovesse verificarsi allora si dovrebbe abbassare il livello di confidenza in base ai risultati ottenuti attraverso l'audit. Si fornisce in questo modo un livello di confidenza operativo.

3.D Calcolare la frequenza dell'evento critico

Dopo la valutazione delle caratteristiche degli eventi iniziali, dell'identificazione dei sistemi di sicurezza e delle loro prestazioni, è possibile analizzare l'albero dei guasti per poter calcolare la frequenza degli eventi critici associati. Questa metodologia nasce dagli eventi iniziali dell'albero dei guasti e procede verso gli eventi critici, tenendo in considerazione i sistemi di sicurezza. Si definiscono di seguito i criteri principali:

- Per i dispositivi atti ad evitare l'evento è implicito che l'evento situato subito a valle sia impossibile e quindi il ramo corrispondente non influenzerà più la frequenza dell'evento critico;
- Per i dispositivi di controllo e prevenzione esiste una regola particolare: "se il livello di confidenza di un dispositivo in un ramo è uguale a n , allora la frequenza dell'evento a valle è ridotta di un fattore 10^n ".

È ora possibile calcolare le frequenze dei diversi eventi e di quello critico, considerando i dispositivi di sicurezza.

4. FASE 4: Stima della frequenza dell'evento critico per mezzo di frequenze di eventi critici generici.

Se non si può calcolare la frequenza dell'evento critico sulla base dell'analisi dell'albero dei guasti (FASE 3), esiste la possibilità di valutarla attraverso frequenze di eventi critici generici. Nell'Appendice 10 del Deliverable D.1.C. (Delvosalle C. et al.) sono forniti valori o intervalli di frequenze dei diversi eventi critici, a seconda del tipo di

apparecchiatura considerata. Di seguito (Fig. 12) si mostra un estratto, dove la sigla CE indica il tipo di evento critico preso in esame, mentre EQ l'apparecchiatura colpita da quest'ultimo:

Failure frequency (/year)		Breach on the shell in vapour phase		Breach on the shell in liquid phase		Leak from liquid pipe		Leak from gas pipe	
		CE6		CE7		CE8		CE9	
Pressure storage	EQ4	10mm	5 E-05	10mm	5 E-05	All fittings	0.15 E-3	All fittings	0.15 E-3
		35mm	5 E-06	35mm	5 E-06				
		50mm	1 E-06	50mm	1 E-06				
		100mm	5 E-07	100mm	5 E-07				
Atmospheric storage (single containment)	EQ6			10mm	1 E-04	Same values as for a pipe			
				35mm	1.8 E-05				
				50mm	5 E-06				
				100mm	5 E-06				
Pressure transport equipment	EQ8	Largest connection	5E-07	Largest connection	5 E-07	Full bore rupture of hose	4 E-06 /hour	Full bore rupture of hose	4 E-06 /hour
		10mm	1.1 E-04 - 1.3 E-05	10mm	1.1 E-04 - 1.3 E-05	10% of the nominal diameter (ND)	4 E-05 /hour	10% of ND	4 E-05 /hour
		35mm	4.4 E-06	35mm	4.4 E-06	Full bore rupture of arm	3 E-08 /hour	Full bore rupture of arm	3 E-08 /hour
		50mm	5 E-05	50mm	5 E-05	10% of ND	3 E-06 - 3 E-07 /hour	10% of ND	3 E-06 - 3 E-07 /hour
		100mm	3 E-06	100mm	3 E-06				
								/year and /m	ND <75mm
Pipe	EQ10					10% of ND	1.18 E-05	2.5 E-06	1.75 E-06
						22% of ND	7.93 E-06	1.11 E-06	6.5 E-07
						44% of ND	3.3 E-06	4.62 E-07	2.7 E-07
						Full bore rupture	1.22 E-06	3.5 E-07	1.18 E-07

Figura 12: Estratto della tabella dell frequenze generiche di eventi critici

Le frequenze sopra individuate sono di carattere generico e fornite per livelli di sicurezza “standard”, anche se in letteratura non sono specificati; occorre quindi utilizzare i dati con attenzione.

Una volta individuato l’intervallo in cui può ricadere la frequenza, si deve scegliere un valore al suo interno, possibilmente alto se sono presenti bassi livelli di sicurezza o, viceversa, possibilmente alti se il livello di sicurezza è buono. Le informazioni trovate in letteratura non permettono di fornire informazioni più precise in merito alla scelta di un valore specifico.

5. FASE 5: Calcolare la frequenza del fenomeno pericoloso

L’obiettivo è quello di procedere passo a passo nell’albero degli eventi, ottenendo come output la frequenza di ogni fenomeno pericoloso. Prima di tutto è necessario valutare come si propagano le probabilità lungo i rami dell’albero e tenere in considerazione i dispositivi di sicurezza, sia in termini di conseguenze che di frequenze del fenomeno pericoloso.

È necessario ora individuare i dispositivi di sicurezza da inserire nell’albero degli eventi e quantificare la loro influenza. Per l’identificazione si ripropone lo stesso metodo utilizzato per l’albero dei guasti: si dovrà rianalizzare completamente l’albero. Ogni evento dell’albero, ramo per ramo, deve essere riesaminato, ponendosi quesiti in merito all’esistenza o meno di un dispositivo di sicurezza che possa evitare, prevenire, controllare o limitare l’evento. Nel caso di risposta affermativa occorre inserire la barriera nel ramo, a monte se ha la funzione di evitare o prevenire l’evento, mentre a valle se lo controlla o limita. La procedura dovrebbe essere portata a termine con l’aiuto di personale competente e l’utilizzo di diagrammi di flusso o di processo.

Successivamente occorre valutare le prestazioni dei dispositivi e anche in questo caso la procedura risulta simile a quella utilizzata per l’albero

dei guasti: le barriere di sicurezza, per poter essere considerate tali devono rispettare determinati requisiti minimi, si deve valutare il livello di confidenza “progettuale”, la sua validità e la risposta in termini di tempo.

È opportuno valutare anche un livello di confidenza operativi, che riflette l’influenza della qualità del sistema di gestione della sicurezza.

Infine, occorre considerare le barriere di sicurezza relative all’albero degli eventi, sia in termini di conseguenze, che di frequenze del fenomeno pericoloso.

Brevemente si può sottolineare che i dispositivi di prevenzione e controllo diminuiscono la propagazione della probabilità tra due eventi e influiscono sulla frequenza del fenomeno pericoloso. I dispositivi di limitazione riducono le conseguenze del fenomeno, limitando la loro fonte o i loro effetti. Negli alberi degli eventi, quando si incontrano barriere di limitazione si individuano due rami, uno nel caso in cui il dispositivo fallisca, in questo caso si avranno conseguenze peggiori, ma con frequenze basse, e l’altro nel caso in cui svolga la sua funzione al meglio, con conseguenze meno gravi, ma più frequenti. Il calcolo delle frequenze è legato al livello di confidenza della barriera di sicurezza.

L’output di questa fase è una lista di fenomeni pericolosi (DP) associati ad ogni evento critico identificato con la metodologia MIMAH, per i quali si è calcolata la frequenza, tenendo in considerazione anche i fenomeni di mitigazione.

6. FASE 6: Stimare la classe a cui le conseguenze del fenomeno pericoloso appartengono

La selezione dei fenomeni di riferimento è basata sulla valutazione della frequenza del fenomeno pericoloso; è necessario perciò stimare approssimativamente le sue conseguenze in modo del tutto qualitativo,

infatti, per quanto riguarda una valutazione quantitativa si rimanda al calcolo dell'indice di danno (par 3.5).

La suddetta valutazione qualitativa si basa su quattro classi di conseguenze, definite nella seguente tabella:

Tabella 3: Classificazione delle conseguenze

CONSEGUENZE			CLASSE
Effetto domino	Effetto sul bersaglio uomo	Effetto sul bersaglio ambiente	Grado
Vedi nota	Nessuno danno e lavoro non interrotto	Nessuna azione necessaria	C ₁
Vedi nota	Danno che comporta un ricovero ospedaliero per più di un giorno	Effetti seri sull'ambiente che richiedono mezzi di intervento locali	C ₂
Vedi nota	Danno irreversibile o morte all'interno del sito, danno reversibile all'esterno	Effetti sull'ambiente circostante che richiedono mezzi nazionali	C ₃
Vedi nota	Danno irreversibile o morte all'esterno del sito	Effetti irreversibili sull'ambiente circostante che richiedono l'intervento di mezzi nazionali	C ₄

Nota: se si considera l'evento scatenante come DP1 e quello derivante come DP2, la loro classe di appartenenza va valutata in base ai loro potenziali effetti sull'uomo e sull'ambiente, quindi se la classe per il DP2 è maggiore rispetto a quella del DP1, quest'ultimo deve essere portato alla classe del DP2.

L'output di questa fase è una lista di fenomeni pericolosi associati ad ogni evento critico identificato durante la metodologia MIMAH ai quali è stata associata una classe di conseguenze, secondo i criteri indicati in Tabella 2.

7. FASE 7: Utilizzare la matrice di rischio per selezionare gli scenari di riferimento

L'obiettivo di questa fase è selezionare gli scenari di riferimento (RAS, Reference Accident Scenario) da poter utilizzare nel calcolo dell'indice di danno.

Lo strumento utilizzato è la matrice mostrata nella figura seguente: l'asse delle ascisse rappresenta le quattro classi di conseguenze, mentre quello delle ordinate le frequenze.

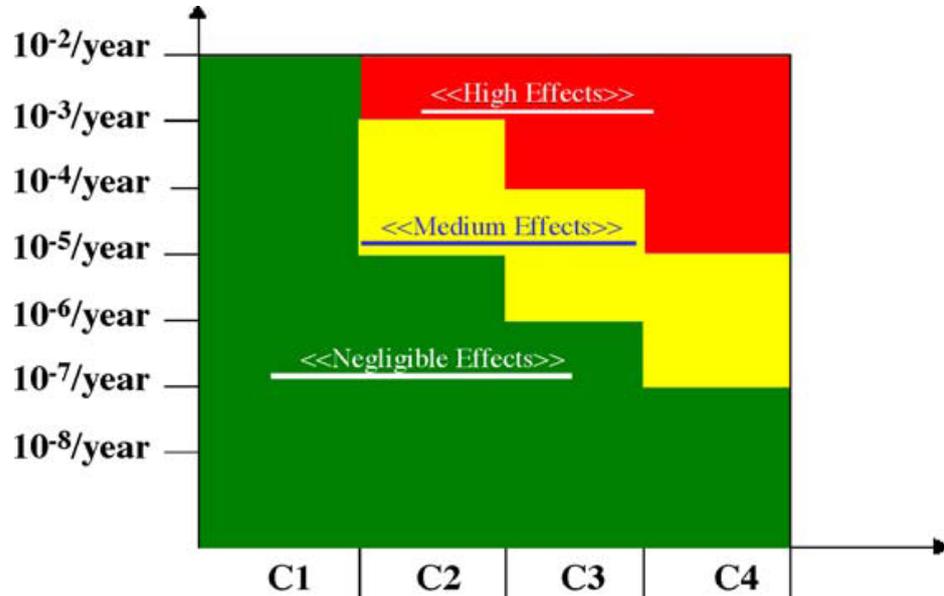


Figura 13: Matrice per individuare gli scenari di riferimento

La zona verde (negligible effects) corrisponde a fenomeni con una frequenza bassa e/o conseguenza che probabilmente non hanno effetti concreti sul danno. La zona gialla intermedia (medium effects) rappresenta quei fenomeni pericolosi che probabilmente avranno effetti reali sul danno e saranno quindi selezionate per modellarne il calcolo. È all'interno di questa fascia che si vanno a ricercare gli scenari di riferimento. La zona rossa (high effects) invece individua quei fenomeni che sicuramente porteranno allo sviluppo di un danno reale. Gli scenari che rientrano in questa fascia devono essere rianalizzati per poter inserire ulteriori sistemi di sicurezza.

Tutti eventi finali devono essere inquadrati all'interno della matrice e quelli che rientrano all'interno delle fasce rosse e gialle devono essere utilizzati per il calcolo dell'indice di danno. Se lo si ritiene necessario, però, è possibile comprendere nell'analisi anche scenari appartenenti alla fascia verde; questo potrebbe portare, al massimo, ad una perdita

di tempo, ma offrire allo stesso tempo la possibilità di comprendere l'impatto effettivo degli scenari in questione.

È importante sottolineare che la matrice di rischio non è una guida per l'accettabilità del rischio, ma è utile semplicemente per selezionare gli scenari di riferimento che dovranno essere modellati durante il calcolo dell'indice di danno.

8. FASE 8: Preparare le informazioni per il calcolo dell'indice di danno

Per ogni scenario di riferimento, occorre individuare le seguenti informazioni:

- Il tipo di apparecchiatura;
- La pressione e la temperatura di progetti;
- L'altezza del liquido (se rilevante);
- Le proprietà della sostanza pericolosa (stato, proprietà chimiche e fisiche, frasi di rischio);
- La quantità della sostanza (massa o flusso entrante)
- Le condizioni operative (temperatura e pressione)
- Il diagramma a "bow-tie" con albero dei guasti e albero degli eventi;
- L'evento critico;
- Il fenomeno pericoloso con la propria frequenza;
- La rosa dei venti;
- Le condizioni meteorologiche del sito (classe di stabilità, velocità del vento, temperatura, pressione, grado di umidità, copertura delle nuvole);

- Presenza di dispositivi di sicurezza che influiscono sul calcolo dell'indice di danno;
- Caratteristiche dei dispositivi;
- Descrizione dell'ambiente circostante, includendo anche i centri di vulnerabilità come, per esempio, scuole o ospedali.

La metodologia quindi individua gli scenari di riferimento utilizzando criteri, sintetizzati all'interno della matrice di rischio, legati alla frequenza di fenomeni pericolosi e alle loro possibili conseguenze. Una parte della metodologia è dedicata alla valutazione delle frequenze delle probabilità degli alberi degli eventi e dei guasti. Il fulcro della metodologia risiede nell'importanza che si attribuisce all'influenza dei sistemi di sicurezza sulle frequenze e sulle conseguenze individuate.

Si fornisce inoltre l'opportunità di identificare e analizzare approfonditamente i sistemi di sicurezza presenti e valutare le loro prestazioni, analizzare con un metodo bene definito l'influenza delle barriere di sicurezza e individuare, grazie alla matrice di rischio quali sono quelli scenari che necessitano un miglioramento dei sistemi di sicurezza.

3.5 Valutazione del Severity Index

Una volta selezionati i vari scenari, la metodologia implica la valutazione della loro gravità. Si vuole misurare e mettere a confronto le gravità di ogni effetto pericoloso utilizzando un'unica scala con valori da zero a cento; questo procedimento permette il confronto di rischi, diversamente non paragonabili. Lo scopo è costruire mappe di danno, in modo tale da poter intersecare l'effetto di un incidente con la vulnerabilità dell'ambiente circostante. Le fasi per il calcolo dell'indice di danno sono mostrate nello schema a blocchi in Fig.14.

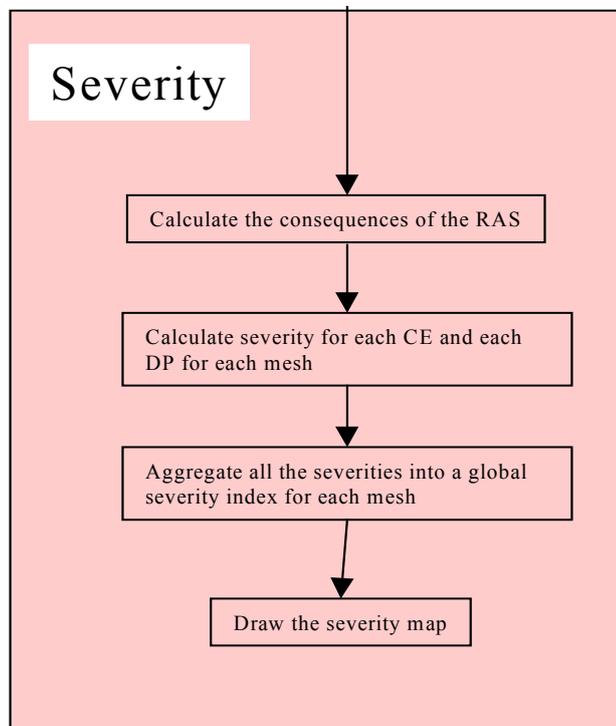


Figura 14: Schema a blocchi

L'indice di danno è stato sviluppato considerando quattro livelli di danno, in modo tale da permettere il confronto di varie analisi di rischio. Se lo si vuole calcolare per l'intero impianto occorre combinare quelli specifici associati ad ogni evento critico considerato con la loro frequenza. Gli indici specifici sono costruiti in base a tutte le conseguenze che un evento critico può avere e alla loro probabilità di accadimento.

L'indice di rischio è una misura, qualitativa o quantitativa, finalizzata a individuare un set di fattori che hanno influenza sul pericolo o sul rischio legato al sistema.

Il Risk Severity Index è basato su un gruppo di fenomeni pericolosi e ai loro eventi rilevanti, identificati attraverso la metodologia MIMAH, descritta nel precedente paragrafo. Tiene in considerazione anche un set di valori soglia che riguardano i diversi effetti.

Si sono individuati quattro livelli, indicati in Tabella 4, che sono rappresentativi dei criteri utilizzati dalle varie Comunità europee.

Tabella 4: livelli considerati

LIVELLI	DESCRIZIONE
1	Assenza o piccolo effetto
2	Effetto reversibile
3	Effetto irreversibile
4	Inizio di effetti letali o effetti domino

L'indice di rischio di danno per un dato evento critico S_{CE} è una combinazione del rischio di danno specifico S_{DP} associato ad ogni fenomeno pericoloso e la sua probabilità di accadimento P_{DP} ed è esprimibile attraverso la seguente formula:

$$S_{CE}(d) = \sum_{i=1}^n (P_{DP_i} \cdot S_{DP_i}(d))$$

Equazione 1: Indice di rischio

Dove n è il numero totale di fenomeni pericolosi associati all'evento critico. Il valore di S_{CE} può variare in un intervallo da 0 e 100 e in tabella 5 è mostrata la sua correlazione con i livelli precedentemente individuati:

Tabella 5: Valori dell'indice di rischio in funzione della classe di appartenenza del livello

S_{CE}	LIVELLI
0-24	1
25-49	2
50-74	3
75-100	4

L'indice di rischio per l'intero sito S è la combinazione dei singoli rischio associati ad ogni vento critico considerato e della sua frequenza di accadimento f_{CE} , come mostrato nella seguente equazione:

$$S_{CE}(d) = \sum_{j=1}^m (f_{CE_j} \cdot S_{CE_j}(d))$$

Equazione 2: indice di rischio globale

Dove m è il numero totale di eventi critici associati al sito. I valori che si ottengono non appartengono ad un intervallo tra 0 e 100, quindi non si può più applicare la scala individuata nella tabella precedente. I valori ottenuti, infatti, appartengono solitamente ad un intervallo 0-1.2; per questo motivo sono stati normalizzati tra 0 e 1000 secondo la scala mostrata nella tabella seguente:

Tabella 6: scala dell'indice di rischio di un sito

VALORE DI S	LIVELLO DELL'INDICE DI RISCHIO
$S=750$	Molto alto
$300=S<750$	Alto
$50=S<300$	Medio
$S<50$	Basso

Si ricorda che l'indice di danno varia in funzione della distanza; in questo modo si possono costruire mappe di danno nell'intorno del sito.

Di seguito si mostra lo schema a blocchi della metodologia per il calcolo dell'indice di danno (Fig. 15):

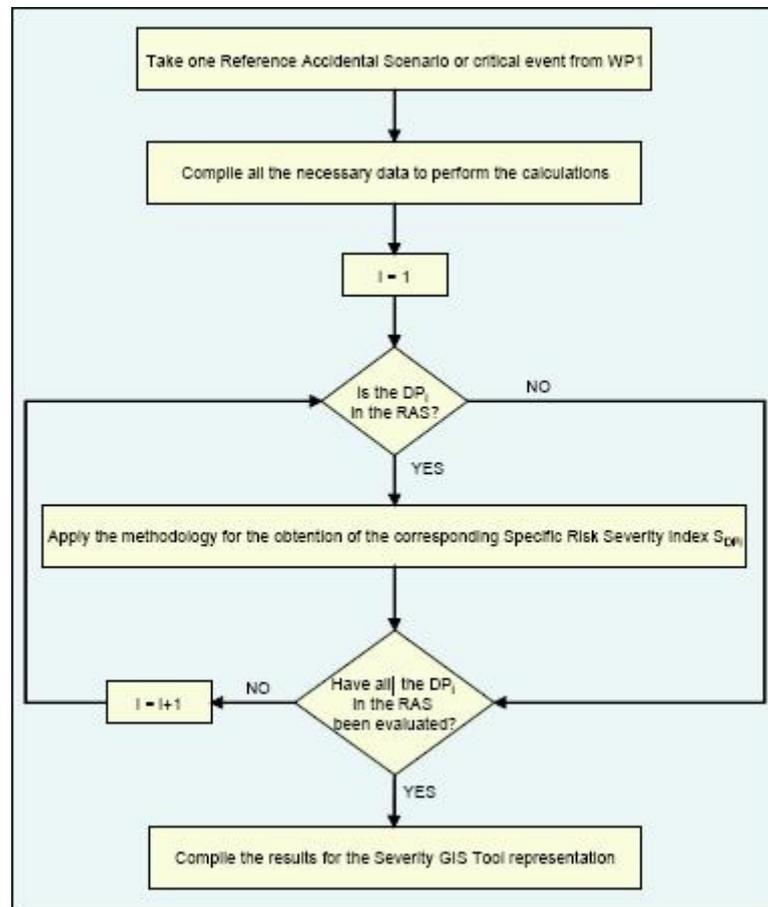


Figura 15: schema a blocchi per il calcolo dell'indice di danno

Per poter creare le mappe è stato sviluppato un applicativo per il GIS che consente di implementare la metodologia per il calcolo dell'indice di gravità.

Un esempio di mappa dell'indice di danno globale è il seguente (Fig. 16):

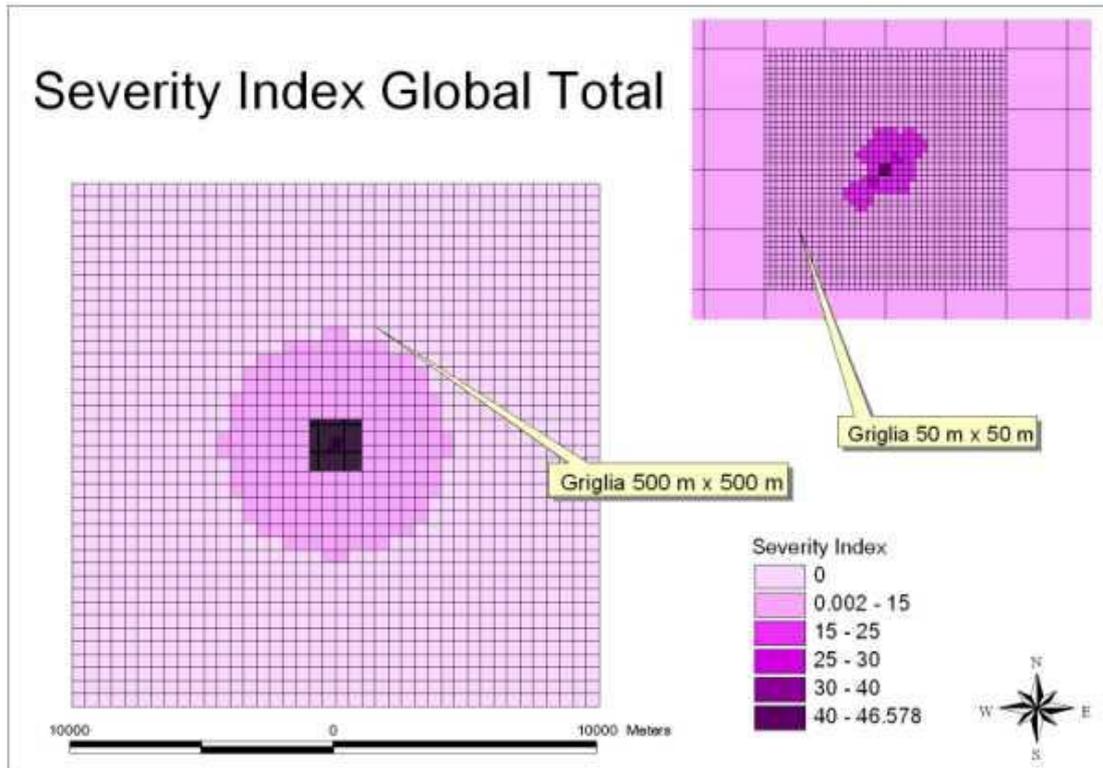


Figura 16: mappa di danno

La mappa è stata creata implementando l'eq.3. Si può osservare come il valore dell'indice di danno per questo impianto sia molto basso per distanze maggiori di 750m e basso per distanze inferiori a 750m. l'influenza della direzione del vento può essere osservata nel dettaglio se si osserva la griglia interna.

Le mappe di danno devono essere successivamente confrontate con quelle della vulnerabilità per ottenere il rischio effettivo.

4. VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ

L'ultima fase della metodologia è dedicata alla valutazione della vulnerabilità, ottenibile attraverso un indice di vulnerabilità. L'indice è basato sul presupposto che, per una data porzione di territorio, il livello di danno è proporzionale al numero di bersagli vulnerabili, pesato con la loro vulnerabilità relativa derivante dall'impatto che l'effetto può avere su di essi. È stato costruito come una combinazione lineare dei numeri dei diversi target, considerando l'uomo, l'ambiente e i beni materiali. Ad ogni categoria è stato assegnato un peso per ogni effetto fisico, rappresentativo della relativa vulnerabilità.

Il tentativo innovativo è quello di valutare la vulnerabilità ambientale indipendentemente dal sito, in modo tale da permettere alle autorità locali di prendere decisioni per ridurre il livello di rischio globale, migliorando la vulnerabilità, dato che l'operatore dell'impianto industriale può limitarsi ad agire esclusivamente sui potenziali pericoli presenti all'interno del sito.

Per valutare la vulnerabilità dell'ambiente circostante un impianto industriale, si è ricorso ad una metodologia basata sull'utilizzo di tecnologie GIS e su strumenti in grado di identificare e quantificare danni ai bersagli, accoppiati a giudizi competenti organizzati secondo il metodo di decisione Saaty. È stato, infatti, sviluppato un tool per la creazione delle mappe della vulnerabilità, che, intersecate con quelle della gravità, possono essere utili per pianificare e prendere decisioni in merito alla riduzione del rischio, focalizzandosi sull'eliminazione o protezione di determinati target.

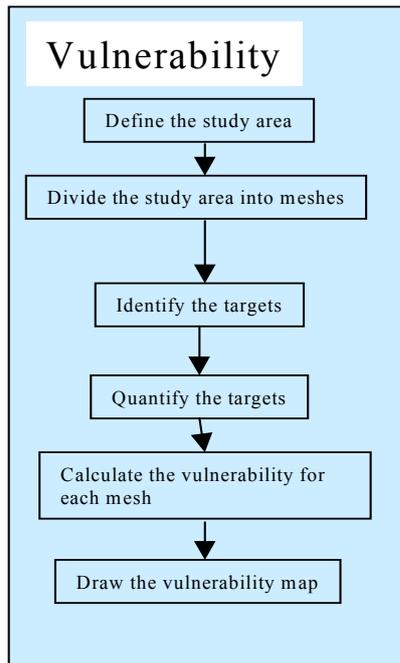


Figura 17: Schema a blocchi

La vulnerabilità ambientale è valutata attraverso la definizione di un indice della vulnerabilità V , che tiene conto della presenza di tre diverse categorie di target presenti nell'area di interesse:

- Uomo;
- Ambiente, inteso come ambiente naturale;
- Beni materiali.

Ogni categoria, a sua volta è divisa in sub categorie:

- Uomo (H):
 - Personale in impianto (H_1);
 - Popolazione locale (H_2);
 - Popolazione presente in stabilimenti accoglienti pubblico (H_3);
 - Utenti nelle vie di comunicazione (H_4).
- Ambiente (E):
 - Aree agricole (E_1);
 - Aree naturali (E_2);

- Aree naturali specifiche (E₃);
- Paludi e acque (E₄);
- Beni materiali (M):
 - Siti industriali (M₁);
 - Utilities pubbliche e infrastrutture (M₂);
 - Strutture private (M₃);
 - Strutture pubbliche (M₄).

Per caratterizzare la sensibilità di ogni bersaglio, sono stati definiti i seguenti eventi dannosi:

- Sovrappressione (op);
- Flusso termico (tr);
- Tossicità dei gas (tox);
- Inquinamento di liquidi (poll).

Questi particolari eventi dannosi possono colpire diverse sfere dei bersagli stessi, perciò sono state definite tre tipologie di impatto:

- Impatto lesivo dell'integrità (ciò che ha effetto sulla struttura) (S);
- Impatto economico (in termini di perdite di produttività e costi di ripristino) (E);
- Impatto psicologico (come influisce su di un gruppo di persone) (P).

4.1 La metodologia Saaty

La vulnerabilità globale è valutata in base alle valutazioni di 38 esperti (esperti di rischio, autorità competenti e industrie) provenienti da diversi Paesi europei, organizzate secondo il metodo Saaty.

In Fig 17 e Fig 18 si può notare come erano ripartiti i trentotto esperti, rispettivamente in base alla nazionalità e alle loro competenze.

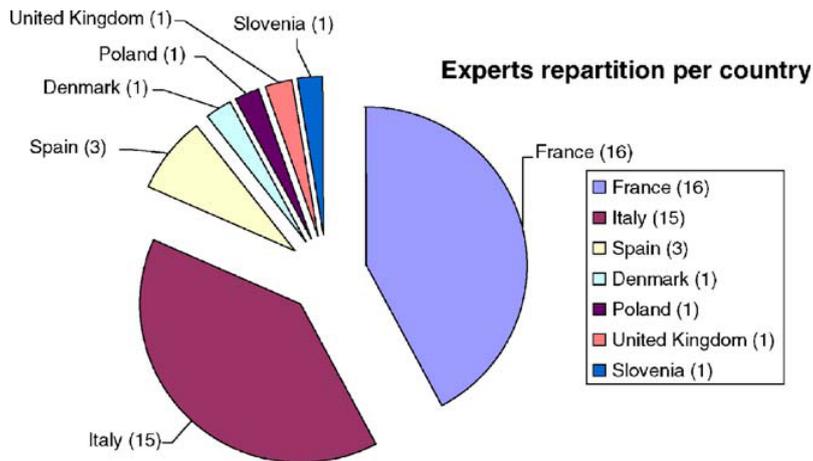


Figura 18: ripartizione esperti in base alla nazionalità

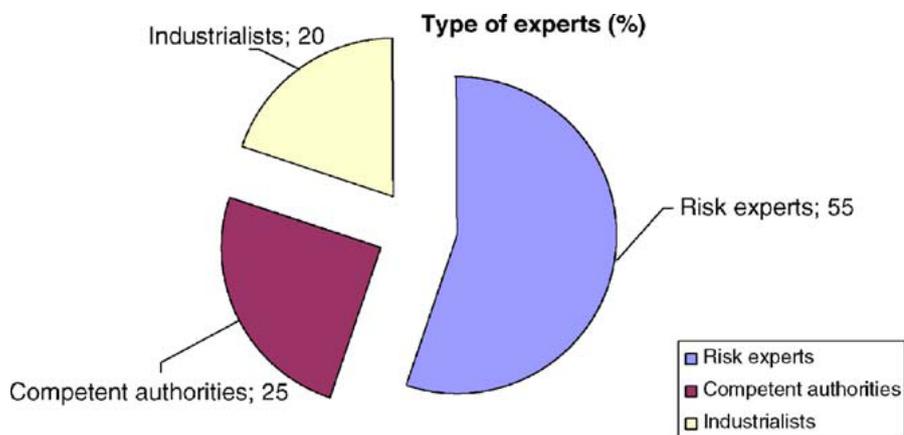


Figura 19: ripartizione esperti in base alle competenze

In generale, il Decision-taking è una procedura complessa, perché non si basa solo su un set di informazioni che riguardano un soggetto, ma dipende anche dai membri del gruppo decisionale e dalla loro visione della realtà; inoltre, le preferenze personali possono risultare più importanti nelle decisioni rispetto a quella che può essere una logica chiara e rigorosa.

I valori dei coefficienti utilizzati sono stati ottenuti applicando la metodologia Saaty alle matrici derivate dal giudizio degli esperti, la cui coerenza è stata statisticamente testata. È possibile ritrovarli all'interno del lavoro di Tixier (Tixier et al., 2004).

L'analisi gerarchica, messa a punto da *Saaty* negli anni '70, permette di giungere ad un ordinamento finale di più progetti, scomponendo il problema decisionale in tanti sottoproblemi uguali tra loro, i quali sono risolti con un metodo di confronti a coppie. Il risultato ottenibile può essere una classificazione, un'assegnazione di valore numerici ai giudizi soggettivi o l'aggregazione di più giudizi per determinare criteri con le maggiori priorità.

Le fasi dell'analisi gerarchica sono:

1. Definizione della gerarchia e scomposizione;
2. Risoluzione dei sottoproblemi con i confronti a coppie;
3. Ricomposizione e sintesi.

I punti di forza di questo metodo sono principalmente i seguenti:

- I sottoproblemi sono ridotti e, quindi, di facile risoluzione;
- L'analisi può essere totalmente qualitativa;
- La tecnica di stima è unica e si basa sui confronti a coppie.

D'altra parte vanno fatte due critiche molto pesanti e cioè:

- I coefficienti di importanza relativa (pesi) sono stimati con metodi che non hanno significato teorico;
- Il risultato dipende dalle alternative presenti.

Nonostante queste critiche l'analisi gerarchica è comunque diventata un metodo molto utilizzato. E' importante sottolineare però che queste costanti non hanno alcun collegamento con la realtà, ma sono degli indici del tutto qualitativi.

4.2 Calcolo dell'indice di vulnerabilità

Innanzitutto occorre individuare le tre categorie di bersagli, le tipologie di effetti fisici e di impatti precedentemente descritti. Si può successivamente procedere con il calcolo dell'indice di vulnerabilità, per il quale è necessario applicare il

confronto binario tra gli elementi delle matrici che permette di valutare la vulnerabilità come segue:

1. La vulnerabilità di ogni bersaglio (H, E, M) rispetto ad ogni effetto fisico (op, tr, tox, poll) si determina sulla base della vulnerabilità di ogni sottocategoria di bersaglio in riferimento ad ogni tipo di impatto (S, E, P), che deriva dal confronto degli elementi delle matrici; per esempio, se si considerasse la vulnerabilità ambientale riferita alla sovrappressione, si otterrebbe quanto mostrato nell'Equazione 1.

$$V_H^{op} = x_1^H \cdot V_{HS}^{op} + y_1^H \cdot V_{HE}^{op} + z_1^H \cdot V_{HP}^{op}$$

Equazione 3: Vulnerabilità ambientale riferita alla sovrappressione per il bersaglio uomo

Dove:

$$V_{HS}^{op} = a_S^H \cdot H_1 + b_S^H \cdot H_2 + c_S^H \cdot H_3 + d_S^H \cdot H_4$$

Equazione 4: Vulnerabilità ambientale dovuta a sovrappressione sul bersaglio uomo con impatto lesivo dell'integrità

$$V_{HE}^{op} = a_E^H \cdot H_1 + b_E^H \cdot H_2 + c_E^H \cdot H_3 + d_E^H \cdot H_4$$

Equazione 5: Vulnerabilità ambientale dovuta a sovrappressione sul bersaglio uomo con impatto economico

$$V_{HP}^{op} = a_P^H \cdot H_1 + b_P^H \cdot H_2 + c_P^H \cdot H_3 + d_P^H \cdot H_4$$

Equazione 6: Vulnerabilità ambientale dovuta a sovrappressione sul bersaglio uomo con impatto psicologico

2. Ora si può determinare la vulnerabilità di ogni target (H, E, M) rispetto ad ogni singolo effetto fisico:

$$V_H = \alpha_1 \cdot V_H^{op} + \alpha_2 \cdot V_H^{tr} + \alpha_3 \cdot V_H^{tox} + \alpha_4 \cdot V_H^{poll}$$

Equazione 7: Vulnerabilità ambientale bersaglio uomo

$$V_E = \beta_1 \cdot V_E^{op} + \beta_2 \cdot V_E^{tr} + \beta_3 \cdot V_E^{tox} + \beta_4 \cdot V_E^{poll}$$

Equazione 8: Vulnerabilità ambientale bersaglio ambiente

$$V_M = \gamma_1 \cdot V_M^{op} + \gamma_2 \cdot V_M^{tr} + \gamma_3 \cdot V_M^{tox} + \gamma_4 \cdot V_M^{poll}$$

Equazione 9: Vulnerabilità ambientale bersaglio beni materiali

3. Infine, si ottiene l'indice di vulnerabilità globale, sommando quelli ricavati per il singolo bersaglio:

$$V = \alpha \cdot V_E + \beta \cdot V_E + \gamma \cdot V_M$$

Equazione 10: Vulnerabilità globale

4.3 Quantificazione dei bersagli nell'area di studio

Un passo decisivo e importante è quello della quantificazione dei target nell'area di studio. Per definizione, l'area di studio è quella in cui gli impatti di un incidente nel sito industriale creano determinate conseguenze. Si noti come, nella maggior parte dei casi, la scelta migliore è quella di un'area di 20 x 20 km centrata nel sito industriale di interesse, ma è possibile comunque scegliere aree più piccole (10 x 10 km) o più grandi (40 x 40 km). Per ottenere delle informazioni dettagliate, si è prevista una suddivisione in maglie dell'area, la cui grandezza può variare da 500 x 500 m a 50 x 50 m; si può inoltre infittire la maglia in prossimità del sito industriale (per un'area di circa 2 x 2 km o 4 x 4 km), mentre mantenerla più grande mano a mano che ci si sposta verso l'esterno.

La quantificazione dei target è ottenuta definendo dei fattori adimensionali, detti "fattori di quantificazione", variabili da 0 a 1, che rappresentano l'effettiva "quantità" dello specifico bersaglio nella maglia, rispetto al valore massimo atteso.

Esso ha lo scopo di ottenere un valore normalizzato per ogni tipo di target.

La selezione di un "fattore di normalizzazione" corretto è molto importante per una corretta stima della vulnerabilità ambientale.

4.3.1 Bersaglio uomo

Per il bersaglio uomo, è necessario impostare il “fattore di normalizzazione”, che può essere, ad esempio, il numero massimo di persone presenti o la densità di popolazione massima, per:

- Personale in impianto;
- Popolazione locale;
- Popolazione presente in stabilimenti accoglienti pubblico;
- Utenti nelle vie di comunicazione.

Si può definire il fattore di quantificazione H_i per ogni i-esima sottocategoria di target uomo come:

$$H_i = \frac{N_i}{N_{max}}$$

Equazione 11: Fattore di quantificazione bersaglio uomo

Dove N_i è il numero totale di persone dell’i-esima sottocategoria e N_{max} è il numero massimo dell’i-esima sottocategoria nell’intera area in esame.

Di conseguenza, per poter determinare il fattore di quantificazione è necessario impostare il valore massimo che può essere raggiunto da ogni sottocategoria.

4.3.2 Bersaglio ambiente

In questo caso si fa riferimento alle aree ricoperte dalla sottocategoria ambientale e il fattore di quantificazione è esprimibile attraverso la seguente equazione:

$$E_i = \frac{A_i}{A}$$

Equazione 12: Fattore di quantificazione bersaglio ambiente

Dove A_i è l'estensione dell'area ricoperta dall'i-esimo tipo di bersaglio ambientale entro i confini dell'area in esame, mentre A è l'estensione di tutta l'area in esame.

4.3.3 Bersaglio beni materiali

Anche per questo bersaglio il fattore di quantificazione è un rapporto tra aree:

$$M_i = \frac{A_i}{A}$$

Equazione 13: Fattore di quantificazione bersaglio beni materiali

4.4 Il software ARAMIS

L'approccio teorico descritto nei paragrafi precedenti è stato convertito e implementato attraverso un'interfaccia GIS. Per poter valutare la vulnerabilità nella zona di interesse occorre procedere attraverso determinate fasi, mostrate anche in figura 20:

1. Selezionare l'area di studio e dividerla in maglie;
2. Valutare la vulnerabilità per ogni maglia, identificando e quantificando ogni bersaglio;
3. Calcolare l'indice di vulnerabilità della maglia;
4. Raffigurare i risultati attraverso mappe.

Questo procedimento si applica interamente per tutte le maglie della griglia.

L'interfaccia GIS può essere sviluppata con un qualsiasi programma GIS disponibile in commercio, come ad esempio MapInfo e ArcView. In ogni caso l'interfaccia fornisce all'utente tutte le procedure per selezionare l'area, dividerla in maglie e identificare e quantificare i diversi bersagli nelle maglie. La fase di quantificazione è completamente automatica per i bersagli ambiente e beni materiali, poiché basata su un rapporto tra aree, mentre per il bersaglio uomo occorre inserire il valore massimo atteso di persone nel sito (sono peraltro suggeriti anche valori di default).

I valori della vulnerabilità così ottenuti sono sviluppati in mappe che traducono il valore dell'indice di vulnerabilità in classi di vulnerabilità. Si possono ottenere tre tipi di risultati:

- Una rappresentazione cartografica della vulnerabilità globale nell'area di studio;
- Una rappresentazione cartografica della vulnerabilità per ogni classe di target;
- Una rappresentazione cartografica di un effetto fisico per ogni categoria di bersaglio.

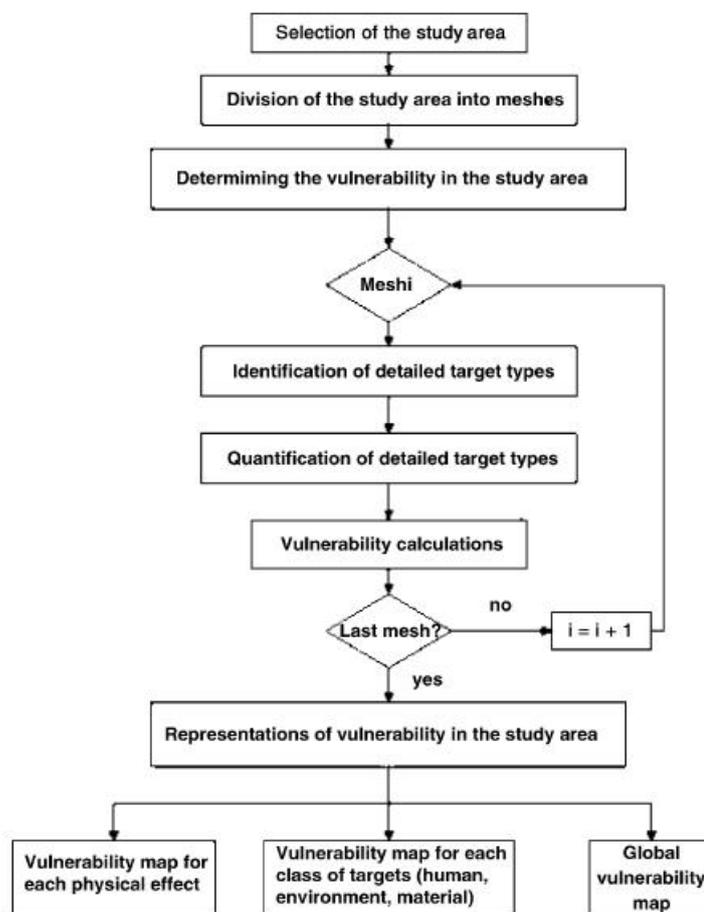


Figura 20: Schema a blocchi per la valutazione della vulnerabilità

L'utilizzo dell'interfaccia GIS è molto importante perché consente di:

- definire l'area di studio, in accordo con la volontà dell'utente, progettando la griglia rilevante centrata sul sito industriale;
- identificare i diversi bersagli e le sottocategorie;
- quantificare la vulnerabilità di ciascuna categoria e sottocategoria bersaglio seguendo ogni maglia della griglia dell'area studiata;
- fornire all'utente mappe di vulnerabilità.

Questa interfaccia è inoltre essere molto flessibile e offre una vasta gamma di mappe disponibili, a seconda di quale sia la problematica da affrontare: per tipo di bersaglio, per tipo di effetto o globale.

4.5 La procedura per la valutazione della vulnerabilità ambientale

Il software implementa la metodologia teorica descritta precedentemente nei paragrafi 4.2 e 4.3, sviluppando le equazioni descritte; al suo interno contiene già tutti i coefficienti derivanti dall'analisi gerarchica secondo il metodo Saaty. Ovviamente l'utente potrà, se lo ritiene necessario, modificare questi valori, ponendo, però, la massima attenzione, poiché i coefficienti sono stati derivati dall'opinione di un elevato numero di esperti e sono stati valutati statisticamente.

Di seguito si descrivono le fasi preliminari all'utilizzo del software, mentre i passaggi per il calcolo sono spiegati in maniera più dettagliata all'interno del paragrafo 5.

4.5.1 Informazioni iniziali

Si è deciso di utilizzare come software GIS ArcView 3.2a, perciò il formato dei dati di input dovrà essere compatibile con questo programma. Nello specifico i dati devono essere forniti sottoforma di shape file.

Le informazioni necessarie sono le seguenti:

- informazioni sul sito industriale, in riferimento al target H₁;
- informazioni sulla popolazione residente, in riferimento al target H₂;
- informazioni sui centri di vulnerabilità, in riferimento al target H₃;
- informazioni sulle strade, sulle ferrovie e sui corsi d'acqua, in riferimento al target H₄;
- informazioni sull'uso del suolo, sia naturale che costruito, per i target E₁, E₂, E₄, M₂, M₃, M₄;
- informazioni sulle aree naturali specifiche, per il target E₃.

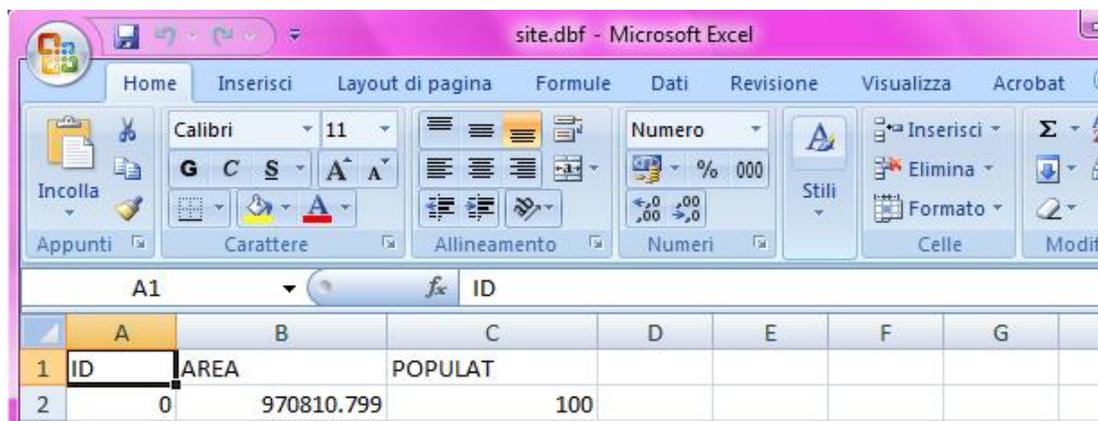
Tutte queste informazioni sono disponibili in commercio, tranne quella del sito industriale, che dovrà essere costruita dall'utente stesso. Una volta entrati in possesso di tutte le informazioni è possibile modificarle per avere una visione più dettagliata dell'area di studio per poter ottenere una stima più accurata della vulnerabilità ambientale. È importante sottolineare che l'interfeccia identifica le variabili sulla base di determinati nomi assegnati ai campi dei tematismi e utilizza le unità di misura di default, quindi è necessario che i nomi e le unità all'interno dei tematismi siano uguali a quelli richiesti dal software, il programma avrà dei problemi a restituire le informazioni desiderate.

4.5.1.1 Tematismo sito industriale

Le informazioni sul sito industriali, comprese le coordinate del sito in un sistema di riferimento appropriato, una mappa delle installazioni e il numero di dipendente devono essere fornite dall'utente. Il tematismo deve contenere due campi:

- “populat”, contenente il numero di dipendenti;
- “area”, contenente l'area ricoperta dal sito industriale in m².

Si mostra un esempio di tematismo per il sito industriale nella figura seguente:



The image shows a screenshot of the Microsoft Excel interface. The title bar reads "site.dbf - Microsoft Excel". The ribbon includes tabs for Home, Inserisci, Layout di pagina, Formule, Dati, Revisione, Visualizza, and Acrobat. The Home tab is active, showing options for font (Calibri, size 11), alignment, and numbers. The active cell is A1, containing the text "ID". Below the ribbon, a table is visible with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G
1	ID	AREA	POPULAT				
2	0	970810.799	100				

Figura 21: tematismo sito industriale

4.5.1.2 *Tematismo popolazione residente*

Le informazioni che riguardano la popolazione residente si possono ottenere dalle organizzazioni incaricate di eseguire il censimento, che per l'Italia è l'ISTAT.

Il tematismo dovrebbe contenere due campi:

- "area", contenente la superficie riferita all'unità di censimento in m^2 ;
- "pop_dens", contenente la densità di popolazione per ogni unità di censimento in persone/ km^2 .

In figura si mostra un esempio di tematismo:

	A	B	C	U	V
1	AREA	PERIMETER	COD_ISTA	POP_DENS	
2	72526609.5276000000000000	43760.9316000000000000	8038006	0.0048258150	
3	4683642.5252599900000000	9407.8901900000000000	8038001	0.2476704816	
4	5209400.5811599900000000	10575.9430100000000000	8038001	0.2303527980	

Figura 22: tematismo popolazione

4.5.1.3 *Punti di vulnerabilità*

I punti di vulnerabilità sono quei luoghi pubblici dove è presente un elevato numero di persone, anche allo stesso tempo, come per esempio stazioni, aeroporti, porti, centri commerciali, ristoranti, hotel, campeggi, stadi, librerie, musei, scuole o ospedali.

In questo caso l'utente può acquisire il file e successivamente modificarlo per inserire ulteriori centri di vulnerabilità oppure costruirlo direttamente. In ogni caso deve essere presente il seguente campo:

- "populat", contenente il numero di persone presente in ogni punto di interesse.

Si mostra un esempio del tematismo nella figura seguente:

	A	B	C	R	S	T
1	ID	X	Y	POPULAT		
2	10958	754507	922239	9040		
3	10959	754014	922827	1200		
4	10960	753650	923649	240		

Figura 23: tematismo centri di vulnerabilità

4.5.1.4 Rete stradale

Le informazioni sulla rete stradale possono essere acquistate e occorre che i diversi tipi di strade siano identificate attraverso un codice, come mostrato nella tabella seguente:

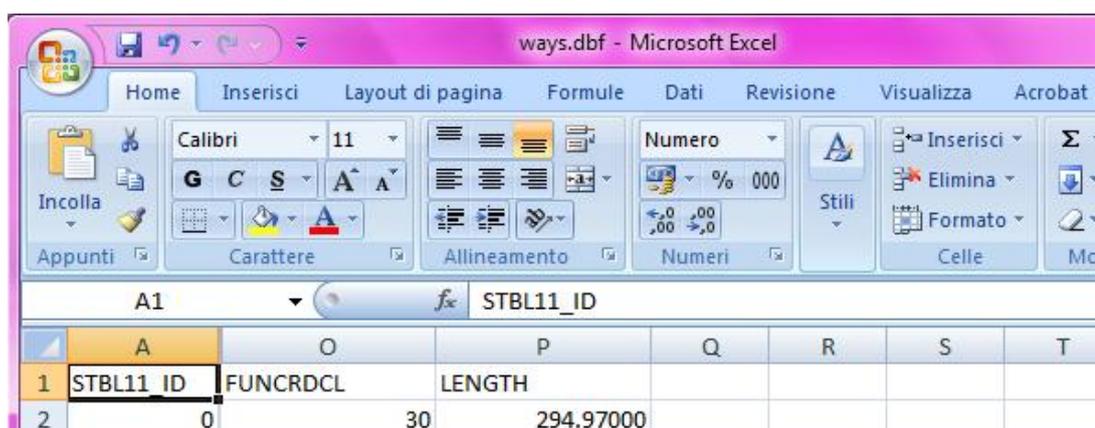
Tabella 7: codici delle strade

Codice	Tipologia di strada
10	Autostrade (4-6 corsie)
20	Superstrade/strade statali (4 corsie)
30	Strade provinciali (2corsie)
40	Strade minori (2 corsie)
51	Strade comunali (2 corsie)
52	Strade urbane

I campi del tematismo necessari in questo caso sono:

- “length”, contenente la lunghezza di ogni segmento di strada in m;
- “funcrdcl”, contenente il codice relativo alla tipologia di strada per ogni segmento (vedi Tab. 4).

Si mostra, in figura seguente, un esempio di tematismo:



The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "ways.dbf - Microsoft Excel". The ribbon includes Home, Inserisci, Layout di pagina, Formule, Dati, Revisione, Visualizza, and Acrobat. The active cell is A1, containing the formula "STBL11_ID". The spreadsheet data is as follows:

	A	O	P	Q	R	S	T
1	STBL11 ID	FUNCRDCL	LENGTH				
2	0		30	294.97000			

Figura 24: esempio tematismo rete stradale

4.5.1.5 Rete ferroviaria

Anche in questo caso le informazioni sulla rete ferroviaria sono acquistabili e il tematismo deve contenere il seguente campo:

- “length”, contenente la lunghezza di ogni tratto ferroviario in m.

Nella figura seguente si può osservare un esempio:

	A	D	E	F	G	H	I	J
1	FRBL11	LENGTH						
2	100	98						
3	120	1148						

Figura 25: esempio tematismo rete ferroviaria

4.5.1.6 Canali

È possibile, come per i tematismi precedenti, acquistare anche quello per i canali, che deve contenere il seguente campo:

- “area”, contenente la superficie di ogni poligono in m².

Si fornisce di seguito un esempio di tematismo:

	A	B	C	D	E	F
1	AREA	PERIMETER	RA003DS_	RA003DS_ID	E ID	
2	7742815.33908	526721.96303	190	25	0	0

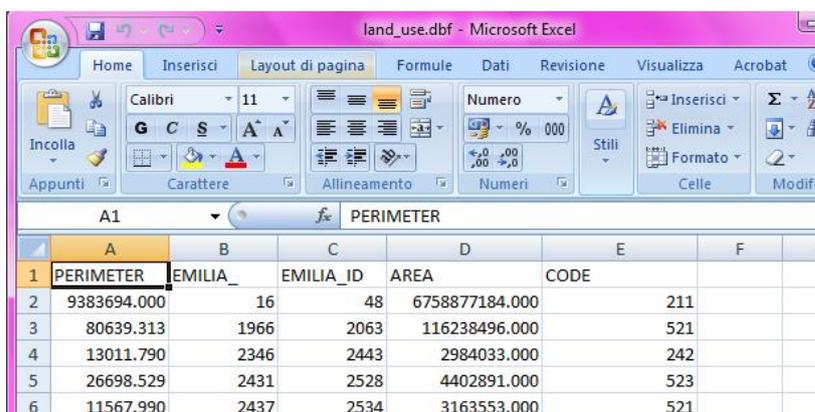
Figura 26: esempio tematismo canali

4.5.1.7 *Uso del suolo*

Le informazioni sono ottenibile dal database del Corine Land Cover e sono fornite con i seguenti campi:

- “area”, contenente la superficie di ogni poligono in m²;
- “code”, contenente il codice relativo ad ogni tipologia di uso del suolo.

In figura si mostra un estratto del tematismo:



The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'land_use.dbf'. The table has the following data:

	A	B	C	D	E	F
	PERIMETER	EMILIA_	EMILIA_ID	AREA	CODE	
1	9383694.000	16	48	6758877184.000	211	
2	80639.313	1966	2063	116238496.000	521	
3	13011.790	2346	2443	2984033.000	242	
4	26698.529	2431	2528	4402891.000	523	
5	11567.990	2437	2534	3163553.000	521	

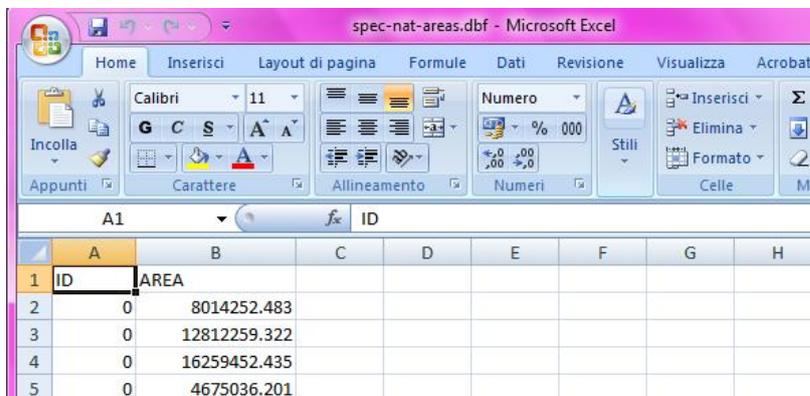
Figura 27: estratto tematismo uso del suolo

4.5.1.8 *Aree naturali specifiche*

Anche in questo caso è possibile acquistare il tematismo che dovrà contenere il seguente campo:

- “area”, contenente la superficie di ogni poligono in m².

Di seguito un estratto:



The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'spec-nat-areas.dbf'. The table has the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H
	ID	AREA						
1	0	8014252.483						
2	0	12812259.322						
3	0	16259452.435						
4	0	4675036.201						

Figura 28: esempio tematismo aree naturali specifiche

4.5.2 La scelta della griglia

La scelta della griglia dipende dalla grandezza dell'area da studiare. Ci possono essere griglie da 10 x 10 km, da 20 x 20 km o da 40 x 40 km. Le maglie delle griglie possono variare di conseguenza tra 100 x 100 m, 250 x 250 m e 500 x 500 m. c'è la possibilità, come già accennato, di utilizzare una griglia più fitta nell'intorno del sito in esame, ad esempio in un intorno di 2 x 2 km o 4 x 4 km, con maglie rispettivamente di 50 x 50 m e 100 x 100 m.

Il formato più utilizzato e consigliato è quello della griglia 20 x 20 km con maglia di 250 x 250 m, oppure, se si intende avere una maglia più piccola nell'intorno del sito industriale, si consiglia di utilizzare la griglia 20 x 20 km con maglia di 500 x 500 m e nella zona interna una griglia di 2 x 2 km con maglia di 50 x 50 m.

5. CASO DI STUDIO: DATI E RISULTATI

Si è deciso di applicare la metodologia sulla valutazione della vulnerabilità ambientale ad un caso concreto, nello specifico un sito ubicato nella zona industriale di Ravenna, perciò un sito italiano; la metodologia, infatti, non era ancora stata applicata nello specifico ad un sito italiano, benché sia stata sperimentata su diversi siti industriali presenti in Stati appartenenti alla Comunità europea, come la Danimarca e la Francia.

Di seguito si descrive l'iter di evoluzione, dalla ricerca dei file di input al risultato finale.

5.1 Raccolta dati

Per applicare la metodologia sono necessari determinati dati, descritti precedentemente nel paragrafo xxx. È possibile ottenerli da fonti commerciali, alcune delle quali indicate nel manuale della metodologia, quali il database Teleatlas, per i file riguardanti il bersaglio uomo, o il Corine Land Cover, per i bersagli ambiente e beni materiali.

La ricerca dei suddetti file è incominciata proprio da questi database, ottenendo sia risultati positivi, che negativi. Infatti la ricerca all'interno del database Corine Land Cover del file sull'utilizzo del suolo per la zona dell'Emilia Romagna è stata veloce, attraverso il sito <http://www.centrointerregionale-gis.it/script/corine.asp>. La ricerca all'interno del database TeleAtlas, invece, non ha fornito i risultati desiderati, perciò si è deciso di rivolgersi all'ufficio dei Sistemi Territoriali Informativi della Provincia di Ravenna, presso il quale è stato possibile acquistare i file inerenti alle strade e alle ferrovie. I file sull'idrografia e sui centri di vulnerabilità sono stati forniti dal DICMA, Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali dell'Università di Bologna, mentre

quello sulla popolazione dallo “Studio di Ingegneria Zoppellari e associati” di Ravenna.

È stato necessario costruire due file di input:

1. quello del sito industriale, in base alle sue coordinate geografiche, espresso secondo il sistema UTM32, all'area e alle persone presenti al suo interno.
2. quello sulle aree naturali specifiche: si sono inizialmente individuate le aree SIC e ZPS presenti nell'intorno dell'area di studio attraverso Rete Natura 2000, progetto che trae origine dalla Direttiva dell'Unione Europea n. 43 del 1992 denominata “Habitat” e finalizzata alla conservazione della diversità biologica presente nel territorio dell'Unione stessa e, in particolare, alla tutela di una serie di habitat e di specie animali e vegetali particolarmente rari, indicati all'interno degli allegati alla normativa stessa. La direttiva prevede inoltre che gli Stati contribuiscano alla costruzione della rete ecologica Natura 2000 in funzione della presenza e della rappresentatività sul proprio territorio di questi ambienti e delle specie, individuando aree di particolare pregio ambientale denominate Siti di Importanza Comunitaria (SIC), ai quali vanno aggiunte le Zone di Protezione Speciale (ZPS), previste dalla Direttiva n. 409 del 1979, denominata “Uccelli”. Una volta individuate le aree interessate è stato creato il file di input.

Una volta caricati tutti i file di input in ArcView è possibile ottenere la mappa dell'area in esame, visibile nella seguente figura:

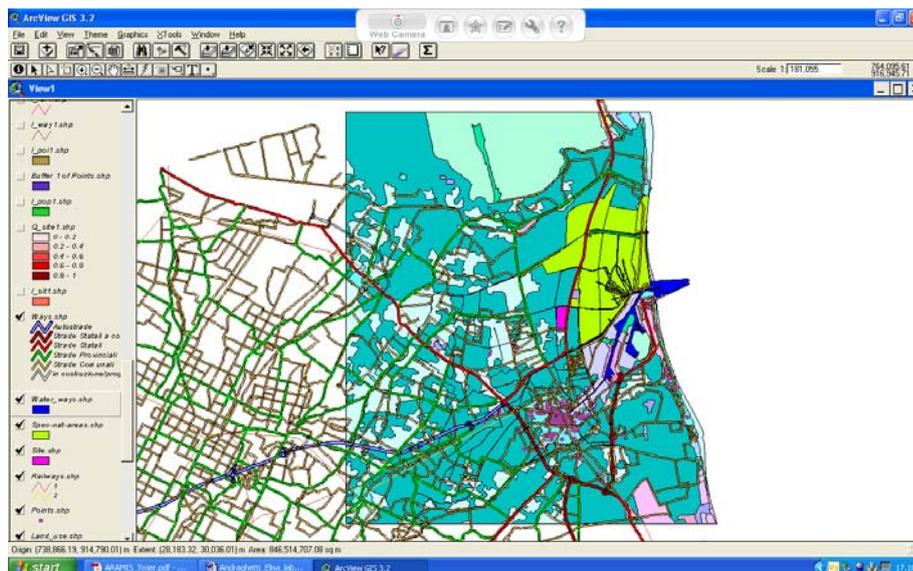


Figura 29: Area di studio

5.2 Proiezione della griglia

Una volta caricati tutti file è necessario aggiungere anche quello della griglia, scelta in base alle necessità. Nel caso in esame si è scelto di utilizzare una griglia di 20 x 20 km con maglia di 500 m, con sottogriglia centrale di 2 x 2 km e maglia 100 m, per avere informazioni più precise nell'intorno del sito industriale. La fase successiva infatti è quella che consente di centrare la griglia nel centro dell'impianto. La griglia originale ha come coordinate del centro l'origine del sistema UTM32, perciò deve essere traslata nel centro del sito industriale.

È possibile traslare la griglia attraverso un apposito tool di ArcView. In Fig. 30 si mostra la schermata per la traslazione.



Figura 30: Tool di ArcView per traslare la griglia

Nelle figure seguenti si vogliono mostrare le condizioni pre e post traslazione della griglia:

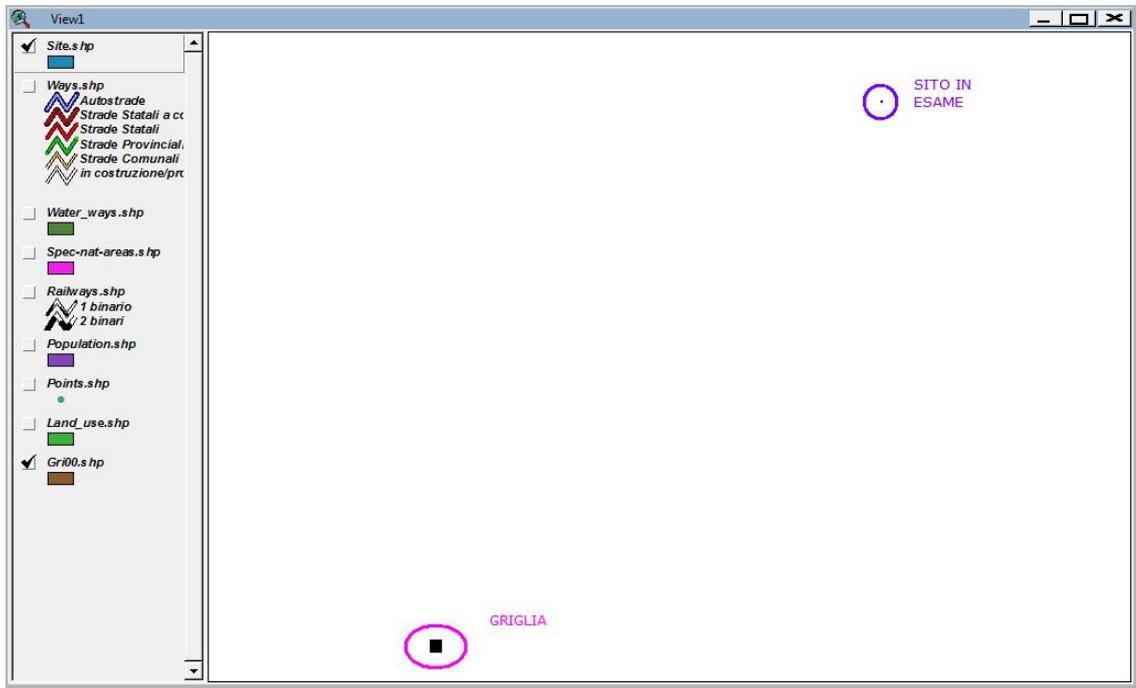


Figura 31: Pre-traslazione

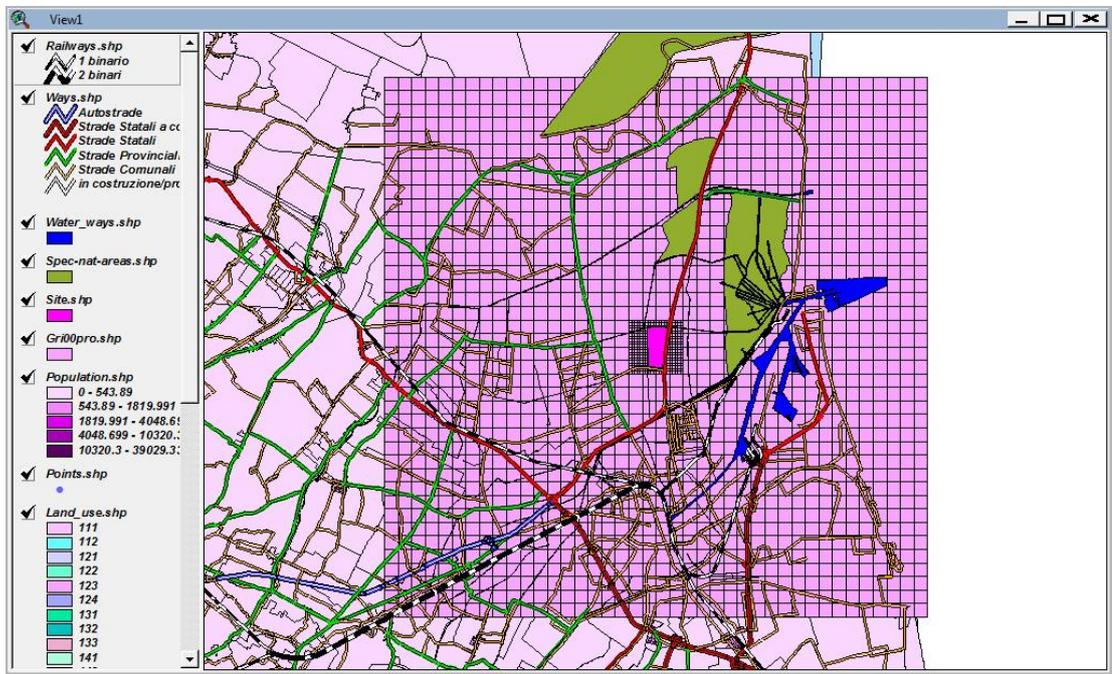


Figura 32: Post-traslazione

5.3 Applicazione della metodologia

Le fasi successive, utili per ottenere il risultato finale, sono operate dal software stesso, occorre semplicemente fornirgli il comando. Come primo step è necessario intersecare i vari shapefile di input con la griglia per individuare quali zone sono in comune alle due viste. È la fase di intersecazione dei vari shape file di input con la griglia. L'utente deve, una volta selezionato su quale file lavorare (Fig. 33) deve inserire i dati richiesti (Fig. 34) e procedere con l'intersezione (Fig. 35).

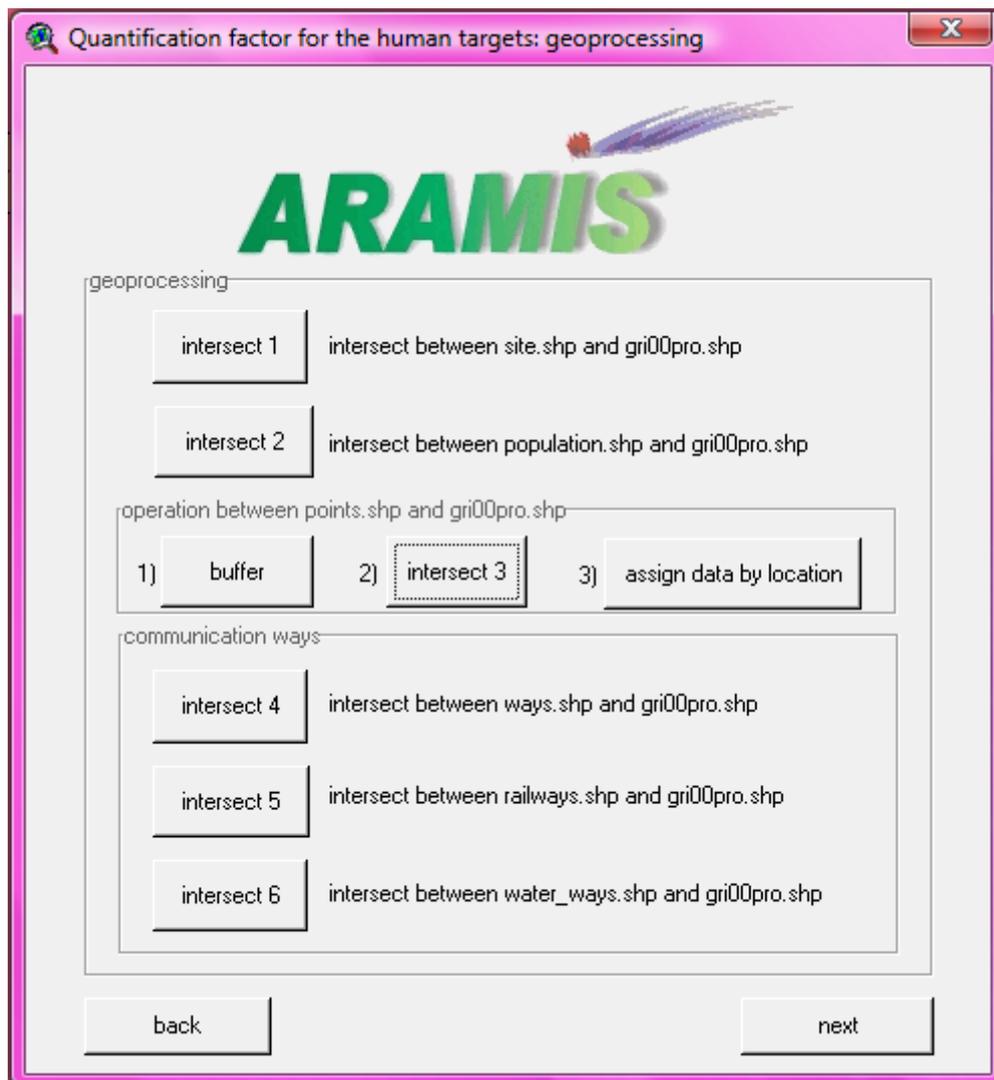


Figura 33: Finestra di scelta

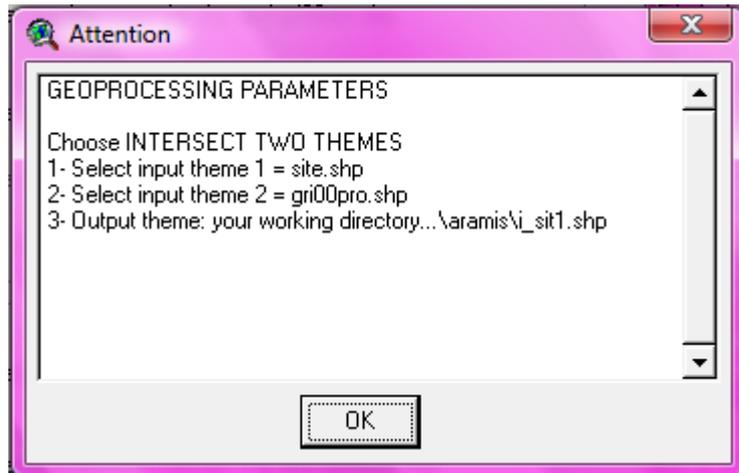


Figura 34: Richiesta dati di input

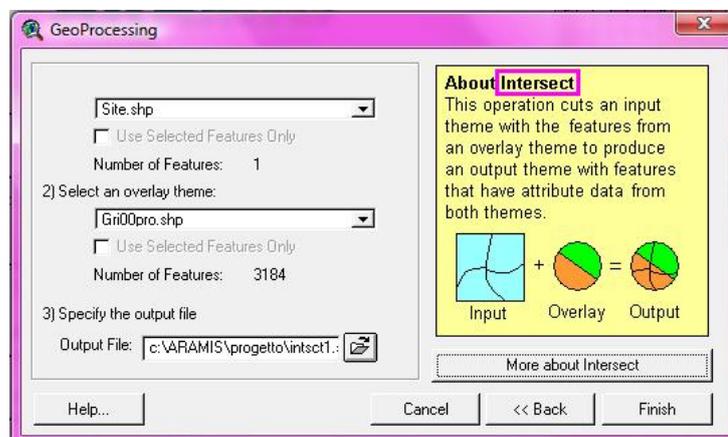


Figura 35: inserimento dati input

Questo procedimento è da applicare ad ogni file di input, perché i risultati di questa fase sono i dati in ingresso per la seconda, cioè per il calcolo di tutti i fattori di quantificazione. Il loro calcolo è stato già descritto nel paragrafo. 4.3 e il programma li determina per ogni sottocategoria di bersaglio, per un totale di dodici fattori (Fig. 36). È l'utente stesso, però, che deve inserire i fattori di normalizzazione, dove richiesto (Fig. 37).

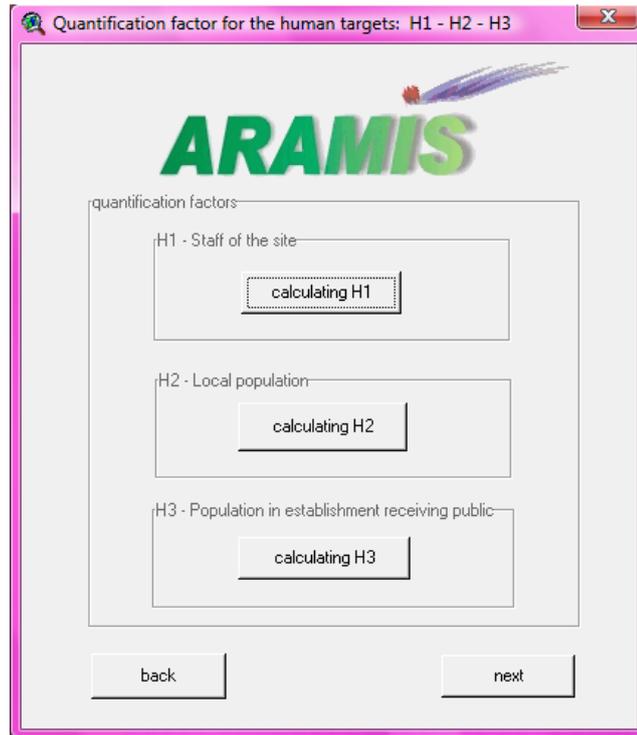


Figura 36: Finestra per il calcolo dei fattori di quantificazione

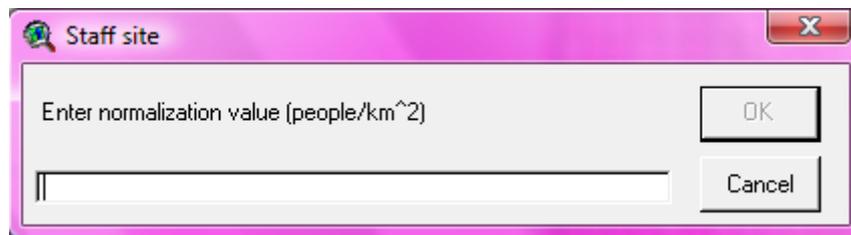


Figura 37: Finestra di dialogo per inserire il fattore di normalizzazione

L'ultima fase è quella che restituisce come risultato le mappe di vulnerabilità, ottenute risolvendo le equazioni descritte nel paragrafo 4.2, utilizzando i coefficienti dell'analisi gerarchica di Saaty. Apparirà una finestra dove l'utente potrà scegliere quale vulnerabilità calcolare (Fig.38). Se si desidera è possibile cambiare i valori dei coefficienti attraverso una schermata dedicata (Figg. 39 e 40).

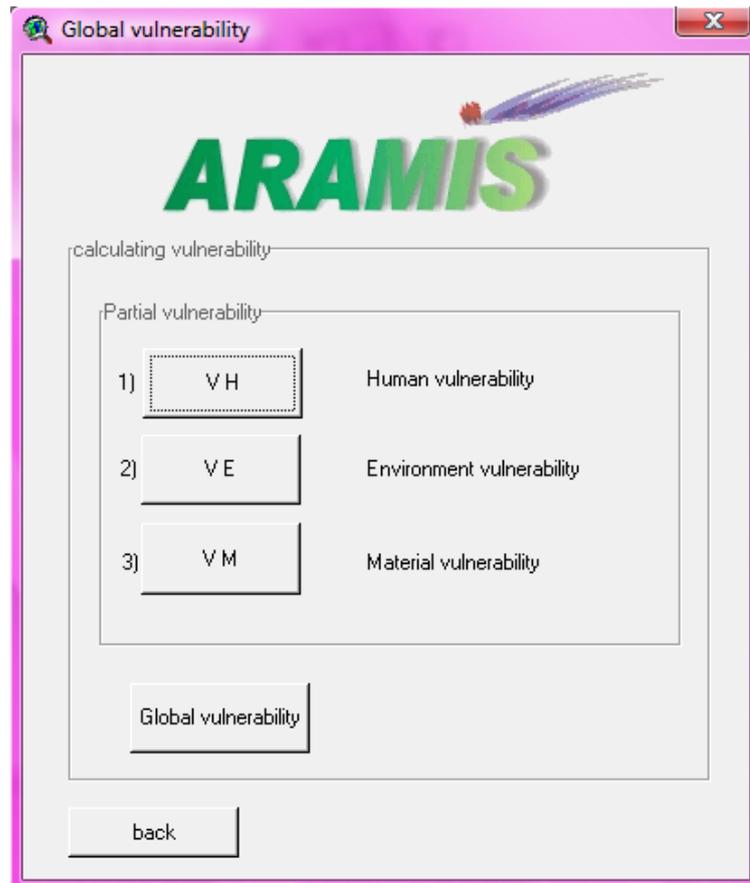


Figura 38: finestra per il calcolo della vulnerabilità

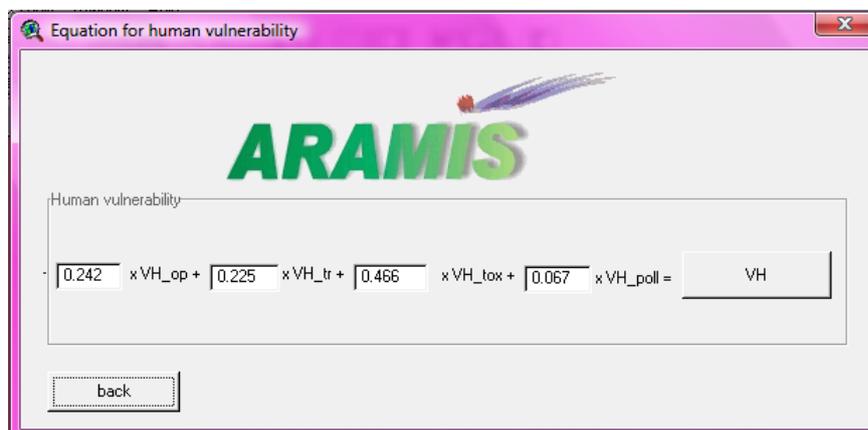


Figura 39: Coefficienti per il calcolo della vulnerabilità riferita ai bersagli

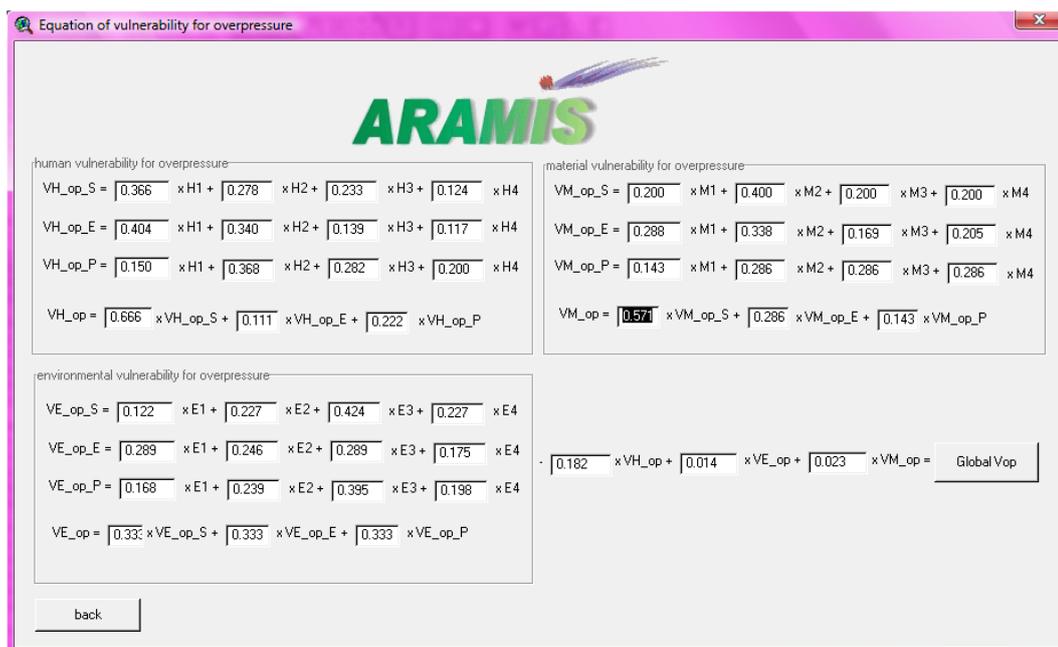


Figura 40: Coefficienti per il calcolo della vulnerabilità riferita agli effetti fisici

5.4 Risultati ottenuti

L'area in esame è circondata essenzialmente da un centro abitato importante, Ravenna, e da altri centri più piccoli con una densità di popolazione bassa. L'ambiente naturale circostante è composto prevalentemente da aree agricole e zone umide, come, ad esempio, la Piallassa Piombone, che però è una zona classificata sia SIC che ZPS.

Da una prima analisi semplicemente qualitativa, si può dedurre che la vulnerabilità dell'ambiente circostante non sarà molto alta, ma occorre verificare che i calcoli quantitativi rispettino questa affermazione.

I risultati vengono divisi in due gruppi diversi:

- un gruppo di mappe della vulnerabilità calcolata per ogni bersaglio (uomo, ambiente e beni materiali) e la vulnerabilità globale;
- un gruppo di mappe della vulnerabilità calcolata per ogni effetto fisico (esplosioni, incendio, nubi tossiche e inquinamento acque).

La vulnerabilità dell'uomo (Fig. 41) risulta essere molto bassa, con valori massimi di circa 0,27, in una scala da 0 a 1. Si può inoltre osservare come i punti più vulnerabili siano quelli in corrispondenza dei centri abitati e del sito industriale stesso.

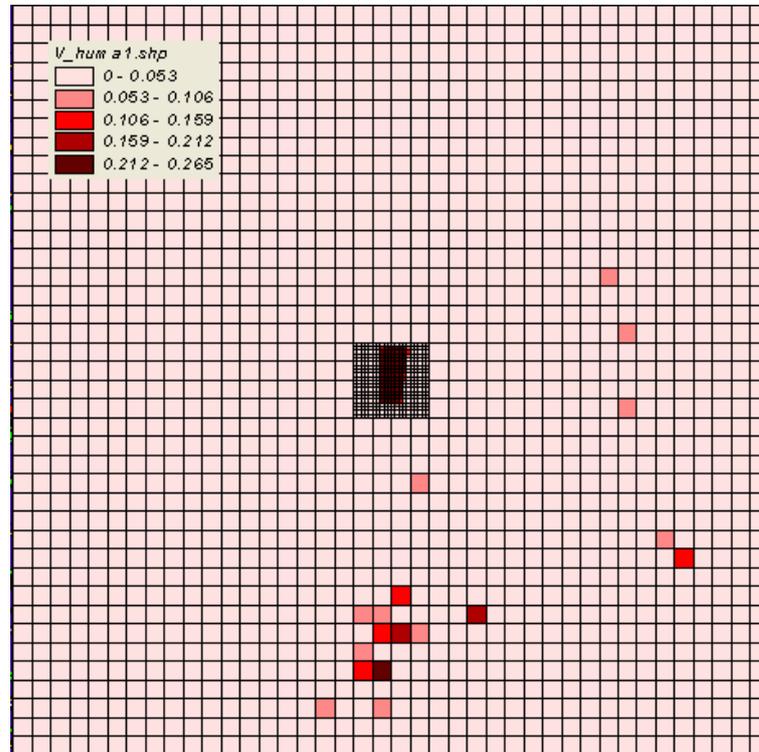


Figura 41: Vulnerabilità del bersaglio uomo

Nel caso della vulnerabilità rispetto il bersaglio ambiente (Fig. 42), si può notare come i valori ottenuti sono maggiori rispetto a quelli del bersaglio uomo, questo perché l'area di studio è caratterizzata anche da zone SIC e ZPS, infatti, dall'immagine seguente, è possibile vedere come i punti a vulnerabilità maggiore siano quelli relativi alle zone SIC e ZPS.

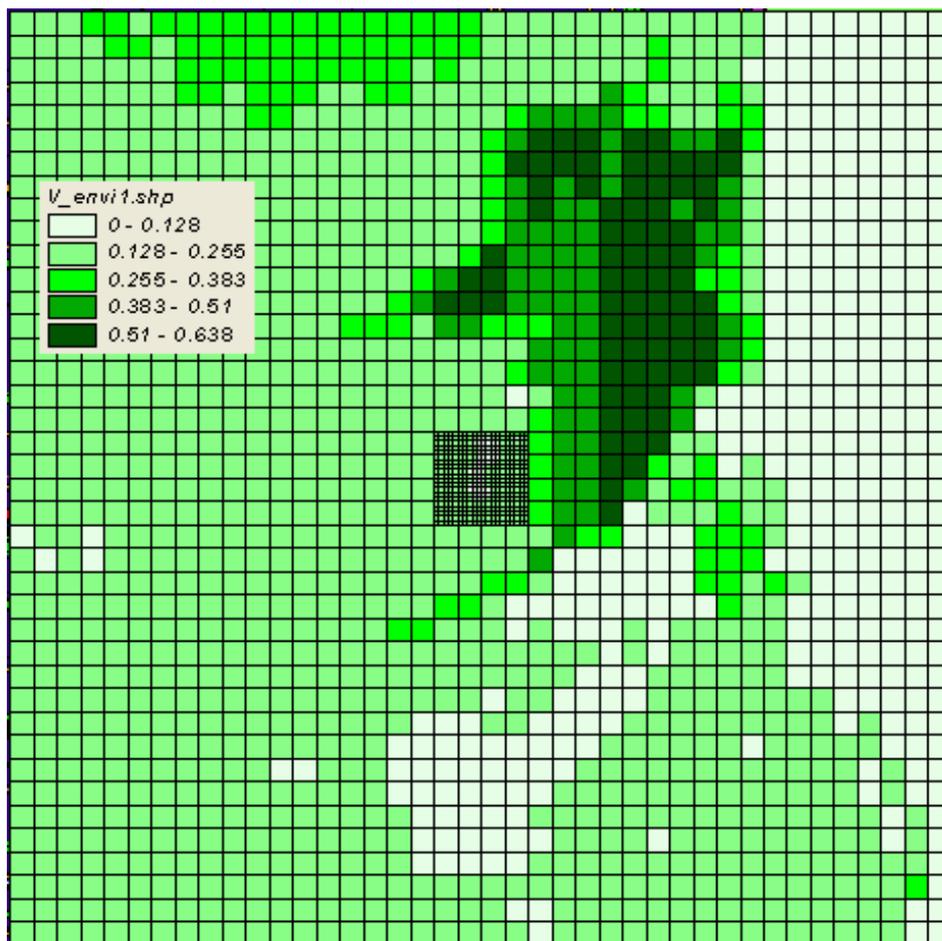


Figura 42: Vulnerabilità del bersaglio ambiente

Per il bersaglio beni materiali (Fig. 43), invece, è possibile notare una somiglianza con il target uomo, sia per valori di vulnerabilità che per posizione delle zone a maggior vulnerabilità, che sono collocate più o meno nella stessa fascia della mappa.

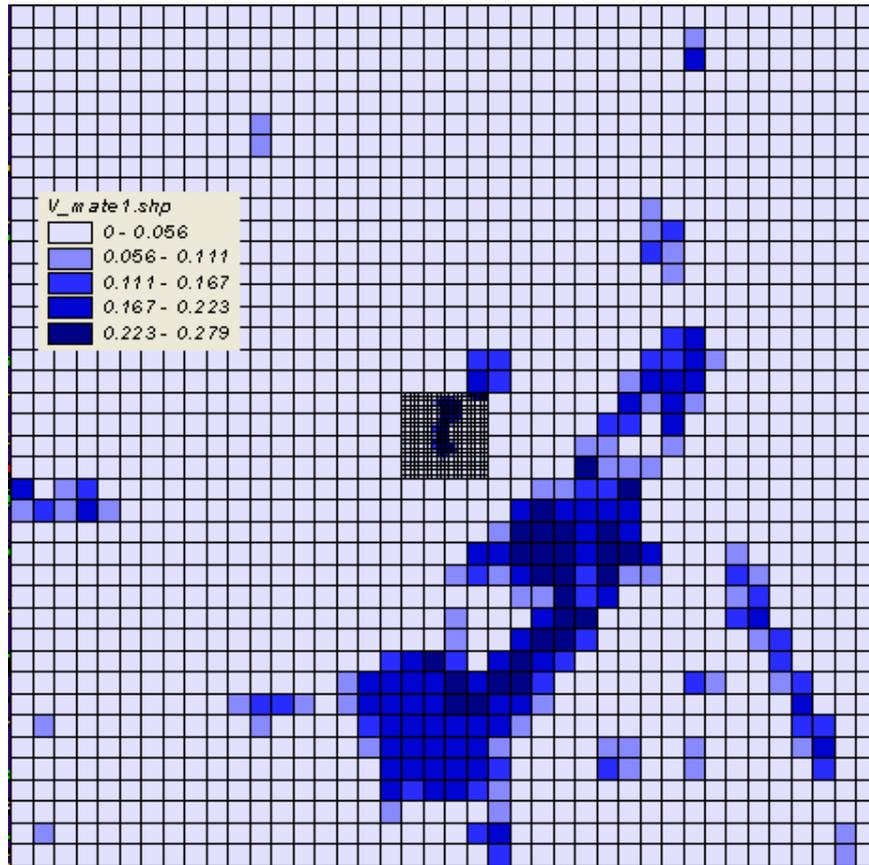


Figura 43: Vulnerabilità del bersaglio beni materiali

Confrontando le tre mappe si nota che le zone maggiormente vulnerabili per uomo e beni materiali sono complementari a quelle del bersaglio ambiente.

La mappa della vulnerabilità globale si ottiene da una combinazione lineare dei valori delle mappe appena descritte (Fig. 44).

Si può notare, infatti, come i punti a maggiore vulnerabilità appartengano sia a zone prettamente legate al bersaglio ambiente, sia a zone prettamente legate agli altri due target, ovvero uomo e beni materiali. In generale, la vulnerabilità globale non presenta valori molti alti (il massimo è di 0.25).

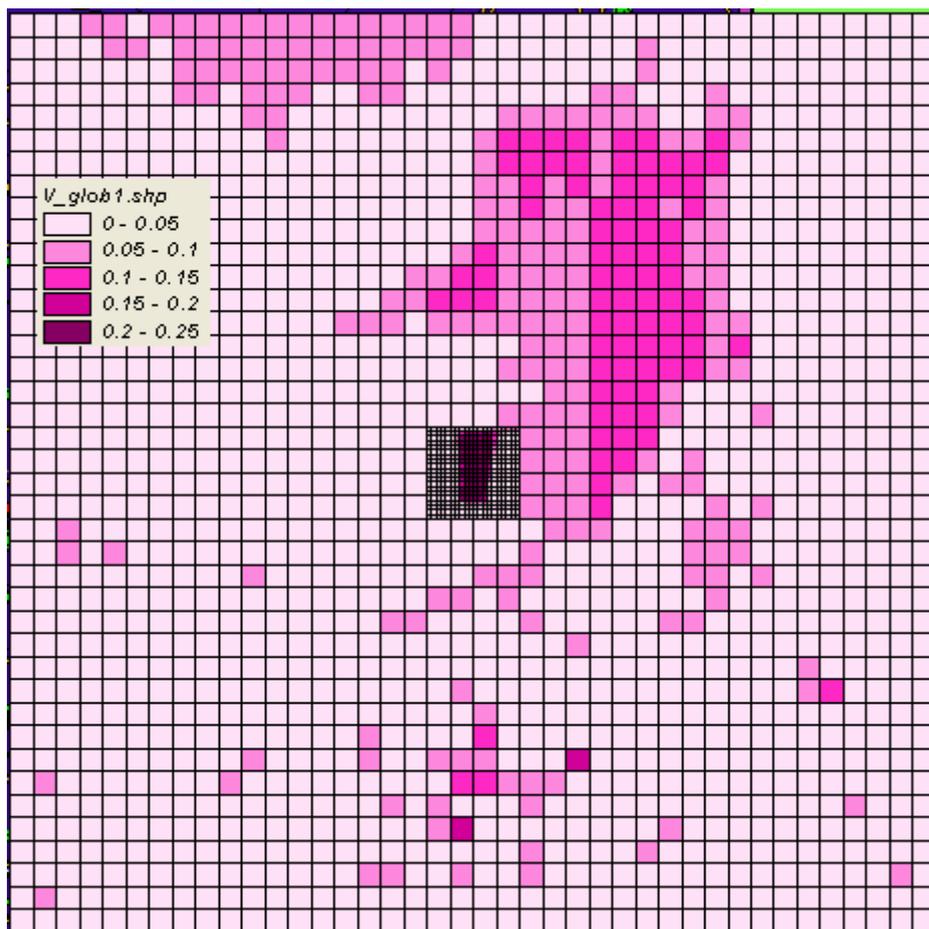


Figura 44: Vulnerabilità globale

È necessario ora analizzare le mappe relative agli effetti fisici, per identificare se uno dei tre è bersagli è più o meno soggetto a un determinato effetto fisico.

La vulnerabilità da sovrappressione assume valori molto bassi ed è strettamente legata ai bersagli uomo e beni materiali, come è visibile dalla figura seguente.

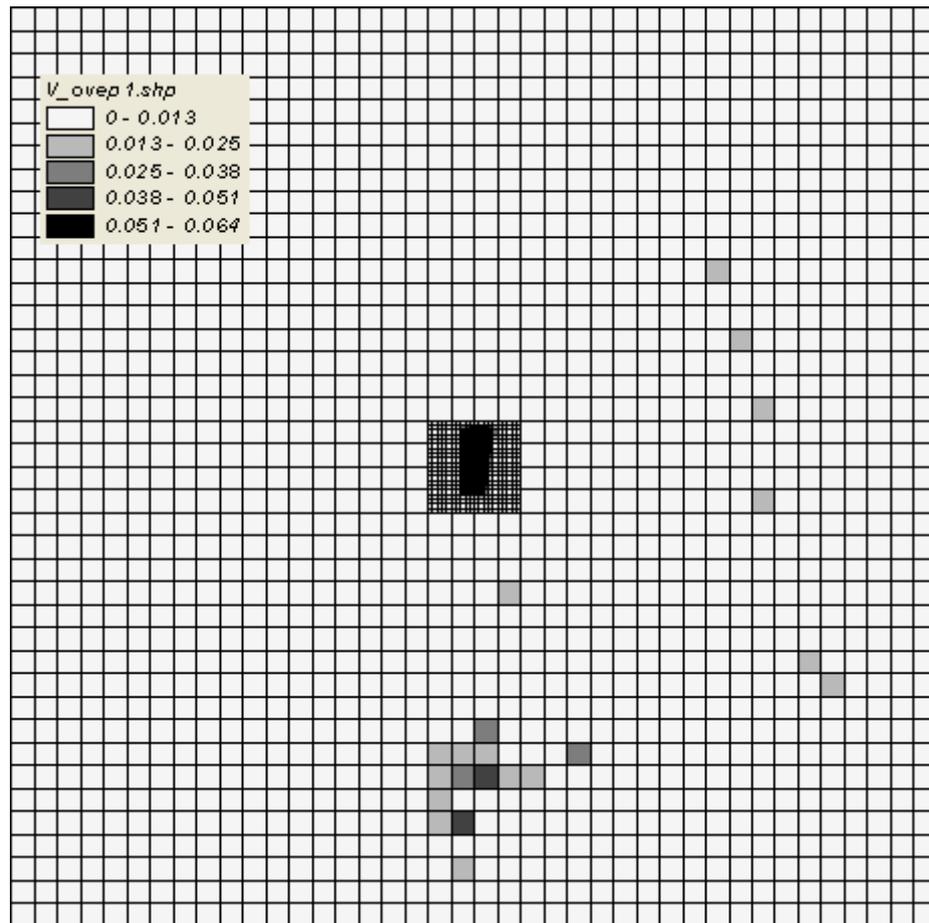


Figura 45: Vulnerabilità da sovrappressione

Considerazioni simili, invece, possono essere fatte per gli effetti di flusso termico (incendi) (Fig 46) e nubi tossiche (Fig. 47), poiché dall'analisi dei risultati si nota che le aree interessate a questi tipi di effetti sono simili, anche se i valori per il flusso termico risultano leggermente minori.

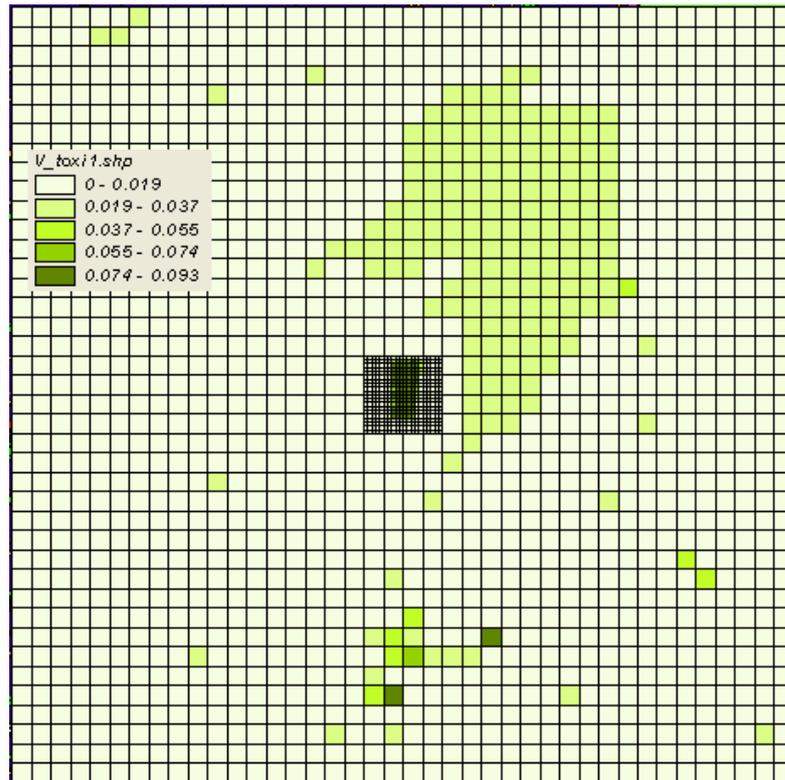


Figura 46: Vulnerabilità da nubi tossiche

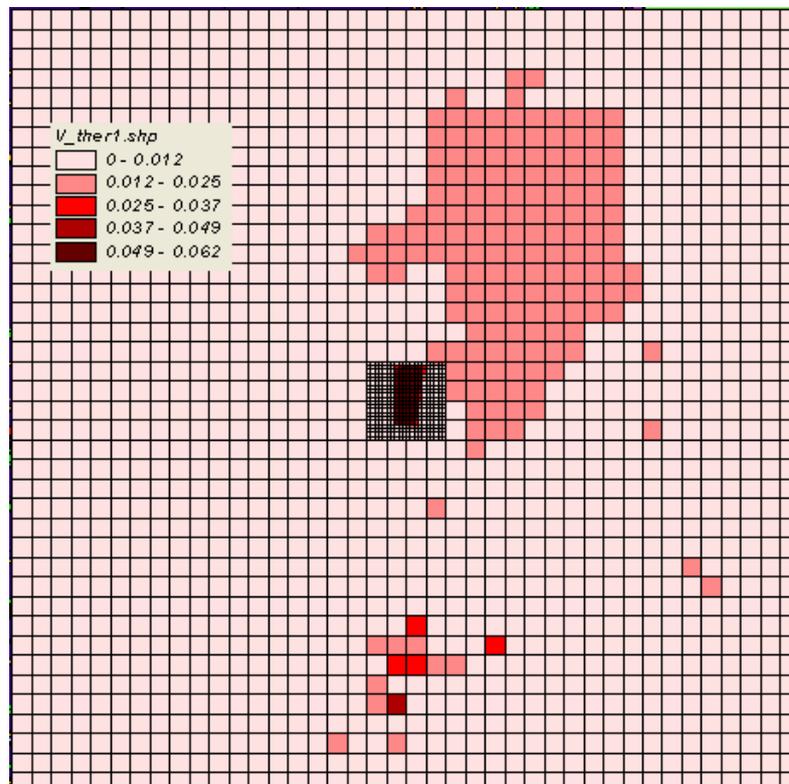


Figura 47: Vulnerabilità da incendio

Per l'inquinamento dei corpi d'acqua (Fig. 48) invece, l'ultimo effetto fisico da considerare, si sono riscontrati valori molto alti nell'intorno delle Zone ZPS e SIC, quindi strettamente legati al bersaglio ambiente.

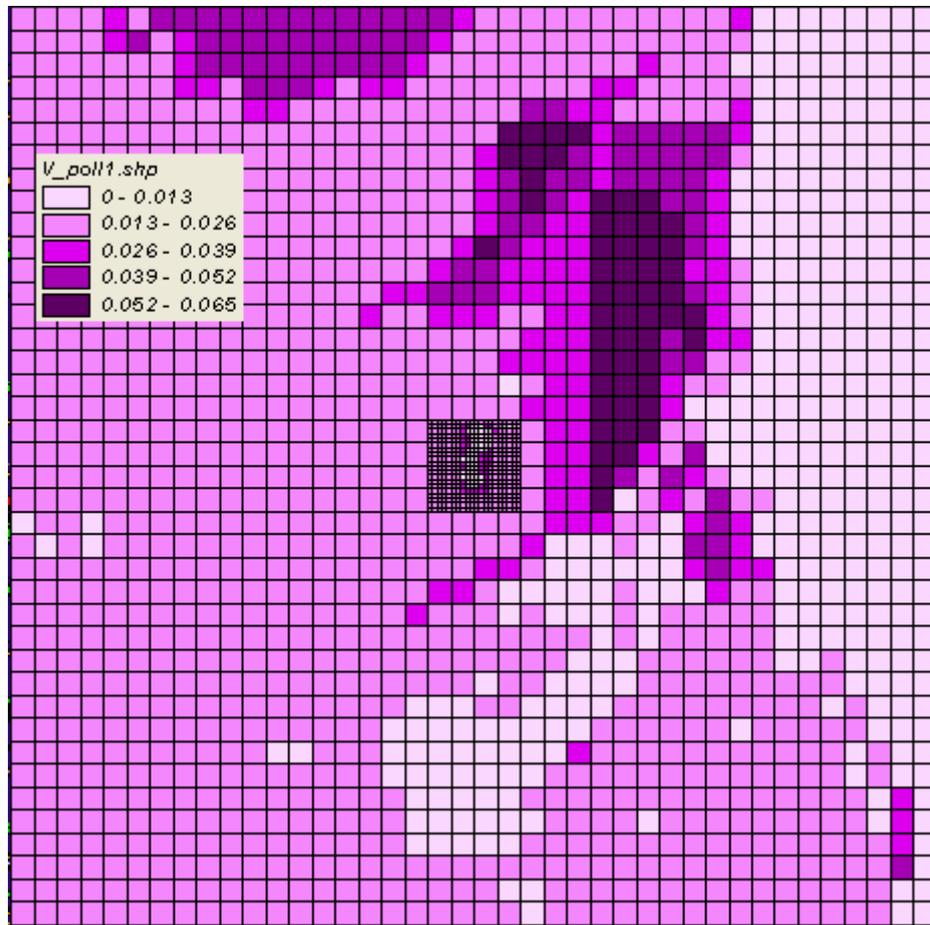


Figura 48: Vulnerabilità da inquinamento dei corpi idrici

Un'ulteriore osservazione può essere fatta sui risultati presenti nella griglia interna, infatti, se per i primi tre effetti la vulnerabilità aveva valori molto elevati all'interno del sito in esame, per quest'ultimo non accade così, anzi i valori al suo interno sono veramente bassi.

L'ipotesi di sito poco vulnerabile nel complesso è stata verificata e vale poiché supportata da dati reali.

Queste mappe rappresentano solo una valutazione della vulnerabilità, non una valutazione del rischio; infatti per ottenere il rischio globale dell'impianto è

necessario confrontare queste mappe con quelle che si otterrebbero applicando il calcolo dell'indice e delle mappe di danno descritto nel Par. 3.5

6. CONCLUSIONI

La metodologia ARAMIS vuole offrire un'alternativa alle metodologie tradizionali in merito di analisi di rischio, fornendo una serie di strumenti integrati, progettati con lo scopo di essere utili ai possibili futuri utenti, quali l'industria, l'autorità competente e le autorità locali.

In questo modo si aiuta l'utente a individuare i requisiti necessari relativi all'impianto e l'autorità competente a verificare il controllo del rischio.

Si permette inoltre un'identificazione facile ed esplicita degli scenari di riferimento.

È un ottimo strumento per la valutazione del rischio globale, questa, infatti, può considerare sia gli aspetti legati all'uomo, che all'ambiente, che ai beni materiali e permette di accorparli fra loro in modo tale da ottenere un unico valore. Consente di dare un valore quantificato alla vulnerabilità e di definire una distribuzione di essa nel caso reale, ma è importante sottolineare che i valori ottenuti derivano comunque da considerazioni di tipo qualitativo.

La metodologia è stata implementata attraverso un applicativo per GIS per rendere più accessibile a tutti il suo utilizzo. Le informazioni necessarie sui bersagli, ad eccezione di quelle relative al sito industriale in esame, si possono ottenere semplicemente da database commerciale o, in alternativa, dai SIT delle autorità competenti, quali la Regione, la Provincia o il Comune. L'utente è assistito in ogni passo dalla selezione dell'area di studio e della griglia all'identificazione e quantificazione dei bersagli, mentre il procedimento di calcolo della vulnerabilità è completamente automatico. Utilizzando l'interfaccia l'utente otterrà una rappresentazione formale della situazione dell'ambiente circostante.

Punto decisivo della metodologia è il confronto delle mappe ottenute, sia quelle di danno che quelle della vulnerabilità ambientale, perché solo attraverso questo

procedimento si può ottenere una visione completa del rischio globale dell'impianto.

Dall'applicazione della metodologia ad un caso reale, è stato possibile ottenere risultati tangibili e mappe dettagliati che descrivono la situazione nell'ambiente circostante il sito industriale, tale da poter gestire in modo appropriato il rischio.

Si sottolinea, infine, che i risultati ottenuti non sono indicativi di un indice di rischio, ma solo di un indice di vulnerabilità dell'ambiente circostante, cioè come reagirebbe l'ambiente se sottoposto a determinati input. Per ottenere un valore del rischio è indispensabile confrontare le mappe della vulnerabilità ottenute con quelle di danno, non analizzate nel presente elaborato, che, però, sono strettamente legate al tipo di sito industriale in esame, poiché sono la fase finale di un'analisi di rischio sull'impianto.

Bibliografia

ARAMIS project, Tixier J., Dandrieux A., Dusserre G., Londiche H., Hubert E., Rodrigues N. 2004. *“Software for determining the environmental vulnerability index based on G.I.S. information”*.

ARAMIS project, Tixier J., Dandrieux A., Dusserre G., Londiche H., Hubert E., Rodrigues N. 2004. *“User guide”*.

ARAMIS project, Tixier J., Dandrieux A., Dusserre G., Londiche H., Hubert E., Rodrigues N. 2004. *“Environment Vulnerability Tool ArcView Version - User’s Manual”*.

C. Delvosalle et al., 2005 *“ARAMIS project: A comprehensive methodology for the identification of reference accident scenarios in process industries”*.

D. Lgs 334 del 17/08/1999 *“Attuazione della direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incendi rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose”*. 399B0334.900 LN 3B 1PR 30 334 08/17/1999 GUSO 228 09/28/1999 5o10o2

Direttiva CEE/CEE/CE n° 82 del 09/12/1996 96/82/CE: *“Direttiva del Consiglio del 9 dicembre 1996 sul controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose”*. 396L0082.900 LC 3L 3CONS 39 82 12/09/1996 GUCE L10 01/14/1997 5o10o2

S. Larcher, 2009 *“Valutazione del rischio ambientale associato al trasporto in condotta di sostanze pericolose”*, Tesi di laurea specialistica in Ingegneria chimica e di processo, Università degli studi di Bologna, Bologna

O. Salvi, B.Debray, 2005 *“A global view on ARAMIS, a risk assessment methodology for industries in the framework of the SEVESO II directive”*.

J. Tixier et al., 2005 *“Environmental vulnerability assessment in the vicinity of an industrial site in the frame of ARAMIS European project”*

Siti consultati

<http://www.61508.org/fss.htm>

<http://www.centrointerregionale-gis.it/script/corine.asp>

<http://www.regione.emilia-romagna.it/natura2000/>

Ringraziamenti

Eccomi qua, davanti ad una pagina bianca con titolo “Ringraziamenti” che sancisce la fine della mia tesi, la fine del mio percorso da studente, ma anche l’inizio di una “nuova” vita. Quello che succederà non lo so con certezza, ma so di sicuro quello che è stato il passato e chi mi è stato accanto e ha sostenuto, in modo diversi, sia durante il mio cammino, che nella stesura della mia tesi.

Ringrazio innanzitutto la mia relatrice, l’Ing. Bonvicini Sarah, perché nonostante la mia decisione di lavorare in tempi molto stretti, mi ha accompagnata fino alla fine.

Ringrazio l’Ing. Antonioni Giacomo, perché con il suo aiuto sono riuscita a risolvere tutti i problemi che si presentavano con l’utilizzo del software.

Ringrazio la Prof.ssa Mazzarotta Barbara dell’Università La Sapienza di Roma, che mi ha gentilmente fornito il materiale, il software e un caso di studio.

Ringrazio l’Ing. Miglionico Roberta per l’aiuto datomi con i shape-file di ArcView e la gentilezza mostratami.

Ringrazio l’Ing. Zoppellari Paolo, l’Ing. Gollini Andrea e l’Ing. Monti Matteo dello studio di ingegneria Zoppellari e Associati per il supporto durante la stesura della tesi e il recupero del materiale necessario.

Gli ultimi ringraziamenti, ma certamente non per questo i meno importanti, vanno, insieme al mio cuore, a tutti quelli che mi sono stati accanto in questi anni: alla mia mamma, perché mi ha dato il suo supporto e il suo amore in tutti i sensi; alla mia nonnina, che a causa mia e dei miei esami ha perso tante di quelle ore di sonno che non saprei neanche da dove incominciare per contarle, a Elido, il compagno della mia mamma, che aveva sempre una parola per me dopo ogni esame e che, a volte, attendeva il mio ritorno a casa da Bologna per mangiare con me e io, puntualmente, arrivavo in ritardo, a Ada che è stata sempre più di una semplice coinquilina e compagna di corso e a Chiara, sua sorella, che anche se abbiamo vissuto sotto lo stesso tetto solo per un anno è comunque stato bello, a

Giulia, Vale e Ale, con loro ho incominciato la laurea specialistica e abbiamo subito creato un gruppo fantastico, a Giuseppe, compagno di esame più unico che raro, come del resto la sua cucina, a “Mancio”, “Scarpo” and company per tutti i suggerimenti sugli esami da sostenere e infine a tutti quelli che sono stati al mio fianco in qualsiasi occasione durante questo percorso.

Un ringraziamento a parte va a Marco, il mio ragazzo, perché ha dovuto sopportare le mie paure e i miei “attacchi isterici” sporadici per esami che non pensavo di riuscire a fare o che pensavo non fossero andati subito a buon fine e che mi stimolava, aiutava, sosteneva e dava tutto l’amore possibile per accompagnarmi durante questo cammino.

Un sincero grazie a tutte queste persone.

Elisa Andraghetti

24 Luglio 2009